

**Методика осуществления  
стандартных и сертификационных  
испытаний, метрологических поверок  
средств измерений**



**Авиационный колледж ДГТУ**

**Лекционный курс**

**Автор**

**Смирнов Ю. А.**

## Аннотация

Лекции по по ПМ.04 МДК.04.03 «Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний, метрологических поверок средств измерений» предназначены для студентов очной формы обучения направления 15.02.07 Автоматизация технологических процессов и производств (по отраслям).



## Автор

**Смирнов Юрий Александрович -**

к.т.н., доцент, преподаватель 1 категории АК ДГТУ

Сфера научных интересов – Вычислительная техника и автоматика

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ЛЕКЦИЯ по теме №1.1.1. Государственная система стандартизации .....	5
ЛЕКЦИЯ по теме №1.1.2. Межотраслевые и межгосударственные системы стандартизации. Международная, региональная и национальная стандартизации.....	56
ЛЕКЦИЯ по теме №1.2.1. Правовые основы метрологической деятельности в РФ .....	117
ЛЕКЦИЯ по теме №1.2.2. Объекты, методы и средства измерений.....	126
ЛЕКЦИЯ по теме №1.2.5. Погрешности измерения и выбор измерительного средства	165
ЛЕКЦИЯ по теме №1.2.8. Обеспечение единства измерений и государственная метрологическая служба РФ .....	209
ЛЕКЦИЯ ТЕМА №1.2.9 «ХАРАКТЕРИСТИКА МЕТРОЛОГИЧЕСКОЙ СЛУЖБЫ И МЕТРОЛОГИЧЕСКИХ РАБОТ» .....	243
ЛЕКЦИЯ по теме №1.3.1. Объекты и системы сертификации .....	276
ЛЕКЦИЯ по теме №1.3.2. Органы и развитие сертификации .....	297
ЛЕКЦИЯ ТЕМА №2.1.1 «КЛАССИФИКАЦИЯ И ОСНОВНЫЕ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ» .....	327
ЛЕКЦИЯ ТЕМА №2.2.1 «МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН» .....	343
ЛЕКЦИЯ по теме № 2.3.1. Измерение температуры .....	357
ЛЕКЦИЯ по теме № 2.3.2. Измерение температуры .....	377
ЛЕКЦИЯ по теме № 2.3.3. Бесконтактные методы измерения температуры .....	437
ЛЕКЦИЯ по теме № 2.4.1. Измерение давления.....	451
ЛЕКЦИЯ по теме № 2.4.2. Измерение давления.....	465
ЛЕКЦИЯ по теме № 2.4.3. Измерение давления.....	473
ЛЕКЦИЯ по теме № 2.5.1. Измерение количества и расхода .....	486
ЛЕКЦИЯ по теме № 2.5.2. Измерение расхода жидкости и газа .....	498
ЛЕКЦИЯ по теме № 2.5.3. Измерение расхода жидкости и газа .....	517
ЛЕКЦИЯ по теме № 2.5.4. Измерение расхода жидкости и газа .....	531
ЛЕКЦИЯ по теме № 2.6.1. Измерение уровня.....	554
ЛЕКЦИЯ по теме № 2.6.2. Уровнемеры непрерывного действия .....	557
ЛЕКЦИЯ по теме № 2.6.3. Уровнемеры непрерывного действия .....	571
ЛЕКЦИЯ по теме № 2.6.4. Сигнализаторы уровня .....	588
ЛЕКЦИЯ по теме № 2.7.1. Приборы газового анализа и рН-метры .....	600
ЛЕКЦИЯ по теме №3.1. Автоматизация систем контроля и управления сбором данных .....	623

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

Лекция по теме №3.1.1. Метрологические стенды для поверки, калибровки и ремонта приборов давления.....	643
ЛЕКЦИЯ ТЕМА № 3.2 «ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ АВТОМАТИЗАЦИИ ИЗМЕРЕНИЙ И КОНТРОЛЯ» .....	653
Лекция по теме 3.2.1. Метрологические стенды для проверки, калибровки, ремонта приборов температуры .....	672
ЛЕКЦИЯ ТЕМА №3.3 «БАЗОВЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ АВТОМАТИЧЕСКИХ СИСТЕМ ИЗМЕРЕНИЙ И КОНТРОЛЯ» .....	677
Лекция по теме №3.3.1. Метрологические стенды для поверки/калибровки газоанализаторов.....	698
ЛЕКЦИЯ ТЕМА №3.4 «ЭЛЕМЕНТЫ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ» .....	703
Лекция по теме №3.4.1. Метрологические стенды для поверки/калибровки приборов уровня .....	721
ЛЕКЦИЯ ТЕМА №3.5 «АВТОМАТИЧЕСКИЕ И АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ ИЗМЕРЕНИЙ» .....	726
Лекция по теме №3.5.1. Портативные калибраторы и эталонные модули .....	741
ЛЕКЦИЯ ТЕМА №3.6 «АВТОМАТИЗАЦИЯ ИСПЫТАНИЙ И МЕТРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ, КОНТРОЛЯ И ИСПЫТАНИЙ».....	788
ЛЕКЦИЯ ТЕМА №3.7 «АВТОМАТИЗАЦИЯ ИЗМЕРЕНИЙ, КОНТРОЛЯ И ИСПЫТАНИЙ В ПРОГРАММНОЙ СРЕДЕ LabVIEW» .....	799
ЛЕКЦИЯ ТЕМА №3.8 «КОМПЬЮТЕРНАЯ АВТОМАТИЗАЦИЯ ИСПЫТАТЕЛЬНЫХ СТЕНДОВ» .....	838
ЛЕКЦИЯ ТЕМА №14 «НЕЧЕТКИЕ И ФРАКТАЛЬНЫЕ МЕТОДЫ И МОДЕЛИ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРОЦЕССОВ И СИСТЕМ» .....	878

## **ЛЕКЦИЯ по теме №1.1.1. Государственная система стандартизации**

### **ВОПРОСЫ**

1. Задачи стандартизации. Основные понятия и определения в системе стандартизации.
2. Органы, службы и нормативные документы по стандартизации.
3. Виды стандартов и порядок разработки государственных стандартов.
4. Государственный контроль и надзор за соблюдением требований государственного стандарта. Нормализационный контроль технической документации.

### **ЛИТЕРАТУРА**

1. Димов Ю.В. Метрология, стандартизация и сертификация. Учебник. 2-е изд. СПб.: ИД "Питер", 2011. – 432 с. (с.18-45).

### **1. Задачи стандартизации. Основные понятия и определения в системе стандартизации**

ГСС устанавливает общие организационно-технические правила системы стандартизации в Российской Федерации.

Положения стандартов ГСС применяют государственные органы управления, субъекты хозяйственной деятельности, научно-технические, инженерные общества и другие общественные объединения, в том числе технические комитеты (ТК) по стандартизации.

ГСС изложена в следующих нормативных документах:

- ГОСТ Р 1.0-92. Государственная система стандартизации Российской Федерации. Основные положения;

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

- ГОСТ Р 1.2-92. Государственная система стандартизации Российской Федерации. Порядок разработки государственных стандартов;
- ГОСТ Р 1.4-93. Государственная система стандартизации Российской Федерации. Стандарты отраслей, стандарты предприятий, стандарты научно-технических, инженерных обществ и других общественных объединений. Общие положения;
- ГОСТ Р 1.5 92. Государственная система стандартизации Российской Федерации. Общие требования к построению, изложению, оформлению и содержанию стандартов;
- ГОСТ Р 1.8-95. Государственная система стандартизации Российской Федерации. Порядок разработки и применения межгосударственных стандартов;
- ГОСТ Р 1.9-95. Государственная система стандартизации Российской Федерации. Порядок маркирования продукции и услуг знаком соответствия государственным стандартам;
- ГОСТ Р 1.10-95. Государственная система стандартизации Российской Федерации. Порядок разработки, принятия, регистрации правил и рекомендаций по стандартизации, метрологии, сертификации, аккредитации и информации о них;
- ИСО/МЭК 2. Общие термины и определения в области стандартизации и смежных видов деятельности;
- ПР 50-688-92. Временное типовое положение о техническом комитете по стандартизации;
- Р 50-605-79-93. Рекомендации по разработке положения о службе стандартизации предприятия;
- ПР 50-734-93. Порядок разработки общероссийских классификаторов технико-экономической и социальной информации;

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

- ПР 50-718-94. Правила заполнения и представления каталожных листов продукции;
- Р 50.1.004-95. Порядок подготовки в Госстандарте России межгосударственных стандартов для принятия в Российской Федерации;
- Положение об организации и осуществлении государственного контроля и надзора в области стандартизации, обеспечении единства измерений и обязательной сертификации. Утверждено Постановлением Правительства РФ от 16 мая 2003 г. № 287;
- Правила по стандартизации. Порядок проведения Государственным комитетом РФ по стандартизации и метрологии государственного контроля и надзора. Утверждены Постановлением Госстандарта России от 23 сентября 2002 г. № 91.

Правовые основы стандартизации в Российской Федерации устанавливает Закон РФ «О техническом регулировании» от 27 декабря 2002 г. № 184-ФЗ. Он обязателен для всех государственных органов управления, а также предприятий и предпринимателей, общественных объединений. В нем отражены меры государственной защиты интересов потребителей и государства путем разработки и применения нормативных документов по стандартизации.

### **Задачи стандартизации**

Основными задачами стандартизации являются:

- обеспечение взаимопонимания между разработчиками, изготовителями, продавцами и потребителями (заказчиками);
- установление оптимальных требований к номенклатуре и качеству продукции в интересах потребителя и государства, в том числе обеспечивающих ее безопасность для окружающей среды, жизни, здоровья и имущества;

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

- установление требований по совместимости (конструктивной, электрической, электромагнитной, информационной, программной и др.), а также взаимозаменяемости продукции;
- согласование и увязка показателей и характеристик продукции, ее элементов, комплектующих изделий, сырья и материалов;
- унификация на основе установления и применения параметрических и типоразмерных рядов, базовых конструкций, конструктивно-унифицированных блочно-модульных составных частей изделий; установление метрологических норм, правил, положений и требований;
- нормативно-техническое обеспечение контроля (испытаний, анализа, измерений), сертификации и оценки качества продукции;
- установление требований к технологическим процессам, в том числе для снижения материалоемкости, энергоемкости и трудоемкости, для обеспечения применения малоотходных технологий;
- создание и ведение систем классификации и кодирования технико-экономической информации;
- нормативное обеспечение межгосударственных и государственных социально-экономических и научно-технических программ (проектов) и инфраструктурных комплексов (транспорт, связь, оборона, охрана окружающей среды, контроль среды обитания, безопасность населения и т. д.);
- создание системы каталогизации для обеспечения потребителей информацией о номенклатуре и основных показателях продукции;
- содействие выполнению законодательства Российской Федерации методами и средствами стандартизации.

**Основные понятия и определения в системе стандартизации**

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

*Нормативный документ* — документ, устанавливающий правила, общие принципы или характеристики, касающиеся различных видов деятельности или их результатов. Нормативный документ охватывает такие понятия, как стандарты и иные нормативные документы по стандартизации, нормы, правила, своды правил, регламенты и другие документы, соответствующие основному определению.

*Стандарт* — документ, в котором в целях добровольного многократного использования устанавливаются характеристики продукции, правила осуществления и характеристики процессов производства, эксплуатации, хранения, перевозки, реализации и утилизации, выполнения работ или оказания услуг. Стандарт также может содержать требования к терминологии, символике, упаковке, маркировке или этикеткам и правилам их нанесения;

*Международный стандарт* — стандарт, принятый международной организацией;

*Национальный стандарт* — стандарт, утвержденный национальным органом Российской Федерации по стандартизации;

*Комплекс стандартов* — совокупность взаимосвязанных стандартов, объединенных общей целевой направленностью и устанавливающих согласованные требования к взаимосвязанным объектам стандартизации.

*Регламент* — документ, содержащий обязательные правовые нормы и принятый органами власти.

*Техническое регулирование* — правовое регулирование отношений в области установления, применения и исполнения обязательных требований к продукции, процессам производства, эксплуатации, хранения, перевозки, реализации и утилизации, а также в области установления и применения на добровольной основе требований к

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

продукции, процессам производства, эксплуатации, хранения, перевозки, реализации и утилизации, выполнению работ или оказанию услуг и правовое регулирование отношений в области оценки соответствия.

*Технический регламент* — документ, который принят международным договором Российской Федерации, ратифицированным в порядке, установленном законодательством Российской Федерации, или федеральным законом, или указом Президента Российской Федерации, или постановлением Правительства Российской Федерации и устанавливает обязательные для применения и исполнения требования к объектам технического регулирования (продукции, в том числе зданиям, строениям и сооружениям, процессам производства, эксплуатации, хранения, перевозки, реализации и утилизации).

*Международная стандартизация* — стандартизация, участие в которой открыто для соответствующих органов всех стран.

*Региональная стандартизация* — стандартизация, участие в которой открыто для соответствующих органов стран только одного географического или экономического региона мира.

*Национальная стандартизация* — стандартизация, которая проводится на уровне одной страны.

*Безопасность* — отсутствие недопустимого риска, связанного с возможностью нанесения ущерба.

*Охрана здоровья людей* — защита здоровья людей от неблагоприятного воздействия продукции, работ (процессов) и услуг, окружающей среды.

*Охрана окружающей среды* — защита окружающей среды от неблагоприятного воздействия продукции, работ (процессов) и услуг.

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

*Совместимость* — пригодность продукции, процессов и услуг к совместному, не вызывающему нежелательных взаимодействий, использованию при заданных условиях для выполнения установленных требований.

*Взаимозаменяемость* — пригодность одного изделия, процесса, услуги для использования вместо другого изделия, процесса, услуги в целях выполнения одних и тех же требований.

*Унификация* — выбор оптимального числа разновидностей продукции, процессов и услуг, значений их параметров и размеров.

*Применение стандарта* — использование стандарта его пользователями с выполнением требований, установленных в стандарте, в соответствии с областью его распространения и сферой действия.

*Пользователь стандарта* — юридическое или физическое лицо, применяющее стандарт в своей производственной, научно-исследовательской, опытно-конструкторской, технологической, учебно-педагогической и других видах деятельности.

*Отрасль* — совокупность субъектов хозяйственной деятельности независимо от их ведомственной принадлежности и форм собственности, разрабатывающих и (или) производящих продукцию (выполняющих работы и оказывающих услуги) определенных видов, которые имеют однородное потребительное или функциональное назначение.

*Правила (ПР)* — документ в области стандартизации, метрологии, сертификации, аккредитации, устанавливающий обязательные для применения организационно-технические и (или) общетехнические положения, порядки (правила процедуры), методы (способы, приемы) выполнения работ соответствующих направлений, а также *обязательные* требования к оформлению результатов этих работ.

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

*Рекомендации (Р)* — документ в области стандартизации, метрологии, сертификации, аккредитации, содержащий *добровольные* для применения организационно-экономические и (или) общетехнические положения, порядки (правила процедуры), методы (способы, приемы) выполнения работ соответствующих направлений, а также рекомендуемые правила оформления результатов этих работ.

*Соответствие государственному стандарту* (государственным стандартам) — соблюдение изготовителем всех установленных в государственном стандарте (государственных стандартах) требований к продукции.

*Контроль (надзор)* за соблюдением требований технических регламентов – проверка выполнения юридическим лицом или индивидуальным предпринимателем требований технических регламентов к продукции, процессам производства, эксплуатации, хранения, перевозки, реализации и утилизации и принятие мер по результатам проверки.

## **2. Органы, службы и нормативные документы по стандартизации**

Государственное управление стандартизацией в Российской Федерации осуществляет Государственный комитет Российской Федерации по стандартизации и метрологии (Госстандарт России). Работы по стандартизации в области строительства организует Государственный комитет по жилищной и строительной политике (Госстрой России).

По закону «О техническом регулировании» Госстандарт России в области стандартизации решает следующие вопросы:

- утверждает национальные стандарты;
- принимает программу разработки национальных стандартов;

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

- организует экспертизу проектов национальных стандартов;
- обеспечивает соответствие национальной системы стандартизации интересам национальной экономики, состоянию материально-технической базы и научно-техническому прогрессу;
- осуществляет учет национальных стандартов, правил стандартизации, норм и рекомендаций в этой области и обеспечивает их доступность заинтересованным лицам;
- создает технические комитеты по стандартизации и координирует их деятельность;
- организует опубликование национальных стандартов и их распространение;
- участвует в соответствии с уставами международных организаций в разработке международных стандартов и обеспечивает учет интересов Российской Федерации при их принятии;
- утверждает изображение знака соответствия национальным стандартам;
- представляет Российскую Федерацию в международных организациях, осуществляющих деятельность в области стандартизации.

Работы по стандартизации в области строительства организует Госстрой России.

Для организации и осуществления работ по стандартизации определенных видов продукции и технологии или видов деятельности, а также проведения по указанным объектам работ по международной (региональной) стандартизации создают технические комитеты (ТК) по стандартизации.

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

К работе в ТК привлекаются на добровольной основе полномочные представители заинтересованных предприятий и организаций. К работе в технических комитетах должны привлекаться ведущие ученые и специалисты. ТК создаются на базе предприятий (организаций), специализирующихся по определенным видам продукции и технологий или видам деятельности и обладающих в данной области наиболее высоким научно-техническим потенциалом, в том числе на базе организаций Госстандарта России или Госстроя России.

Госстандарт осуществляет свои функции непосредственно и через созданные им органы. К территориальным органам Госстандарта относятся центры стандартизации и метрологии (ЦСМ), которых на территории РФ более 100 (например, в Москве, Санкт-Петербурге, Новосибирске, Иркутске и в других центрах экономических районов).

К российским службам стандартизации относятся научно-исследовательские институты Госстандарта России (20 институтов) и технические комитеты по стандартизации.

К *научно-исследовательским институтам* Госстандарта, например, относятся: НИИ стандартизации (ВНИИСтандарт) — головной институт в области Государственной системы стандартизации; ВНИИ сертификации продукции (ВНИИС) — головной институт в области сертификации продукции (услуг) и систем управления качеством продукции (услуг); ВНИИ по нормализации в машиностроении (ВНИИНМАШ) — головной институт в области разработки научных основ унификации и агрегатирования в машиностроении и приборостроении; ВНИИ комплексной информации по стандартизации и качеству (ВНИИКИ) — головной институт в области разработки и дальнейшего развития Единой

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

системы классификации и кодирования технико-экономической информации, стандартизации научно-технической терминологии.

Деятельность по стандартизации осуществляется и другими федеральными органами исполнительной власти в пределах их компетенции. Эти органы в своих стандартах могут устанавливать обязательные требования к качеству продукции (работ, услуг), то есть создавать технические регламенты. В частности, роль технических регламентов выполняют санитарные нормы и правила (СанПиП), вводимые Минздравом России; строительные нормы и правила (СНиП) Госстроя России, государственные образовательные стандарты Министерства образования Российской Федерации и др.

Для организации и координации работ по стандартизации в отраслях экономики и иных сферах деятельности государственные органы управления в пределах их компетенции создают при необходимости подразделения (службы) стандартизации и (или) назначают головные организации по стандартизации.

Субъекты хозяйственной деятельности также организуют и проводят работы по стандартизации. Их подразделения (службы) стандартизации (конструкторско-технологические и научно-исследовательские отделы, лаборатории, бюро) выполняют научно-исследовательские, опытно-конструкторские и другие работы по стандартизации, участвуют в выполнении работ по стандартизации, проводимых другими подразделениями предприятия, а также осуществляют организационно-методическое и научно-техническое руководство работами по стандартизации на предприятии.

Руководители предприятий несут ответственность за организацию и состояние выполняемых работ по стандартизации на этих предприятиях.

### **Нормативные документы по стандартизации**

Нормативные документы по стандартизации применяются государственными органами управления, субъектами хозяйственной деятельности на стадиях разработки, подготовки продукции к производству, ее изготовления, реализации (поставки, продажи), использования (эксплуатации), хранения, транспортирования и утилизации, при выполнении работ и оказании услуг, при разработке технической документации (конструкторской, технологической, проектной), в том числе технических условий, каталожных листов на поставляемую продукцию (оказываемые услуги).

Перечень нормативных документов по стандартизации, действующих в Российской Федерации, приведен в табл. 1.1.

Таблица 1.1

### **Нормативные документы по стандартизации**

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

Наименование документа	Определение	Обозначение	Сфера действия
Государственный стандарт РФ	Стандарт, принятый Госстандартом России или Госстроем России	ГОСТ Р	Российская Федерация
Региональный стандарт	Стандарт, принятый региональной организацией по стандартизации	ГОСТ, СТ СЭВ	Страны — члены региона
Межгосударственный стандарт (является стандартом регионального типа)	Стандарт, принятый Межгосударственным Советом по стандартизации, метрологии и сертификации или Межгосударственной научно-технической комиссией по стандартизации, техническому нормированию и сертификации в строительстве	ГОСТ	Страны — члены Межгосударственного совета (МГС) и (или) Межгосударственной научно-технической комиссии (МНТКС)
Международный стандарт	Стандарт, принятый международной организацией по стандартизации	ИСО, МЭК, ИСО/МЭК	Страны — члены и члены-корреспонденты ИСО и МЭК
Общероссийский классификатор технико-экономической информации	Документ, принятый Госстандартом России или Госстроем России	ОК	Российская Федерация

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

Наименование документа	Определение	Обозначение	Сфера действия
Стандарт отрасли	Стандарт, принятый государственным органом управления в пределах его компетенции применительно к продукции, работам и услугам отраслевого значения	ОСТ	В одной или нескольких отраслях
Стандарт предприятия	Стандарт, принятый предприятием применительно к внутренним продукции, работам и услугам.	СТП	На данном предприятии
Стандарт научно-технического, инженерного общества	Стандарт, принятый научно-техническим, инженерным обществом или другим общественным объединением	СТО	На принципиально новые виды продукции, процессы, услуги, методы испытаний
Технические условия	Документ, разработанный на конкретную продукцию (изделие, материал, вещество)	ТУ	На конкретное изделие, материал, вещество
Правила	Документ в области стандартизации, метрологии, сертификации, аккредитации, устанавливающий обязательные для применения организационно-технические и (или) общетехнические положения, порядки (правила процедуры), методы (способы, приемы) выполнения работ соответствующих направлений, а также обязательные требования к оформлению результатов этих работ	ПР	Российская Федерация
Рекомендации	Документ в области стандартизации, метрологии, сертификации, аккредитации, содержащий добровольные для применения организационно-технические и (или) общетехнические положения, порядки (правила процедуры), методы (способы, приемы) выполнения работ соответствующих направлений, а также рекомендуемые правила оформления результатов этих работ	Р	Российская Федерация

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

**Таблица 1.1.** Продолжение

Наименование документа	Определение	Обозначение	Сфера действия
Правила по межгосударственной стандартизации	См. «Правила»	ПМГ	Страны – члены МГС и (или) МНКТС
Рекомендации по межгосударственной стандартизации	См. «Рекомендации»	РМГ	Страны – члены МГС и (или) МНКТС
Регламент	Документ, содержащий обязательные правовые нормы и принятый органами власти		Сфера действия регламента

Все действующие в Российской Федерации государственные, межгосударственные, региональные, национальные стандарты других стран вносятся в ежегодно переиздаваемый указатель «Государственные стандарты».

*Государственные стандарты* (ГОСТ Р) разрабатываются на продукцию, работы и услуги, имеющие межотраслевое значение, и не должны противоречить законодательству Российской Федерации.

Государственные стандарты должны содержать:

- требования к продукции, работам и услугам по их безопасности для окружающей среды, жизни, здоровья и имущества, требования техники безопасности и производственной санитарии;
- требования по технической и информационной совместимости, а также взаимозаменяемости продукции;
- основные потребительские (эксплуатационные) характеристики продукции, методы их контроля, требования к упаковке, маркировке, транспортированию, хранению, применению и утилизации продукции;

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

□ правила и нормы, обеспечивающие техническое и информационное единство при разработке, производстве, использовании (эксплуатации) продукции, выполнении работ и оказании услуг, в том числе правила оформления технической документации, допуски и посадки, общие правила обеспечения качества продукции, работ и услуг, сохранения и рационального использования всех видов ресурсов, термины и их определения, условные обозначения, метрологические и другие общетехнические и организационно-технические правила и нормы..

В государственных стандартах содержатся как обязательные для выполнения требования к объекту стандартизации, так и рекомендательные.

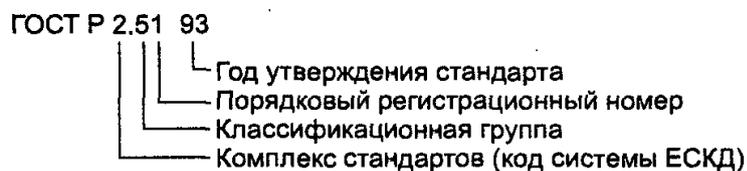
К обязательным относятся: требования по обеспечению безопасности продукции, работ и услуг для окружающей среды, жизни, здоровья и имущества, по обеспечению технической и информационной совместимости, взаимозаменяемости продукции, единства методов их контроля и единства маркировки, а также иные требования, установленные законодательством Российской Федерации.



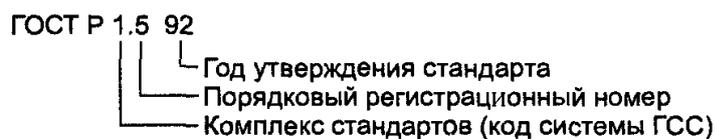
Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

К требованиям безопасности в стандартах относят: электробезопасность, пожаробезопасность, взрывобезопасность, радиационную безопасность, предельно допустимые концентрации химических и загрязняющих веществ, безопасность при обслуживании машин и оборудования.

Примеры условного обозначения государственных стандартов:



В случае отсутствия в структуре обозначения стандарта классификационной группы порядковый регистрационный номер проставляется непосредственно после кода системы:



В обозначение стандартов на изделия, используемые только в атомной энергетике, добавляется буква А, проставляемая после двух последних цифр года утверждения стандарта.

Международные и региональные стандарты (при условии присоединения к ним Российской Федерации), а также национальные стандарты других стран (при наличии соответствующих соглашений с этими странами) применяют на территории Российской Федерации в качестве государственных стандартов. При этом они представляют собой:

- аутентичный текст на русском языке соответствующего документа;
- или аутентичный текст на русском языке соответствующего документа с дополнительными требованиями, отражающими специфику потребностей на родного хозяйства.

Государственный стандарт, оформленный на основе применения аутентичного текста международного или регионального стандарта (например, ИСО/МЭК 2593: 1993) и не содержащий дополнительных требований, обозначается как

ГОСТ Р ИСО/МЭК 2593–98.

Если в государственном стандарте имеются дополнительные требования по сравнению с международным (региональным) стандартом, то в скобках приводится обозначение международного стандарта, например

ГОСТ Р 51295–99 (ИСО 2965–97).

*Региональные стандарты* для российских условий — это межгосударственные стандарты (ГОСТ) и стандарты бывшего Совета Экономической Взаимопомощи (СТ СЭВ). До сих пор в странах СНГ (в том числе и в Российской Федерации) применяются стандарты СЭВ, действующие в качестве межгосударственных.

*Межгосударственные стандарты* (ГОСТ) действуют, как региональные стандарты в странах СНГ. Основу Межгосударственной системы стандартизации (МГС)

составили государственные стандарты бывшего Союза ССР. В Российской Федерации государственные стандарты бывшего Союза ССР применяются постольку, поскольку они не противоречат законодательству Российской Федерации.

Межгосударственные стандарты принимаются Межгосударственным Советом по стандартизации, метрологии и сертификации (МГС) или Межгосударственной научно-технической комиссией по стандартизации, техническому нормированию и сертификации в строительстве (МНТКС). Решение об отмене того или иного стандарта СССР на территории Российской Федерации принимают Госстандарт или Госстрой России.

Условные обозначения межгосударственных стандартов аналогичны обозначениям государственных стандартов Российской Федерации.

Межгосударственный стандарт, оформленный на основе применения аутентичного международного стандарта (например, ИСО 9591: 1992), обозначается как

ГОСТ ИСО 9591-93.

Если в межгосударственном стандарте имеются дополнительные требования по сравнению с международным стандартом, то в скобках приводится обозначение международного стандарта, например

ГОСТ 20231-92 (ИСО 7173-89).

*Международные стандарты (ИСО, МЭК, ИСО/МЭК)* наиболее широко используются во всем мире; представляют собой тщательно отработанный вариант технических требований к продукции (услуге), что значительно облегчает обмен товарами, услугами и идеями между всеми странами мира.

Крупнейший партнер ИСО — Международная электротехническая комиссия (МЭК). Они поддерживают тесное сотрудничество с

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

Европейским комитетом по стандартизации (СЕН). В целом эти три организации охватывают международной стандартизацией все области техники; кроме того, они стабильно взаимодействуют в области информационных технологий и телекоммуникации.

Международные стандарты ИСО, МЭК и ИСО/МЭК не имеют статуса обязательных для всех стран-участниц. Любая страна мира вправе применять или не применять их. Решение вопроса о применении международного стандарта связано в основном со степенью участия страны в международном разделении труда и состоянием ее внешней торговли.

По своему содержанию стандарты ИСО в меньшей мере касаются требований к конкретной продукции. Основная же масса нормативных документов касается требований безопасности, взаимозаменяемости, технической совместимости, методов испытаний продукции, а также других общих и методических вопросов. Таким образом, использование большинства международных стандартов ИСО предполагает, что конкретные технические требования к товару устанавливаются в договорных отношениях.

По содержанию стандарты МЭК отличаются от стандартов ИСО большей конкретикой: в них изложены технические требования к продукции и методам ее испытаний, а также требования по безопасности, что актуально не только для объектов стандартизации МЭК, но и для нужнейшего аспекта подтверждения соответствия — сертификации на соответствие требованиям стандартов по безопасности. Для обеспечения этой области, имеющей актуальное значение в международной торговле, МЭК разрабатывает специальные международные стандарты на безопасность конкретных товаров.

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

ИСО и МЭК совместно разрабатывают стандарты ИСО/МЭК, руководства ИСО/МЭК и директивы ИСО/МЭК по актуальным вопросам стандартизации, сертификации, аккредитации испытательных лабораторий и методическим аспектам.

Международные, региональные стандарты, документы ЕЭК ООН и других международных, региональных организаций и национальные стандарты других стран могут применяться в качестве стандартов отраслей, стандартов предприятий и стандартов научно-технических, инженерных обществ и других общественных объединений до их принятия в качестве государственных стандартов Российской Федерации.

Допускаются изготовление и поставка продукции на экспорт в соответствии с требованиями международных, региональных и национальных стандартов других стран и стандартов фирм зарубежных стран по предложению потребителя (заказчика) этих стран на договорной (контрактной) основе.

*Общероссийские классификаторы технико-экономической информации* создаются в рамках Единой системы классификации и кодирования технико-экономической и социальной информации (ЕСКК ТЭСИ), и к которой входят общероссийские классификаторы, средства их ведения, нормативные и методические документы по их разработке, ведению и применению.

Основные положения по системе ЕСКК изложены в следующих документах:

- ПР 50-733-93. Основные положения Единой системы классификации и кодирования технико-экономической и социальной информации и унифицированных систем документации Российской Федерации;

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

- ПР 50-734-93. Порядок разработки общероссийских классификаторов технико-экономической и социальной информации;
- ПР 50-735-93. Положение о ведении общероссийских классификаторов на базе информационно — вычислительной сети Госкомстата России. (Примечание. С 1999 г. Госкомстат России преобразован в Российское статистическое агентство.)

Объектами классификации и кодирования в ЕСКК выступают: статистическая информация, макроэкономическая финансовая и правоохранительная деятельность, банковское дело, бухгалтерский учет, стандартизация, сертификация, производство продукции, предоставление услуг, таможенное дело, торговля и внешнеэкономическая деятельность.

Общее руководство и координацию работ по созданию ЕСКК осуществляют Госстандарт РФ и Росстатагентство. Научная часть этой работы ведется Всероссийским научно-исследовательским институтом классификации, терминологии и информации по стандартизации и качеству (ВНИИКИ).

Действующие общероссийские классификаторы:

- Общероссийский классификатор предприятий и организаций (ОКПО).
- Общероссийский классификатор органов государственной власти и управления (ОКОГУ).
- Общероссийский классификатор экономических районов (ОКЭР).
- Общероссийский классификатор видов экономической деятельности, продукции и услуг (ОКДП).
- Общероссийский классификатор специальностей по образованию (ОКСО).

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

- Общероссийский классификатор занятий (ОКЗ).
- Общероссийский классификатор управленческой документации (ОКУД).
- Общероссийский классификатор продукции (ОКП).
- Общероссийский классификатор информации по социальной защите населения (ОКИСЗН).
- Общероссийский классификатор услуг населению (ОКУН).
- Общероссийский классификатор стандартов (ОКС).
- Общероссийский классификатор профессий рабочих, должностей служащих и тарифных разрядов (ОКПДТР).
- Общероссийский классификатор основных фондов (ОКОФ).
- Общероссийский классификатор валют (ОКВ).
- Общероссийский классификатор изделий и конструкторских документов машиностроения и приборостроения (классификатор ЕСКД).
- Общероссийский классификатор единиц измерения (ОКЕИ).
- Общероссийский классификатор специальностей высшей научной квалификации (ОКСВНК).

Основные потоки информации, используемой в управлении хозяйством, связаны с промышленной и сельскохозяйственной продукцией. Общероссийский классификатор ОКП включает 98 классов промышленной и сельскохозяйственной продукции. В связи с тем, что в России выпускается более 200 миллионов наименований различной продукции, в производстве и распределении которой задействовано более 500 тысяч субъектов хозяйственной деятельности, планирование, учет и распределение продукции ведется с использованием автоматической системы управления.

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

Одновременно с ОКП с 1991 г. в России действует внешнеторговый классификатор — Товарная номенклатура внешнеэкономической деятельности (ТН ВЭД), которая является основой таможенного тарифа. Для увязки этих классификаторов используются переводные таблицы.

Составной частью ЕСКК ТЭСИ является *каталогизация продукции*. Она предусматривает составление перечней производимой, экспортируемой и импортируемой продукции с ее описанием (идентификацией). Каталогизация требуется специалистам всех уровней для обоснованного принятия управленческих, коммерческих и технических решений.

Формируемая в настоящее время Федеральная система каталогизации продукции для государственных нужд (ФСК) решает следующие задачи: однозначная идентификация предметов снабжения за счет единых стандартных правил описания; сбор, регистрация и хранение информации; выявление взаимозаменяемых, дублирующих и устаревших видов продукции; информационное обслуживание пользователей ФСК.

Источником информации для каталогизации являются *каталожные листы* (КЛ), представляемые в Центры метрологии и стандартизации при регистрации предприятием-изготовителем ТУ на продукцию.

В настоящее время ведется большая работа по созданию взаимосвязанных между собой классификаторов, что даст возможность обеспечивать достоверной информацией федеральные органы государственной власти России, а также иметь сопоставимую информацию при обмене ею между государствами.

*Стандарты отраслей* (ОСТ) могут разрабатываться и приниматься государственными органами управления в пределах их компетенции применительно к продукции, работам и услугам отраслевого значения по

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

процедурам, установленным этими органами. В частности, стандарты отраслей разрабатывают на организационно-технические и общетехнические объекты, продукцию, работы (процессы) и услуги, применяемые в отрасли, в том числе организацию проведения работ по отраслевой стандартизации, типоразмерные ряды и типовые конструкции изделий отраслевого применения (специфический крепеж, инструмент и др.), организацию работ по метрологическому обеспечению в отрасли.

Стандарты отраслей не должны нарушать обязательные требования государственных стандартов, а также правила и нормы безопасности, установленные государственными надзорными органами по вопросам, отнесенным к их компетенции. Требования стандартов отраслей подлежат своевременному приведению и соответствию с достижениями науки, техники и технологии, а также требованиями государственных стандартов.

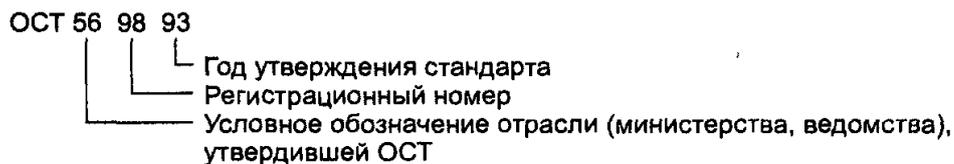
Стандарт отрасли применяют на территории Российской Федерации предприятия, подведомственные государственному органу управления, принявшему данный стандарт. Иные субъекты хозяйственной деятельности применяют стандарты отраслей на добровольной основе.

Требования стандартов отраслей к продукции, работам (процессам) и услугам подлежат обязательному соблюдению субъектами хозяйственной деятельности, если об этом указывается в технической документации изготовителя (поставщика) продукции, исполнителя работ и услуг или в договоре.

Ответственность за соответствие требований стандартов отраслей обязательным требованиям государственных стандартов несут принявшие их государственные органы управления.

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

Пример условного обозначения отраслевого стандарта



(56 – условное обозначение Федеральной службы лесного хозяйства).

Система регистрационной нумерации разрабатывается отраслью и согласовывается с Госстандартом России.

*Стандарты предприятий* (СТП) могут разрабатываться и утверждаться предприятиями самостоятельно, исходя из необходимости их применения в целях совершенствования организации и управления производством. При этом стандарты предприятий не должны нарушать обязательные требования государственных стандартов.

Требования стандартов предприятий подлежат обязательному соблюдению другими субъектами хозяйственной деятельности, если в договоре на разработку, производство и поставку продукции, на выполнение работ и оказание услуг сделана ссылка на эти стандарты.

В соответствии с ГОСТ Р 1.4-93 стандарты предприятий могут разрабатываться субъектами хозяйственной деятельности в следующих случаях:

1. Для обеспечения применения на предприятии государственных стандартов, стандартов отраслей, международных, региональных и национальных стандартов других стран, стандартов научно-технических, инженерных обществ и других общественных объединений.
2. На создаваемые и применяемые на данном предприятии продукцию, процессы и услуги, в том числе: составные части продукции, технологическую оснастку и инструмент; технологические процессы, а также общие технологические нормы

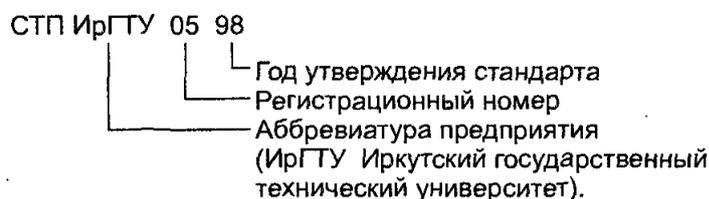
Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

и требования к ним с учетом обеспечения безопасности для окружающей среды, жизни и здоровья; услуги, оказываемые внутри предприятия; процессы организации и управления производством./

Основным назначением СТП является решение внутренних задач, широко применяются они и в системах управления качеством.

Некоторые отечественные и зарубежные фирмы в своих стандартах задают более жесткие требования, чем государственные, поскольку только в превосходстве требований к качеству продукции залог их успеха в конкурентной борьбе.

Пример условного обозначения стандарта предприятия:



*Стандарты научно-технических, инженерных обществ и других общественных объединений (СТО) разрабатываются и принимаются этими общественными объединениями для динамичного распространения и использования полученных в различных областях знаний результатов фундаментальных и прикладных исследований и разработок. Их разрабатывают, как правило, на принципиально новые виды продукции, процессы и услуги, методы испытаний, в том числе на*

нетрадиционные технологии, принципы организации и управления производством или других видов деятельности.

СТО не должны нарушать обязательные требования государственных стандартов и подлежат согласованию с соответствующими органами государственного контроля и надзора, если устанавливаемые в них положения затрагивают безопасность для окружающей среды, жизни, здоровья и имущества.

Необходимость применения этих стандартов субъекты хозяйственной деятельности определяют самостоятельно при разработке

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

и подготовке продукции к производству, организации работ (процессов) и услуг, а также при разработке технической документации, нормативных документов по стандартизации.

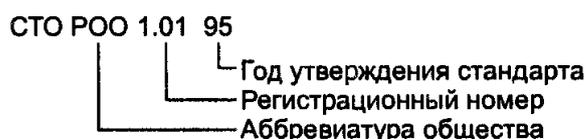
При получении новых результатов исследований и применения СТО в субъектах хозяйственной деятельности они пересматриваются или в них вносятся изменения.

По мере апробации СТО происходит отработка требований к объектам стандартизации и на их базе могут разрабатываться государственные стандарты. Так, например, на основе СТО РОО (Российского общества оценщиков) разработан комплекс государственных стандартов по оценке имущества.

Научно-технические и инженерные общества функционируют и за рубежом. В США, например, работают: Американское общество по испытаниям и материалам (ASTM), состоящее из индивидуальных членов, компаний, научно-исследовательских институтов, учебных заведений; Американское общество инженеров транспорта (SAE); Американское общество инженеров-механиков; Американское общество инженеров-строителей.

Последние два общества своих стандартов не выпускают, но активно участвуют в разработке национальных стандартов.

Пример условного обозначения СТО:



Система регистрационной нумерации разрабатывается обществом и согласовывается с Госстандартом России.

*Технические условия* (ТУ) изготовителей на поставляемую продукцию используют не только как технические документы, но и в роли

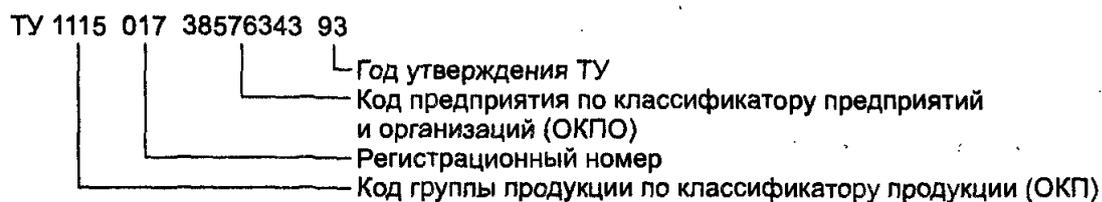
Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

нормативных документов, если на них делается ссылка в договорах между изготовителем и потребителем на изготовление и поставку продукции. Этот документ разрабатывается на одно или несколько конкретных изделий, материалов, веществ и т. п. и подлежит согласованию с заказчиком (потребителем) или с приемочной комиссией при постановке продукции на производство. Подписание акта приемки опытного образца (опытной партии) продукции членами приемочной комиссии означает согласование ТУ.

Требования, установленные ТУ, не должны противоречить обязательным требованиям государственных стандартов, относящихся к данной продукции.

Содержание и оформление ТУ регламентируется ГОСТ 2.114-95. ТУ утверждается разработчиком документации на продукцию.

Пример условного обозначения ТУ:



*Правила (ПР), (ПМГ) и рекомендации (Р), (РМГ).* В соответствии с ГОСТ Р 1.10-95 правила устанавливают *обязательные* для применения организационно-технические и (или) общетехнические положения, порядки (правила процедуры), методы (способы, приемы) выполнения работ соответствующих направлений, а также *обязательные* требования к оформлению результатов этих работ. Их разрабатывают при необходимости детализации обязательных требований соответствующих основополагающих организационно-технических и (или) общетехнических стандартов, при отсутствии таких стандартов, а также при

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

нецелесообразности разработки и принятия в обоснованных случаях соответствующих стандартов.

Рекомендации содержат *добровольные* для применения организационно-технические и (или) общетехнические положения, порядки (правила процедуры), методы (способы, приемы) выполнения работ соответствующих направлений, а также *рекомендуемые* правила оформления результатов этих работ. Их разрабатывают при целесообразности предварительной проверки на практике не устоявшихся, еще не ставших типовыми организационно-технических и (или) общетехнических положений, порядков (правил процедуры), методов (способов, приемов) выполнения работ определенных видов, а также правил оформления результатов этих работ, то есть до разработки и принятия соответствующих правил или стандартов.

Правила и рекомендации не должны дублировать обязательные требования действующих государственных, а также межгосударственных стандартов, принятых для применения в Российской Федерации, или противоречить этим требованиям.

Обозначение правил и рекомендаций по стандартизации, метрологии, сертификации и аккредитации состоит из индекса ПР (для правил) или Р (для рекомендаций), кода Госстандарта России (50), условного цифрового обозначения соответственно стандартизации — 1, метрологии — 2, сертификации — 3, аккредитации — 4, регистрационного номера и года утверждения (две последние цифры).

Правила, имеющие межотраслевую (межведомственную) область применения, принимаются и вводятся в действие постановлением Госстандарта России, а при необходимости регистрируются в Министерстве юстиции России.



Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

Информация о принятых ПР, ПМГ, Р и РМГ издательство стандартов публикует в ежемесячном информационном указателе «Государственные стандарты» (ИУС).

Проверку соблюдения обязательных требований правил осуществляют в порядке государственного контроля и надзора территориальными органами (центрами стандартизации и метрологии (ЦСМ)) Госстандарта России, а также их разработчиками в порядке авторского надзора.

*Технический регламент.* По закону «О техническом регулировании» технические регламенты принимаются в целях:

- защиты жизни и здоровья граждан, имущества физических или юридических лиц, государственного и муниципального имущества;
- охраны окружающей среды, жизни или здоровья животных и растений;
- предупреждения действий, вводящих в заблуждение приобретателей.

Технические регламенты с учетом степени риска причинения вреда устанавливают минимально необходимые требования, обеспечивающие:

- безопасность излучений;
- биологическую, механическую, пожарную, промышленную, термическую, химическую, электрическую, ядерную радиационную безопасность;
- взрывобезопасность;
- электромагнитную совместимость в части обеспечения безопасности работы приборов и оборудования;
- единство измерений.

В Российской Федерации действуют *общие* и *специальные* технические регламенты. Требования *общего* технического регламента обязательны для применения и соблюдения в отношении любых видов продукции, процессов производства, эксплуатации, хранения, перевозки, реализации и утилизации. Требованиями *специального* технического регламента учитываются технологические и иные особенности отдельных видов продукции, процессов производства, эксплуатации, хранения, перевозки, реализации и утилизации.

Порядок разработки технического регламента изложен в законе «О техническом регулировании» и принимается федеральным законом после публичного обсуждения. В исключительных случаях Президент РФ вправе издать технический регламент без его публичного обсуждения. До вступления в силу федерального закона Правительство РФ вправе издать постановление о соответствующем техническом регламенте при положительном решении соответствующей экспертной комиссии Госстандарта России.

### **3. Виды стандартов и порядок разработки государственных стандартов**

В зависимости от специфики объекта стандартизации и содержания устанавливаемых к нему требований разрабатывают стандарты следующих видов: основополагающие; на продукцию (услуги); на работы (процессы); методы контроля (испытаний, измерений, анализа).

*Основополагающие стандарты* устанавливают общие организационно-технические положения для определенной области деятельности, а также общетехнические требования, нормы и правила, обеспечивающие:

- общие требования в процессах создания и использования продукции, охране окружающей среды, безопасности продукции, процессов и услуг для жизни, здоровья, имущества;
- взаимосвязь процессов управления в различных областях деятельности (науке, технике, производстве);
- информационную совместимость и однозначность понимания объекта стандартизации;
- установление общих методов проектирования, подготовки производства, хранения, транспортирования, эксплуатации и ремонта продукции.

Основополагающие стандарты, как правило, образуют определенные системы (комплексы), которые состоят из государственных (межгосударственных, международных) стандартов и отраслевых, дополняющих государственные с учетом специфики отраслей. К таким стандартам относятся: основные (общие) положения, порядок (правила), термины и определения, общие требования или нормы, методы, допуски, типовые технологические методы.

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

*Стандарты на продукцию (услуги)* устанавливают требования к группам однородной продукции (услуг) или к конкретной продукции (услуге).

В этих стандартах устанавливаются:

- всесторонние требования к разработке и производству продукции;
- типоразмерные и параметрические ряды, обеспечивающие унификацию и взаимозаменяемость продукции;
- условия обеспечения сохранности свойств продукции при ее транспортировании и обращении.

*Стандарты и технические условия на продукцию* образуют совокупность взаимоувязанных стандартов и технических условий, регламентирующих информационную, конструктивную, метрологическую, эргономическую, технологическую, эксплуатационную и надежность совместимость и обеспечивающих высокий научно-технический уровень продукции на всех стадиях ее жизненного цикла.

*Технические условия на конкретную продукцию* должны, как правило, разрабатываться на основе и в строгом соответствии (взаимодействии) со стандартами, разработанными на группу однородной продукции, в которую входит эта конкретная продукция.

К таким стандартам относятся: основные параметры и (или) размеры, типы, марки, сортамент, конструкция и размеры, общие технические требования, маркировка, упаковка, транспортирование, хранение, эксплуатация, ремонт, общие технические условия, технические условия.

*Стандарты на работы (процессы)* устанавливают основные требования к методам (способам, приемам, режимам, нормам) выполнения различного рода работ в технологических процессах

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

разработки, изготовления, хранения, транспортирования, эксплуатации, ремонта и утилизации продукции.

Большую роль в оперативном освоении новой продукции играют стандарты системы автоматического проектирования (САПР), модульного конструирования и по принципиальным схемам технологического процесса изготовления изделий. Типичным объектом стандартов на работы являются типовые технологические процессы.

Стандарты на работы (процессы) должны содержать требования безопасности для жизни и здоровья населения и охраны окружающей природной среды при проведении технологических операций. Эти воздействия могут иметь химический (выброс вредных химикатов), физический (радиационное излучение), биологический (заражение микроорганизмами) и механический характер.

На современном этапе большое значение приобретают стандарты на управленческие процессы в рамках систем обеспечения качества продукции (услуг).

*Стандарты на методы контроля (испытаний, измерений, анализа)* устанавливают методы (способы, приемы, методики и др.) проведения испытаний, измерений, анализа продукции при ее создании, сертификации и использовании. Такие стандарты должны в наибольшей степени обеспечивать объективность, точность и воспроизводимость результатов оценки обязательных требований к качеству продукции (услуги). Выполнение этих условий в значительной степени зависит от наличия в стандарте сведений о погрешности измерений.

Несмотря на многообразие методик, приемов и способов контроля, можно выделить и общие положения, подлежащие стандартизации. К ним относятся: средства контроля и вспомогательные устройства; порядок

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

подготовки и проведения контроля; правила обработки и оформления результатов; допустимая погрешность испытания.

Чтобы результаты были достоверны и сопоставимы, в стандартах даются рекомендации относительно способа и места отбора пробы от партии товара с ее количественными характеристиками, схемами испытательных установок, правилами, определяющими последовательность проводимых операций и обработку полученных результатов.

Возможны и смешанные стандарты, например в стандартах на продукцию (услуги) оговариваются и методы контроля.

**Порядок разработки государственных стандартов**

По ГОСТ Р 1.2-92 разработку государственных стандартов Российской Федерации осуществляют технические комитеты по стандартизации (ТК), а также предприятия, общественные объединения в соответствии с планами государственной стандартизации Российской Федерации, программами (планами) работ ТК и договорами на разработку стандартов или в инициативном порядке.

При разработке стандартов используют научно-технические результаты научно-исследовательских, опытно-конструкторских, опытно-технологических, проектных работ, результаты патентных исследований, международные, региональные стандарты, правила, нормы и рекомендации по стандартизации, прогрессивные национальные стандарты других стран и иную информацию о современных достижениях отечественной и зарубежной науки, техники и технологии.

Предусмотрен следующий порядок разработки стандарта:

- 1-я стадия — организация разработки стандарта;

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

- 2-я стадия — разработка проекта стандарта (первая редакция);
- 3-я стадия — разработка проекта стандарта (окончательная редакция) и представление его для принятия;
- 4-я стадия — принятие и государственная регистрация стандарта;
- 5-я стадия — издание стандарта.

Построение, изложение, оформление, содержание и обозначение стандартов — по ГОСТ Р 1.5-92.

*Организация разработки стандарта* заключается в подготовке и представлении заявки на разработку стандарта в технический комитет (ТК), которую могут подавать ТК, научно-технические, инженерные общества и другие общественные объединения, государственные органы управления Российской Федерации, предприятия и предприниматели.

На разработку стандарта с разработчиком заключается договор, к которому в качестве приложения или в виде самостоятельного документа разрабатывается техническое задание.

Технический комитет (ТК) определяет подкомитет (ПК), в котором будет разрабатываться стандарт, и формирует рабочую группу (РГ) или определяет предприятие для разработки стандарта.

*Разработка проекта стандарта (первой редакции)* производится в соответствии с законодательством Российской Федерации, международными, региональными стандартами, правилами, нормами и рекомендациями по стандартизации, а также прогрессивными национальными стандартами других стран.

Подготовленный проект стандарта проверяет секретариат ТК (ПК) и рассылает его членам ТК (ПК) на отзыв, с учетом которых затем

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

подготавливает первую редакцию и направляет ее заказчику стандарта и в соответствующую научно-исследовательскую организацию Госстандарта России (Госстроя России). Кроме того, этот проект рассылается заинтересованным предприятиям и специалистам.

*Разработку проекта (окончательной редакции) и представление его для принятия* осуществляет ТК (ПК) с учетом поступивших отзывов. Заключение по этому проекту дают члены ТК (ПК), органы государственного контроля и надзора и научно-исследовательская организация Госстандарта России (Госстроя России).

Согласование и принятие решения по проекту стандарта проводится по процедуре, изложенной в ГОСТ Р 1.2-92.

*Принятие и государственная регистрация стандарта*, а также введение в действие производится Госстандартом России (Госстроем России) после проверки проекта стандарта на соответствие законодательству Российской Федерации, требованиям государственных стандартов, метрологическим правилам и нормам, применяемой терминологии, правилам построения, изложения и оформления стандартов.

*Издание стандарта* и распространение его осуществляет Госстандарт России (Госстрой России) в установленном им порядке.

*Обновление (изменение, пересмотр)* стандарта производится по инициативе членов ТК, других предприятий, предпринимателей, общественных объединений, государственных органов управления.

Изменение к стандарту на продукцию разрабатывают при введении в него новых, более прогрессивных требований, которые не влекут за собой нарушение взаимозаменяемости и совместимости новой продукции с продукцией, изготовляемой по действующему стандарту.

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

Такого характера изменение включают в изменение, обусловленное заменой (добавлением, исключением) требований к качеству продукции (услуг), а также в изменение, связанное с применением международных (региональных) стандартов, правил, норм и рекомендаций по стандартизации или прогрессивных национальных стандартов других стран.

При пересмотре стандарта разрабатывают новый стандарт взамен действующего. При этом действующий стандарт отменяют, а в новом указывают, взамен какого стандарта он разработан. Новому стандарту присваивают обозначение старого стандарта с заменой двух последних цифр года принятия.

Пересмотр стандарта на продукцию осуществляют при установлении новых, более прогрессивных требований, если они приводят к нарушению взаимозаменяемости новой продукции с продукцией, изготовляемой по действующему стандарту, и (или) изменению основных показателей качества продукции.

*Отмена* стандарта производится Госстандартом России (Госстроем России):

- в связи с прекращением выпуска продукции или проведения работ (оказания услуг), осуществлявшихся по данному стандарту;
- при разработке взамен данного стандарта другого нормативного документа;
- в других обоснованных случаях.

Информация о принятых стандартах, изменениях, пересмотре и отмене стандартов публикуется в ежемесячном информационном указателе «Государственные стандарты Российской Федерации»

#### **4. Государственный контроль и надзор за соблюдением требований государственного стандарта. Нормализационный контроль технической документации.**

Государственный контроль и надзор проводится в целях предупреждения, выявления и пресечения нарушений обязательных требований в области стандартизации, подтверждения соответствия (сертификации), качества и безопасности продукции (товаров), работ и услуг.

Государственный контроль и надзор проводится:

- у юридических лиц и индивидуальных предпринимателей, осуществляющих разработку, изготовление, реализацию (поставку, продажу), использование (эксплуатацию), транспортирование, хранение и утилизацию продукции; выполняющих работы и оказывающих услуги;
- в органах по сертификации, осуществляющих деятельность по подтверждению соответствия;
- в испытательных лабораториях (центрах), осуществляющих испытания продукции, работ и услуг для целей подтверждения соответствия.

По содержанию контроль и надзор идентичны. Различие заключается в полномочиях субъектов, их осуществляющих. В отличие от контроля надзор осуществляется в отношении объектов, не находящихся в ведомственном подчинении органам, которые его осуществляют. Например, должностные лица Госстандарта могут осуществлять в пределах своей компетенции надзор на любом промышленном предприятии или предприятии сферы услуг. Это же касается других государственных органов, которым дано право административного надзора

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

в определенной области деятельности, — комитетов, федеральных служб, инспекций в области экологии, противопожарной безопасности, охраны труда, лекарственных веществ, санитарно-эпидемиологического благополучия населения, горного дела и промышленности, воздушных, морских и речных судов, архитектуры и строительства, торговли, ветеринарии и др.

В современных условиях государственный контроль приобретает социально-экономическую ориентацию, поскольку основные его усилия направлены на проверку строгого соблюдения всеми хозяйственными субъектами обязательных норм и правил, обеспечивающих интересы и права потребителя, защиту здоровья и имущества людей и среды обитания. Одной из его основных задач следует считать предупреждение и пресечение нарушений обязательных требований государственных стандартов, правил обязательной сертификации.

Правовой основой Государственного контроля и надзора за соблюдением требований государственных стандартов (далее — Госнадзор) являются законы Российской Федерации: «О техническом регулировании», «Об обеспечении единства измерений», «О защите прав потребителей», «О защите прав юридических лиц и индивидуальных предпринимателей при проведении государственного контроля и надзора».

Государственный контроль и надзор в области стандартизации, обеспечения единства измерений и обязательной сертификации включает в себя:

1. Государственный контроль и надзор за соблюдением юридическими лицами и индивидуальными предпринимателями

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

обязательных требований государственных стандартов к продукции (товарам), работам и услугам.

2. Государственный контроль и надзор за соблюдением проверяемыми субъектами правил обязательной сертификации и за сертифицированной продукцией.

3. Государственный надзор за соблюдением законодательства Российской Федерации при аккредитации организаций, осуществляющих оценку соответствия продукции, производственных процессов и услуг установленным требованиям качества и безопасности.

4. Государственный метрологический надзор за выпуском, состоянием и применением средств измерений, аттестованными методиками выполнения измерений, эталонами единиц величин, соблюдением метрологических правил и норм, количеством товаров, отчуждаемых при совершении торговых операций, количеством фасованных товаров в упаковках любого вида при их расфасовке и продаже.

5. Государственный метрологический контроль, включающий утверждение типа средств измерений, поверку средств измерений, в том числе эталонов, лицензирование деятельности по изготовлению и ремонту средств измерений.

При проведении государственного контроля и надзора проверке подлежат:

- продукция или товары (далее — продукция), выполняемые работы и оказываемые услуги;
- техническая (конструкторская, технологическая, эксплуатационная, ремонтная и пр.) документация на продукцию, работы и услуги;
- системы управления качеством;

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

- работы по подтверждению соответствия (сертификации) продукции, работ и услуг органами по сертификации и испытательными лабораториями (центрами).

Государственный контроль и надзор осуществляется за соблюдением юридическими лицами и индивидуальными предпринимателями:

- ❖ обязательных требований на стадиях разработки, подготовки продукции к производству, ее изготовления, реализации (поставки, продажи), использования (эксплуатации), хранения, транспортирования и утилизации, а также при выполнении работ и оказании услуг;
- ❖ правил обязательной сертификации; '
- ❖ правил подтверждения соответствия продукции, работ и услуг обязательным требованиям путем принятия декларации о соответствии.

Государственный контроль и надзор осуществляется в порядке, определяемом Госстандартом России с учетом положений Федерального закона « О защите прав юридических лиц и индивидуальных предпринимателей при проведении государственного контроля (надзора)», следующими органами и организациями, составляющими систему государственного контроля:

1. Госстандартом России в лице структурного подразделения, в сферу ведения которого входят вопросы организации и проведения государственного контроля и надзора.
2. Федеральными государственными учреждениями, находящимися в ведении Госстандарта России (центры стандартизации, метрологии и сертификации).

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

3. Организациями со статусом государственного научного метрологического центра, находящимися в ведении) Госстандарта России и осуществляющими государственный метрологический контроль (государственные научные метрологические центры).

4. Должностными лицами, уполномоченными осуществлять государственный контроль и надзор от имени органов стандартизации, метрологии и сертификации, являются:

- Председатель Госстандарта России — главный государственный инспектор Российской Федерации по надзору за государственными стандартами и обеспечению единства измерений.
- Заместитель председателя Госстандарта России и руководитель структурного подразделения, в обязанности которых входят вопросы организации и осуществления государственного контроля и надзора (заместители главного государственного инспектора Российской Федерации).
- Руководители центров стандартизации, метрологии и сертификации — главные государственные инспекторы субъектов (регионов) Российской Федерации и их заместители, назначаемые и освобождаемые от должности председателем ) Госстандарта России.
- Работники указанного структурного подразделения Госстандарта России — государственные инспекторы.
- Работники структурных подразделений центров стандартизации, метрологии и сертификации — государственные инспекторы субъектов (регионов) Российской Федерации.

Госнадзор за соблюдением обязательных требований государственных стандартов и за сертифицированной продукцией осуществляют *государственный инспектор* или *комиссия* им

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

*возглавляемая.* Госнадзор за соблюдением правил обязательной сертификации осуществляет *комиссия, состав которой определяет председатель Госстандарта.*

Госстандарт России координирует деятельность федеральных органов исполнительной власти, осуществляющих в соответствии с Законом Российской Федерации «О защите прав потребителей» контроль и надзор за качеством и безопасностью товаров (работ, услуг).

К таким органам относятся, например,

1. Государственная инспекция по торговле, качеству товаров и защите прав потребителей (Госторгинспекция) проводит контроль за качеством и безопасностью потребительских товаров;

2. Государственный комитет РФ по охране окружающей среды осуществляет государственный экологический контроль;

3. Государственная санитарно-эпидемиологическая служба осуществляет надзор за соблюдением санитарного законодательства при разработке, производстве, применении всех видов продукции, и том числе и импортируемой.

Государственный контроль и надзор осуществляется в соответствии с планами, утверждаемыми главным государственным инспектором Российской Федерации, главными государственными инспекторами субъектов (регионов) Российской Федерации.

Государственный контроль и надзор проводится посредством выборочных проверок.

Плановые мероприятия по государственному контролю и надзору проводятся не более чем один раз в два года в отношении одного юридического лица или индивидуального предпринимателя.

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

Внеплановые мероприятия по государственному контролю и надзору проводятся в случаях:

- проверки исполнения выданных юридическим лицам и индивидуальным предпринимателям предписаний по результатам государственного контроля и надзора;
- получения информации от юридических лиц, индивидуальных предпринимателей, органов государственной власти о несоблюдении обязательных требований, предъявляемых к продукции, работам и услугам, об изменениях или о нарушениях технологических процессов, которые могут непосредственно причинить вред жизни, здоровью людей, окружающей среде и имуществу граждан, юридических лиц и индивидуальных предпринимателей;
- возникновения угрозы здоровью и жизни граждан, загрязнения окружающей среды, повреждения имущества, в том числе в отношении однородных товаров (работ, услуг) других юридических лиц и (или) индивидуальных предпринимателей;
- обращения граждан, юридических лиц и индивидуальных предпринимателей с жалобами на нарушения их прав, связанные с невыполнением обязательных требований, а также получения иной информации, подтверждаемой документами и иными доказательствами, свидетельствующими о наличии признаков таких нарушений. Обращения, не позволяющие установить обратившееся с жалобой лицо, не могут служить основанием для проведения внеплановой проверки.

Государственные инспектора имеют право:

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

- 1) доступа в служебные и производственные помещения юридического лица или индивидуального предпринимателя с соблюдением установленного законодательством порядка;
- 2) получать от юридического лица или индивидуального предпринимателя документы, необходимые для проведения государственного контроля и надзора;
- 3) использовать технические средства и привлекать специалистов юридического лица или индивидуального предпринимателя при проведении государственного контроля и надзора;
- 4) проводить в соответствии с нормативными документами по стандартизации отбор проб (образцов) продукции, работ и услуг для контроля соответствия их обязательным требованиям;
- 5) получать копии документов, необходимых для проведения государственного контроля и надзора и оформления его результатов.

Руководитель (иное должностное лицо) юридического лица или индивидуальный предприниматель обеспечивает государственным инспекторам необходимые условия для проведения государственного контроля и надзора в соответствии с действующим законодательством.

При проведении государственного контроля и надзора проводятся:

- отбор образцов (проб) продукции и (или) документов;
- технический осмотр продукции, работ и услуг;
- исследования (испытания), экспертизы и другие виды контроля продукции, работ и услуг, обеспечивающие достоверность и объективность результатов проверки;
- проверка наличия системы качества и данные о сертификации этой системы;

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

- оценка соответствия продукции, работ и услуг обязательным требованиям;
- проверка наличия каталожных листов на продукцию, прошедших учетную регистрацию.

Отбор образцов (проб) из партии продукции, предназначенной для мероприятий по контролю и надзору, осуществляет государственный инспектор в присутствии представителей юридического лица или индивидуального предпринимателя и участников проверки и оформляет акт отбора образцов.

Технический осмотр продукции, работ и услуг проводится непосредственно государственным инспектором с привлечением специалистов юридического лица или индивидуального предпринимателя. Результаты технического осмотра оформляют протоколом установленной формы.

Необходимость проведения испытаний определяет государственный инспектор (руководитель проверки). Испытания проводятся на испытательной базе юридического лица или индивидуального предпринимателя в присутствии государственного инспектора либо в аккредитованной испытательной лаборатории. Испытания продукции проводятся в соответствии с установленными в стандартах и других нормативных документах требованиями на методы контроля и испытаний продукции. Испытания образцов (проб) продукции оформляются протоколом по форме, принятой в испытательной лаборатории (центре). Результаты испытаний отобранных образцов (проб) распространяют на проверяемую партию продукции.

По результатам проверки главные государственные инспектора и государственные инспектора в пределах предоставленной им

законодательством компетенции выдают обязательные для исполнения юридическими лицами и индивидуальными предпринимателями предписания.

В случае выявления нарушений обязательных требований, правил обязательной сертификации государственным инспектором составляется протокол об административном правонарушении на юридическое лицо, руководителя юридического лица, иное должностное лицо юридического лица или индивидуального предпринимателя в порядке, установленном законодательством Российской Федерации об административных правонарушениях.

### **Нормализационный контроль технической документации**

Нормализационный контроль технической документации (нормоконтроль) проводится с целью повышение качества нормативно-технической документации и обеспечения внедрения требований стандартов на предприятии. Порядок проведения нормализационного контроля установлен ГОСТ 2.111-68, 3.1116-79 и 21.002-81. Нормоконтролю подлежит комплексная нормативно-техническая документация на изделия основного и вспомогательного производств, разрабатываемая самим предприятием и получаемая со стороны. Нормоконтроль осуществляется специалистами-нормоконтролерами, имеющими большой опыт работы в соответствующей области.

Задачей нормоконтроля является проверка:

- комплектности представленной на контроль документации;
- соблюдения конструктивной и технологической преемственности;
- необходимости разработки специальных чертежей и технологий;
- соответствия разработанной документации требованиям Единой системы конструкторской документации (ЕСКД), Единой системы

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

технологической документации (ЕСТД) и Системы проектной документации для строительства (СПДС);

- использования стандартных и унифицированных элементов конструкций, изготавливаемых специализированными заводами;
- соблюдения в разрабатываемых изделиях норм, правил, установленных государственными, отраслевыми стандартами, стандартами предприятий и другой нормативно-технической документации (НТД);
- соответствия оформления технической документации требованиям, установленным стандартами;
- использования установленных ограничительных номенклатур стандартизованных изделий (крепежных деталей, винтов, болтов, гаек, шайб, типов контрвок, резьб, шлицевых соединений, допусков и посадок), марок материалов, профилей проката, вспомогательных материалов;
- соблюдения действующей системы классификации и кодирования.

Необходимость повышения качества нормализационного контроля налагает на нормоконтролера определенные обязанности и предоставляет ему достаточные права.

Нормоконтролер обязан выпускать в производство только ту документацию, которая полностью отвечает требованиям стандартов; руководствоваться только действующими в момент проведения контроля стандартами и другими нормативно-техническими документами; давать консультации по вопросам применения стандартом и другой НТД; вести работу по улучшению системы нормоконтроля, повышению его эффективности; систематически представлять сведения о качестве контролируемой документации; повышать свою квалификацию.

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

Нормоконтролер имеет право:

- возвращать конструкторскую документацию разработчику без рассмотрения в случаях нарушения установленной комплектности, отсутствия обязательных подписей, небрежного выполнения;
- требовать от разработчиков конструкторской документации разъяснений и дополнительных материалов по вопросам, возникшим при проверке.

Изменения и исправления, указанные нормоконтролером и связанные с нарушением действующих стандартов и других нормативно-технических документов, обязательны для внесения в конструкторские документы.

Нормоконтролер несет ответственность за соблюдение в конструкторской и технологической документации требований действующих стандартов и других нормативно-технических документов наравне с разработчиками этой документации

Нормоконтроль — ответственная и трудоемкая работа. Им занято около 30% специалистов от общего числа работников служб стандартизации предприятия (организации). Поэтому нормализационный контроль необходимо постоянно совершенствовать и снижать затраты на его проведение за счет широкой профилактики отступлений от требований стандартов.

**ЛЕКЦИЯ по теме №1.1.2. Межотраслевые и  
межгосударственные системы стандартизации.  
Международная, региональная и национальная  
стандартизации**

**ВОПРОСЫ**

1. Межотраслевые системы (комплексы) стандартов.
2. Межгосударственные системы стандартизации.
3. Международная, региональная и национальная стандартизации.

**ЛИТЕРАТУРА**

1. Димов Ю.В. Метрология, стандартизация и сертификация. Учебник. 2-е изд. СПб.: ИД "Питер", 2011. – 432 с. (с.59-92).

**1. Межотраслевые системы (комплексы) стандартов**

Своеобразной формой комплексной стандартизации является стандартизация межотраслевых систем, направленная на решение крупных народнохозяйственных задач и обеспечивающая повышение эффективности производства высококачественной продукции. В настоящее время действуют следующие межотраслевые системы (комплекты) стандартов:

- 1 — Государственная система стандартизации РФ (ГСС);
- 2 — Единая система конструкторской документации (ЕСКД);
- 3 — Единая система технологической документации (ЕСТД);
- 4 — Система показателей качества продукции (СПКП);
- 5 — Унифицированная система документации (УСД);
- 6 — Система информационно-библиографической документации (СИБИД);
- 7 — Государственная система обеспечения единства измерений (ГСИ);

- 8 — Единая система защиты от коррозии и старения материалов и изделий (ЕСЗКС);
- 9 — Стандарты на товары, поставляемые на экспорт;
- 10 — Система стандартов безопасности труда (ССБТ);
- 11 — Репрография;
- 12 — Технологическая подготовка производства;
- 13 — Система разработки и постановки продукции на производство (СПП);
- 14 — Система стандартов в области охраны природы и улучшения использования природных ресурсов (ССОП);
- 19 — Единая система программных документов (ЕСПД);
- 15 — Система проектной документации для строительства (СПДС);
- 16 — Безопасность в чрезвычайных ситуациях (БЧС);
- 17 — Обеспечение износостойкости изделий;
- 18 — Система технической документации на АСУ;
- 19 — Расчеты и испытания на прочность;
- 20 — Средства измерений и автоматизации;
- 21 — Надежность в технике;
- 22 — Система стандартов эргономических требований и эргономического обеспечения;
- 23 — Технологическая; ,
- 24 — Информационная технология;
- 40 — Система сертификации ГОСТ Р.

В стандартах, входящих в комплекс, первые одна или две цифры с точкой условного обозначения относятся к шифру комплекса.

Процесс комплектования уже существующих комплексов до сих пор еще продолжается. Возможно и создание новых комплексов. Некоторые

комплексы уже почти сформированы (например, Система автоматического проектирования — САПР, или Единая система допусков и посадок — ЕСДП), но им пока не присвоен шифр комплекса. Другие только формируются. Очень перспективной, например, является система электронного обмена данными.

### **Единая система конструкторской документации (ЕСКД)**

ЕСКД устанавливает для всех предприятий (организаций) страны единые правила разработки, выполнения, оформления и обращения конструкторской документации. В стандартах ЕСКД сохранена преемственность положений стандартов системы чертежного хозяйства и обеспечена согласованность с рекомендациями ИСО и МЭК.

*Основные задачи ЕСКД:* повышение производительности труда конструкторов; улучшение качества чертежной документации; взаимообмен конструкторской документацией между организациями и предприятиями без переоформления; углубление унификации при разработке проектов промышленных изделий; упрощение форм конструкторских документов, графических изображений, внесение в них изменений; механизация и автоматизация обработки технических документов и содержащейся в них информации; эффективное хранение, дублирование, учет документации, сокращение ее объемов; ускорение оборота документов; улучшение условий эксплуатации и ремонта технических устройств.

Весь комплекс стандартов системы ЕСКД, а их свыше 160, разделяется на следующие группы:

- 1 — Общие положения (ГОСТ 2.001-2.004);
- 2 — Основные положения (ГОСТ 2.101-2.125);
- 3 — Обозначения изделий и документов (ГОСТ 2.201);

- 4 — Общие правила выполнения чертежей (ГОСТ 2.301-2.321); ~
- 5 — Правила выполнения чертежей различных изделий (ГОСТ 2.401-428);
- 6 — Правила учета и обращения документации (ГОСТ 2.501-2.503);
- 7 — Правила выполнения эксплуатационной и ремонтной документации (ГОСТ 2.601-2.608);
- 8 — Правила выполнения схем и обозначения условно-графические (ГОСТ 2.701-2.711, 2.721-2.770, 2.780-2.797);
- 9 — Правила выполнения горно-графической документации (ГОСТ 2.801-2.804, 2.850-2.857);
- 10 — прочие стандарты.

ЕСКД стала универсальной системой, позволяющей осуществлять широкий обмен технической документацией с зарубежными странами, выходить на международный рынок с продажей товаров, лицензий, организовывать совместные с зарубежными фирмами предприятия по изготовлению конечного продукта.

Развитие компьютерной графики, систем автоматического проектирования и производства изделий ставят перед разработчиками системы ЕСКД задачи по отражению современных требований на выполнение, оформление и обращение «безбумажной» (на машинных носителях) конструкторской документации.

### **Единая система технологической документации (ЕСТД)**

Технологическая документация определяет технический уровень производства по тем технологическим методам, оборудованию, оснастке, инструменту, которые на нем использованы. На основе технологической документации создается многочисленная информация, применяемая для

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

проведения технико-экономических и планово-нормативных расчетов, планирования и регулирования производства, правильной его организации, подготовки, управления и обслуживания.

Основное назначение комплекса государственных стандартов, составляющих ЕСТД, — установить во всех организациях и на всех предприятиях единые взаимосвязанные правила, нормы и положения выполнения, оформления, комплектации и обращения, унификации и стандартизации технологической документации.

Внедрение ЕСТД позволяет:

- сократить объем разрабатываемой технологической документации;
- повысить производительность труда технологов;
- упорядочить номенклатуру и содержание форм документации общего назначения (карты технологического процесса, спецификации);
- установить правила оформления технологических процессов (формы документации), внесения и оформления изменений;
- установить правила учета и анализа применяемости технологической оснастки, деталей, узлов и материалов;
- эффективно внедрить типовые технологические процессы;
- создать первичную информационную базу для автоматизированной системы управления предприятия и отрасли.

Весь комплекс стандартов ЕСТД (свыше 40 ГОСТ) разделяется на следующие классификационные группы:

- 1 — Общие положения (ГОСТ 3.1001);
- 2 — основополагающие стандарты (ГОСТ 3.1102-3.1130);
- 3 — Классификация и обозначение технологических документов (ГОСТ 3.1201);

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

- 4 — Учет применяемости деталей и сборных единиц в изделиях;
- 5 — Основное производство. Формы технологических документов и правила их оформления на процессы, специализированные по видам работ (ГОСТ 3.1401-3.1409, 3.1412-3.1428);
- 6 — Основное производство. Формы технологических документов и правила их оформления на испытания и контроль (ГОСТ 3.1502-3.1507);
- 7 — Вспомогательное производство. Формы технологических документов (ГОСТ 3.1603);
- 8 — Правила заполнения технологических документов (ГОСТ 3.1702-3.1707).

В условном обозначении стандарта после кода комплекса (цифра 3 с точкой) ставится код производства, для которого разработан стандарт (1 - для машиностроения и приборостроения).

**Комплексы стандартов по безопасности жизнедеятельности**

Правовую основу обеспечения безопасности жизнедеятельности составляют соответствующие законы и постановления, принятые представительными органами Российской Федерации.

Стандартизация по обеспечению безопасности жизнедеятельности представлена тремя комплексами стандартов: «Система стандартов безопасности труда (ССБТ)» с кодом 12, «Система стандартов в области охраны природы и улучшения использования природных ресурсов (ССОП)» с кодом 17 и «Безопасность в чрезвычайных ситуациях (БЧС)» с кодом 22.

*Система стандартов безопасности труда (ССБТ)* выполняет важную социальную функцию по предупреждению аварий и несчастных случаев с

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

целью обеспечения охраны здоровья людей на производстве и в быту. Она насчитывает более 350 стандартов.

В рамках этой системы производятся взаимная увязка и систематизация всей существующей нормативной и нормативно-технической документации по безопасности труда, в том числе многочисленных норм и правил по технике безопасности и производственной санитарии как федерального, так и отраслевого значения. ССБТ представляет собой многоуровневую систему взаимосвязанных стандартов, направленную на обеспечение безопасности труда.

Система ССБТ (по ГОСТ 12.0.001-82) состоит из следующих групп:

- 0 — Организационно-методические стандарты;
- 1 — Стандарты требований и норм по видам опасных и вредных производственных факторов;
- 2 — Стандарты требований безопасности к производственному оборудованию;
- 3 — Стандарты требований безопасности к производственным процессам;
- 4 — Стандарты требований к средствам защиты работающих.

*Стандарты группы «0» устанавливают:*

- организационно-методические основы стандартизации в области безопасности труда (цели, задачи и структура, системы, внедрение и контроль за соблюдением стандартов ССБТ, терминология в области безопасности труда, классификация опасных и вредных производственных факторов и др.);
- требования (правила) к организации работ, направленных на обеспечение безопасности труда (обучение работающих

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

безопасности труда, аттестация персонала, методы оценки состояния безопасности труда и др.).

*Стандарты группы «1» устанавливают:*

- ❖ требования по видам опасных и вредных производственных факторов, предельно допустимые значения их параметров и характеристик;
- ❖ методы контроля нормируемых параметров и характеристик опасных и вредных производственных факторов;
- ❖ методы защиты работающих от опасных и вредных производственных факторов.

*Стандарты группы «2» устанавливают:*

- общие требования безопасности к производственному оборудованию;
- требования безопасности к отдельным группам (видам) производственного оборудования;
- методы контроля выполнения требований безопасности.

*Стандарты группы «3» устанавливают:*

- общие требования безопасности к производственным процессам;
- требования безопасности к отдельным группам (видам) технологических процессов;
- методы контроля выполнения требований безопасности. .

● *Стандарты группы «А» устанавливают:*

- ✚ требования к отдельным классам, видам и типам средств защиты;
- ✚ методы контроля средств защиты;
- ✚ классификация средств защиты.

Стандартизация в области безопасности труда охватывает все уровни управления народным хозяйством. Кроме того, предусматривается

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

обязательное включение раздела «Требования безопасности» в стандарты всех категорий и технические условия на материалы, вещества, производственное оборудование и в стандарты на производственные процессы, здания, сооружения, если они являются или могут быть источниками опасных и вредных производственных факторов.

На основе стандартов ССБТ на предприятиях всех отраслей народного хозяйства разрабатываются стандарты предприятий по безопасности труда, которые устанавливают порядок организации работ, внедрения и контроля за внедрением и соблюдением стандартов ССБТ и другой нормативной документации по безопасности труда, порядок организации работ по обеспечению пожаро- и взрыво- безопасности и другие положения.

Нормы и требования стандартов ССБТ в обязательном порядке включаются во все виды конструкторской, технологической, проектной документации, а также в инструкции по охране труда и другие документы. Основные положения стандартов ССБТ включены в стандарты других систем государственной стандартизации (ЕСКД, ЕС'ГД, СРПГ1, ГСП и др.).

Охрана труда на производстве, безопасность процессов, продукции и услуг в настоящее время приобретает важное значение при обязательной сертификации производственных объектов. Поэтому стандарты ССБТ являются основой нормативной базы систем обязательной сертификации.

В международной стандартизации вопросам безопасности уделяется особое внимание. ИСО и МЭК полагают, что обеспечению безопасности будет способствовать применение международных стандартов, в которых установлены требования безопасности. Это может быть стандарт, относящийся исключительно к области безопасности либо содержащий

требования безопасности наряду с другими техническими требованиями. При подготовке стандартов безопасности выявляют как характеристики объекта стандартизации, которые могут оказать негативное воздействие на человека и окружающую среду, так и методы установления безопасности по каждой характеристике продукта. Но *главной целью стандартизации в области безопасности является поиск защиты от различных видов опасностей.*

Например, МЭК как организация, наиболее активно занимающаяся вопросами безопасности, в сферу деятельности включила: травмоопасность, опасность поражения электротоком, техническая опасность, пожароопасность, взрывоопасность, химическая опасность, биологическая опасность, опасность излучений оборудования (звуковых, инфракрасных, радиочастотных, ультрафиолетовых, ионизирующих, радиационных и др.) [18].

*Система стандартов в области охраны природы и улучшения использования природных ресурсов (ССОП)* представляет собой совокупность взаимосвязанных стандартов, направленных на сохранение, восстановление и рациональное использование природных ресурсов.

Охрана природы (по ГОСТ 17.0.0.01-76) — это система мер, направленная на поддержание рационального взаимодействия между деятельностью человека и окружающей природной средой, обеспечивающая сохранение и восстановление природных богатств, рациональное использование природных ресурсов, предупреждающая прямое или косвенное вредное влияние результатов деятельности общества на природу и здоровье человека. Эта система разрабатывается в соответствии с действующим законодательством с учетом экологических, санитарно-гигиенических, технических и экономических

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

требований. Система стандартов в области охраны природы состоит из 9 групп стандартов (табл. 1.2).

**Таблица 1.2.** Классификационные группы ССОП

Номер группы	Наименование	Кодовое название
0	Организационно-методические стандарты	Основные положения
1	Стандарты в области охраны и рационального использования вод	Гидросфера
2	Стандарты в области защиты атмосферы	Атмосфера
3	Стандарты в области биологических ресурсов	Биологические ресурсы
4	Стандарты в области охраны и рационального использования почв	Почвы
5	Стандарты в области улучшения использования земель	Земля
6	Стандарты в области охраны флоры	Флора
7	Стандарты в области охраны фауны	Фауна
8	Стандарты в области охраны и рационального использования недр	Недра

В зависимости от характера стандартизуемого объекта стандарты ССОП подразделяются на виды (табл. 1.3). Обозначение стандарта системы ССОП рассмотрим на примере ГОСТ 17.1.3.13-86 «Охрана природы. Гидросфера. Общие требования к охране поверхностных вод от загрязнения»

**Таблица 1.3.** Классификационные виды ССОП

Номер вида	Наименование вида
0	Основные положения
1	Термины, определения, классификация
2	Нормы и методы измерений загрязняющих выбросов и сбросов, интенсивности использования природных ресурсов
3	Правила охраны природы и рационального использования природных ресурсов
4	Методы определения параметров состояния природных объектов и интенсивности хозяйственных воздействий
5	Требования к средствам контроля и измерений состояния окружающей природной среды
6	Требования к устройствам, аппаратам и сооружениям по защите окружающей среды от загрязнений
7	Прочие стандарты

*Безопасность в чрезвычайных ситуациях (БЧС)* представлена комплексом стандартов, основной целью которых является:

1. повышение эффективности мероприятий по предупреждению и ликвидации ЧС на всех уровнях (федеральном, региональном, местном) для обеспечения безопасности населения и объектов народного хозяйства в природных, техногенных, биолого-социальных и военных ЧС;
2. предотвращение или снижение ущерба в ЧС;
3. эффективное использование и экономия материальных и трудовых ресурсов при проведении мероприятий по предупреждению и ликвидации ЧС.

В комплекс БЧС входят классификационные группы, представленные в табл. 1.4.

**Таблица 1.4.** Классификационные группы БЧС

Номер группы	Наименование	Кодовое название
0	Основополагающие стандарты	Основные положения
1	Стандарты в области мониторинга и прогнозирования	Мониторинг и прогнозирование
2	Стандарты в области обеспечения безопасности объектов народного хозяйства	Безопасность объектов народного хозяйства

Номер группы	Наименование	Кодовое название
3	Стандарты в области обеспечения безопасности населения	Безопасность населения
4	Стандарты в области обеспечения безопасности продовольствия, пищевого сырья и кормов	Безопасность продовольствия
5	Стандарты в области обеспечения безопасности сельскохозяйственных животных и растений	Безопасность животных и растений
6	Стандарты в области обеспечения безопасности водоисточников и систем водоснабжения	Безопасность воды
7	Стандарты на средства и способы управления, связи и оповещения	Управление, связь, оповещение
8	Стандарты в области ликвидации чрезвычайных ситуаций	Ликвидация чрезвычайных ситуаций
9	Стандарты в области технического оснащения аварийно-спасательных формирований, средств специальной защиты и экипировки спасателей	Аварийно-спасательные средства
10, 11	Резерв	

Стандарты группы 0 устанавливают:

- ✚ основные положения (назначение, структуру, классификацию) комплекса стандартов; ...
- ✚ основные термины и определения в области обеспечения безопасности в ЧС;
- ✚ классификацию ЧС;

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

- ✚ классификацию продукции, процессов, услуг и объектов народного хозяйства по степени их опасности;
- ✚ номенклатуру и классификацию поражающих факторов и воздействий источников ЧС;
- ✚ предельно допустимые уровни (концентрации) поражающих факторов и воздействий источников ЧС; основные положения и правила метрологического контроля состояния технических систем в ЧС.

**Система разработки и постановки продукции на производство  
(СРПП)**

*Главной целью* системы СРПП является обеспечение выпуска качественной продукции. Она распространяется на продукцию всех отраслей промышленности за исключением носимой.

Основное назначение СРПП состоит в установлении организационно-технических принципов и порядка проведения работ, направленных на решение следующих *задач*:

- обеспечение разработки и производства новой продукции высокого качества, которая могла бы быть конкурентоспособной;
- сокращение сроков и затрат на разработку, производство, эксплуатацию и ремонт продукции;
- обеспечение стабильности показателей качества выпускаемой продукции;
- своевременное обновление устаревшей продукции;
- повышение ответственности исполнителей работ за качество разработки, изготовления и обеспечение эксплуатации и ремонта продукции.

*Объектами стандартизации* СРПП являются:

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

- порядок проведения работ в процессе жизненного цикла продукции;
- правила проведения и оформления решений по их результатам;
- функции участников работ;
- общие требования к продукции, предъявляемые на каждой стадии жизненного цикла.

Стандарты СРПП могут быть государственными, межгосударственными, отраслевыми и предприятий.

По ГОСТ 15.000-82 СРПП включает в себя классификационные группы, представленные в табл. 1.5.

Разработка и постановка продукции на производство предусматривает разработку технического задания (ТЗ), чертежной и другой нормативно-технической документации, изготовление и испытание образцов продукции, приемку результатов разработки, технологическую подготовку и освоение производства. В разделах стандарта четко регламентируются функции разработчика, заказчика (потребителя), изготовителя продукции.

**Таблица 1.5.** Классификационные группы СРПП

Код группы	Наименование	Устанавливаемые положения и требования
0	Общие положения	Общие (основные) положения СРПП по всей продукции и на определенные группы продукции межотраслевого назначения, а также термины и определения
1	Научно-исследовательские работы (НИР)	Порядок проведения научных исследований, непосредственно предшествующих разработке продукции
2	Опытно-конструкторские (ОКР) и опытно-технологические работы (ОТР)	Требования к опытно-конструкторским (ОКР) и опытно-технологическим (ОТР) работам

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

Код группы	Наименование	Устанавливаемые положения и требования
3	Производство	Требования к постановке продукции на производство и изготовлению продукции единичного, серийного и массового производств
4	Поставка (обращение и реализация)	Требования по обращению и реализации продукции, проведению работ при ее передаче заказчику (основному потребителю)
5	Эксплуатация	Требования по порядку введения продукции в эксплуатацию и снятию ее с эксплуатации
6	Ремонт	Требования к порядку проведения ремонта изделий с учетом условий подготовки и освоения ремонтного производства и контроля качества отремонтированных изделий
7	Обеспечение эксплуатации и ремонта промышленностью	Требования к обеспечению эксплуатации и ремонта изделий промышленностью, в том числе изготовление запасных частей к изделиям, находящимся в эксплуатации
8	Снятие с производства	Требования к снятию продукции с производства
9	Прочие стандарты	Стандарты, не обладающие квалификационными признаками других групп

Конечный результат подготовки производства подтверждается проведением квалификационных испытаний образцов первой промышленной партии. При положительных результатах этого испытания освоение данного изделия считается завершенным, а продукция может поставляться заказчику.

### Единая система программных документов (ЕСПД)

Система ЕСПД устанавливает правила разработки, оформления и обращения программ и программной документации.

*Единые требования* к разработке, сопровождению, изготовлению и эксплуатации программ и программной документации *обеспечивают*:

- унификацию программных изделий для взаимного обмена программами и применения ранее разработанных программ в новых разработках;
- снижение трудоемкости и повышение эффективности разработки, сопровождения, изготовления и эксплуатации программных изделий;

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

- автоматизацию изготовления и хранения программной документации.

В состав ЕСПД (28 стандартов) входят следующие *классификационные группы*:

- 0 – Общие положения;
- 1 – основополагающие стандарты;
- 2 — Правила выполнения документации разработки;
- 3 — Правила выполнения документации изготовления;
- 4— Правила выполнения документации сопровождения;
- 5— Правила выполнения эксплуатационной документации;
- 6 — Правила обращения программной документации;
- 7, 8 — Резервные группы;
- 9 — прочие стандарты.

Информационные технологии в настоящее время бурно развиваются. Это неизбежно приведет к развитию системы ЕСПД. Например [18], в области информационных технологий интересным новым направлением международной стандартизации является CALS-технология (Continuous Acquisition and Life Cycle Support). Концепция CALS возникла в военно-промышленном комплексе США, затем проникла в гражданскую промышленность и значительно расширилась географически.

Со временем CALS стала называться «Поддержкой непрерывных поставок и жизненного цикла изделий». Это значит, что усиливалось внимание к методологии параллельного проектирования и интегрированной логистической поддержки. Позднее CALS превратилась в Commerce At Light Speed — «Бизнес в высоком темпе». Этот последний

вариант и служит основой для разработки международных стандартов в области информационных технологий для электронной коммерции.

CALS-технологии обусловили возникновение нового понятия — «виртуальное предприятие». По существу это не оформленное организационно объединение разных компаний, связанных разработкой или реализацией одного проекта. Для них нужны единые правила действий, единый язык, единые нормы. А это решается только путем стандартизации.

Наряду с другими организациями стандартизацией в области CALS-технологий занимается ИСО; приняты международные стандарты ИСО 10303, ИСО 13584 и др. Начали применять CALS-технологии и в России.

## **2. Межгосударственная система стандартизации (МГСС)**

### **Общая характеристика системы**

Межгосударственная стандартизация (по ГОСТ 1.0-92) — это стандартизация объектов, представляющих межгосударственный интерес.

Представителями стран СНГ 13 марта 1992 г. подписано «Соглашение о проведении согласованной политики в области стандартизации» и образованы Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации (МГС) и Межгосударственная научно-техническая комиссия по стандартизации, техническому нормированию и сертификации в строительстве (МНТКС).

В 1995 г. Совет ИСО признал МГС региональной организацией по стандартизации и в странах СНГ.

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

**Таблица 1.6.** Государства — участники Соглашения и их национальные органы по стандартизации, метрологии и сертификации

Наименование государства	Наименование национального органа по стандартизации, метрологии и сертификации
Азербайджанская республика	Азгосстандарт
Республика Армения	Армгосстандарт
Республика Беларусь	Госстандарт Беларуси
Грузия	Грузстандарт
Республика Казахстан	Госстандарт Республики Казахстан
Киргизская Республика	Киргизстандарт
Республика Молдова	Молдовастандарт
Российская Федерация	Госстандарт России
Республика Таджикистан	Таджикстандарт
Туркменистан	Главная государственная инспекция Туркменистана
Республика Узбекистан	Узгосстандарт
Украина	Госстандарт Украины

Членами МГС являются руководители национальных органов по стандартизации, метрологии и сертификации 12 государств — участников Соглашения (табл. 1.6). МГС открыта и для других государств, признающих ее принципы и присоединяющихся к Соглашению.

Основные положения системы МГСС изложены в следующих нормативных документах:

- ✚ ГОСТ 1.0-92. Правила проведения работ по межгосударственной стандартизации. Общие положения;
- ✚ ГОСТ 1.2-97. Правила проведения работ по межгосударственной стандартизации. Порядок разработки, принятия, применения, обновления и отмены документов по межгосударственной стандартизации;

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

- ✚ ГОСТ 1.5-93. Правила проведения работ по межгосударственной стандартизации. Общие требования к построению, изложению, оформлению и содержанию стандартов;
- ✚ ПМГ 02-93. Типовое положение о межгосударственном техническом комитете по стандартизации;
- ✚ ПМГ 04-94. Порядок распространения межгосударственных стандартов и нормативной документации Межгосударственного совета по стандартизации, метрологии и сертификации;
- ✚ ПМГ 05-94. Порядок взаимодействия национальных органов по стандартизации по осуществлению переводов межгосударственных, международных и зарубежных стандартов;
- ✚ ПМГ 13-95. Порядок разработки и ведения межгосударственных классификаторов;
- ✚ ПМГ 14-96. Положение о гармонизации классификаторов технико-экономической и социальной информации;
- ✚ ПМГ 22-97. Правила по программному планированию разработки и межгосударственных стандартов;
- ✚ РМГ 19-96. Рекомендации по основным принципам и методам стандартизации терминологии;
- ✚ РМГ 24. Рекомендации по разработке стандартов межгосударственными техническими комитетами.

Целями межгосударственной стандартизации в соответствии с ГОСТ 1.0-92 являются:

- ❖ защита интересов потребителей и каждого государства — участника Соглашения в вопросах качества продукции, услуг и процессов, обеспечивающих безопасность для жизни, здоровья и имущества населения, охрану окружающей среды;

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

- ❖ обеспечение совместимости и взаимозаменяемости продукции и других требований, представляющих межгосударственный интерес;
- ❖ содействие экономии всех видов ресурсов и улучшению экономических показателей производства стран — участников Соглашения;
- ❖ устранение технических барьеров в производстве и торговле, содействие повышению конкурентоспособности продукции государств — участников Соглашения на мировых торговых рынках и эффективному участию государств в межгосударственном и международном разделении труда;
- ❖ содействие повышению безопасности хозяйственных объектов государств — участников Соглашения при возникновении природных и технологических катастроф, а также других чрезвычайных ситуаций.

Объектами межгосударственной стандартизации являются:

- общетехнические нормы и требования, в том числе единый технический язык;
- типоразмерные ряды и типовые конструкции изделий общемашиностроительного применения (подшипники, крепеж и др.);
- совместимые программные и технические средства информационных технологий, справочные данные;
- справочные данные о свойствах материалов и веществ;
- объекты крупных промышленных и хозяйственных комплексов (транспорт, энергетика, связь и др.); , . •
- объекты крупных межгосударственных социально-экономических и научно-технических программ;

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

- взаимопоставляемая продукция, выпускаемая в ряде государств.

В рамках СНГ действует «Соглашение о взаимном признании результатов сертификации.

В области метрологии реализуются программы совместных работ в нескольких направлениях: передача размеров единиц физических величин; разработка и пересмотр основополагающих межгосударственных нормативных документов по метрологии; создание и применение стандартных образцов состава и свойств веществ и материалов; методы неразрушающего контроля.

Рабочими органами МГС являются постоянно действующий технический секретариат с местом пребывания в Минске. Органами по разработке стандартов являются межгосударственные технические комитеты (МТК), которых создано свыше 200. Благодаря деятельности МГС сохранено около 25 тыс. государственных, 40 тыс. отраслевых стандартов, 35 классификаторов технико-экономической информации, 140 метрологических эталонов физических величин. За период до конца 1996 г. принято новых и пересмотрено более 2000 межгосударственных стандартов.

МГС стремится к расширению сотрудничества с международными организациями по стандартизации, метрологии и сертификации (ИСО, МЭК, СЕН). Уже имеется соглашение с Европейским комитетом по стандартизации (СЕН) о прямом (безвозмездном) применении европейских стандартов в качестве межгосударственных для стран СНГ. В случае использования этих стандартов все национальные стандарты в данной области, противоречащие евростандартам, должны быть изъяты из обращения. При этом в СЕН в обязательном порядке направляются копии стандартов, являющихся прямым применением евростандартов.

### **Порядок разработки межгосударственных стандартов**

В рамках деятельности Межгосударственного совета по стандартизации, метрологии и сертификации Российская Федерация может участвовать в разработке межгосударственных стандартов в следующих случаях:

- 1) в рамках межгосударственных технических комитетов (МТК), ведение секретариатов которых возложено на Российскую Федерацию;
- 2) в качестве автора стандартов (вне рамок МТК);
- 3) при рассмотрении проектов стандартов, авторами которых являются другие государства — участники Соглашения или МТК, ведение секретариатов которых возложены на эти государства.

Разработка проектов межгосударственных стандартов МТК, ведение секретариатов которых возложено на Российскую Федерацию, в соответствии с ГОСТ Р 1.8-95 осуществляется в следующем порядке:

1-я стадия — организация разработки стандарта;

2-я стадия — разработка первой редакции проекта стандарта и рассылка ее па отзыв;

3-я стадия — разработка окончательной редакции проекта стандарта и рассылка ее на рассмотрение и голосование;

4-я стадия — принятие проекта стандарта и его регистрация.

При разработке стандартов используют результаты научно-исследовательских, опытно-конструкторских, опытно-технологических, проектных работ; результаты патентных исследований; международные, региональные стандарты, правила, нормы и рекомендации по стандартизации (в том числе по межгосударственной стандартизации); прогрессивные национальные стандарты государств — участников

Соглашения и других стран, а также иную информацию о современных достижениях отечественной и зарубежной науки, техники и технологии.

*Организация разработки стандарта* возлагается на российскую часть МТК (российский ТК, аналогичный данному МТК) в соответствии с порядком, установленным ГОСТ Р 1.2-92 (п. 1.3.6).

В зависимости от источников финансирования разработка стандарта осуществляется на основе договора, заключаемого с Госстандартом России (Госстроем России), другими государственными органами управления Российской Федерации, национальными органами по стандартизации (национальными органами управления строительством) государств-участников Соглашения, другими государственными органами управления этих государств, заинтересованными предприятиями, организациями, общественными объединениями, расположенными как в Российской Федерации, так и в других государствах-участниках Соглашения; техническим секретариатом Межгосударственного совета по стандартизации, метрологии и сертификации или с секретариатом Межгосударственной научно-технической комиссии по стандартизации и техническому нормированию и сертификации в строительстве (МНТКС).

При необходимости может быть составлено техническое задание на разработку стандарта (как приложение к договору или в качестве самостоятельного документа).

*Разработку первой редакции проекта стандарта* осуществляет рабочая группа (предприятие, организация) и направляет его с пояснительной запиской в МТК. Секретариат МТК проверяет проект стандарта на соответствие условиям договора на его разработку, требованиям ГОСТ Р 1.0-92 и 1.5-95 и направляет его полномочным представителям государств, членом МТК, или (если они не определены)

национальным органам по стандартизации, или национальным органам управления строительством этих государств.

Полномочный представитель Российской Федерации в МТК совместно с российской частью секретариата МТК проверяют проект стандарта на соответствие требованиям взаимосвязанных с ним государственных стандартов Российской Федерации, законодательству Российской Федерации, метрологическим правилам и нормам, применяемой терминологии, и направляют его (с пояснительной запиской) на отзыв членам аналогичного российского ТК, научно-исследовательской организации Госстандарта России (Госстроя России), если она не является членом ТК, заказчику разработки стандарта (если им не является Госстандарт России или Госстрой России), другим заинтересованным предприятиям, организациям, государственным органам управления Российской Федерации (в том числе органам государственного контроля и надзора) с учетом полученных заявок.

Секретариат МТК рассматривает все полученные отзывы и направляет их разработчику проекта стандарта для подготовки окончательной редакции.

Разработка и рассмотрение окончательной редакции проекта стандарта осуществляет МТК с учетом поступивших отзывов.

При этом в разработке окончательной редакции проекта стандарта могут участвовать представители других государств — членов МТК по предложению их национальных органов.

Рассылка проекта стандарта (окончательной редакции) на рассмотрение полномочным представителям государств — членов МТК осуществляется секретариатом МТК одновременно с рассылкой проекта

стандарта (окончательной редакции) на рассмотрение предприятиям (организациям) Российской Федерации.

Согласование и принятие проекта стандарта, а также его регистрация производятся по процедуре, изложенной в ГОСТ Р 1.8-95.

Если после повторного рассмотрения проекта стандарта, разработка которого полностью финансируется Российской Федерацией, большинство (более половины) полномочных представителей заинтересованных государств — членов МТК возражает против принятия предложенного проекта стандарта, Госстандарт России (Госстрой России) по предложению российской части секретариата МТК может принять решение об оформлении на его основе (первоначального или доработанного варианта окончательной редакции) проекта государственного стандарта Российской Федерации. Это решение доводится до полномочных представителей других государств-членов МТК и технического секретариата (секретариата МНТКС).

Разработка проектов межгосударственных стандартов, автором которых является Российская Федерация (вне рамок МТК), по ГОСТ Р 1.8-95 осуществляется в следующем порядке:

- 1 -я стадия — организация разработки стандарта;
- 2-я стадия — разработка первой редакции проекта стандарта;
- 3-я стадия — разработка окончательной редакции проекта стандарта и ее рассмотрение в Госстандарте России (Госстрое России);
- 4-я стадия — рассмотрение проекта стандарта в государствах — участниках Соглашения;
- 5-я стадия — принятие стандарта и регистрация.

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

Разработка проектов стандартов на 1-3 стадиях соответствует порядку, установленному для проектов государственных стандартов (см. п. 1.3.6).

*Рассмотрение проекта стандарта в государствах — участниках Соглашения* производится после его одобрения Госстандартом России (Госстроем России).

После поступления от национальных органов этих государств результатов рассмотрения проекта стандарта (бюллетеней голосования, замечаний и предложений) Госстандарт России (Госстрой России) анализирует и обобщает их. При положительных результатах голосования по проекту стандарта Госстандарт России (Госстрой России) направляет его в технический секретариат (секретариат МНТКС).

При наличии принципиальных замечаний проект дорабатывается и рассылается на повторное рассмотрение и голосование. При отрицательных результатах повторного голосования по проекту стандарта Госстандарт России (Госстрой России) рассматривает обоснованность предъявляемых претензий и на этом основании принимает решение о дальнейшей доработке проекта стандарта или о прекращении разработки проекта межгосударственного стандарта и оформлении его для принятия в качестве государственного стандарта Российской Федерации. Принятое решение доводится до сведения технического секретариата (секретариата МНТКС).

Рассмотрение в Российской Федерации проектов межгосударственных стандартов, авторами которых являются другие государства — участники Соглашения или МТК, ведение секретариатов которых возложено на эти государства, Госстандартом России (Госстроем России) поручается ТК (предприятию, организации), за которым в

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

Российской Федерации закреплен соответствующий объект стандартизации или сфера деятельности.

Предприятие (организация) определяется в качестве ответственного за рассмотрение стандарта в том случае, если не создан соответствующий ТК. Такое предприятие (организация) должно иметь в данной области наиболее высокий научно-технический потенциал.

После поступления проекта стандарта от национального органа государства — основного разработчика стандарта (или секретариата МТК) Госстандарт России (Госстрой России) направляет его ТК (предприятию, организации), ответственному за рассмотрение данного стандарта, который рассылает его на отзыв органам в соответствии с ГОСТ Р 1.2-92 (п. 1.3.6) и заинтересованным предприятиям (организациям).

После выполнения всех процедурных мероприятий, оговоренных ГОСТ Р 1.8-95, Госстандарт России (Госстрой России) направляет бюллетень голосования национальному органу государства — основного разработчика стандарта (секретариату МТК), в котором дают свое решение о принятии (или не принятии) Российской Федерацией стандарта.

При необходимости Госстандарт России (Госстрой России) может одновременно принять решение об обновлении (пересмотре или внесении изменения) принятого государственного стандарта Российской Федерации.

Принятые межгосударственные стандарты, к которым Российская Федерация присоединилась или является их автором, применяются на ее территории, как правило, без переоформления в государственные стандарты Российской Федерации.

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

Государственные стандарты Российской Федерации в случае их применения в качестве межгосударственных продолжают применяться на ее территории после принятия постановления Госстандартом России (Госстроем России) о признании одинаковой силы этих стандартов в связи с полной аутентичностью их содержания. При этом на стандарте делают дополнение к обозначению в виде записи межгосударственного стандарта на каждой странице с левой стороны или над обозначением государственного стандарта. Например,

ГОСТ 40.9004–95 / ГОСТ Р 50691–94 или  
ГОСТ 40.9004–95  
ГОСТ Р 50692–94.

Изменение к межгосударственному стандарту разрабатывают при замене, добавлении или исключении отдельных его требований, которые не влекут за собой нарушения взаимозаменяемости и (или) совместимости новой продукции с продукцией, изготовляемой по действующему стандарту.

Порядок разработки и рассмотрения изменений и введения их в действие, а также порядок прекращения применения межгосударственных стандартов на территории Российской Федерации изложен в ГОСТ Р 1.8-95.

Информация о принятом межгосударственном стандарте, который вводится в действие для применения в Российской Федерации, а также информация о том, что межгосударственный стандарт отменен (прекращено его действие на территории Российской Федерации) или информация о принятии взамен него другого межгосударственного стандарта или государственного стандарта Российской Федерации

публикуется в ежемесячном информационном указателе «Государственные стандарты» (ИУС) (для стандартов в области строительства, кроме того, в журнале «Бюллетень строительной техники»). Соответствующие изменения вносятся и в указатель «Государственные стандарты».

### **3. Международная, региональная и национальная стандартизация**

Важнейшим фактором технического прогресса в мире является международная стандартизация, позволяющая увязать и систематизировать требования мировой торговли и интересы потребителей, способствовать наиболее полному использованию производительных сил.

Для успешного осуществления торгового, экономического и научно-технического сотрудничества различных стран первостепенное значение имеет международная стандартизация, поскольку различия национальных стандартов на одну и ту же продукцию, предлагаемую на мировом рынке, являются барьером на пути развития международной торговли.

Научно-техническое сотрудничество в области стандартизации направлено на гармонизацию национальной системы стандартизации с международной, региональными и прогрессивными национальными системами стандартизации.

В развитии международной стандартизации заинтересованы как индустриально развитые страны, так и страны развивающиеся, создающие собственную национальную экономику.

#### **Международная организация по стандартизации (ИСО)**

В 1946 г. на заседании Комитета по координации стандартов ООН было решено создать международную организацию по стандартизации (ИСО). Она начала работать в 1947 г. СССР был одним из ее основателей

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

и постоянным членом руководящих органов. Россия как правопреемник СССР стала членом этой организации. Штаб-квартира находится в Женеве, рабочие языки — английский, французский и русский.

Деятельность ИСО направлена на содействие развитию стандартизации и смежных видов деятельности с целью обеспечения международного обмена товарами и услугами, а также развития сотрудничества в интеллектуальной, научно-технической и экономической областях.

Диапазон объектов стандартизации в ИСО обширен и охватывает такие сферы деятельности, как: системы обеспечения качества продукции, машиностроение, химия, неметаллические материалы, руды и металлы, информационная техника, сельское хозяйство, строительство, специальная техника, охрана здоровья и медицина, основополагающие стандарты, окружающая среда, упаковка и транспортировка товаров, здравоохранение и медицина, охрана окружающей среды и др. Исключение составляют электротехника, электроника и радиотехника, относящиеся к компетенции Международной электротехнической комиссии (МЭК). Вопросы информационной технологии, микропроцессорной техники, сертификации и т. п. являются объектами совместных разработок ИСО/МЭК.

В состав ИСО входят 120 стран своими национальными организациями по стандартизации. Россию представляет Госстандарт РФ в качестве комитета-члена ИСО. Всего в составе ИСО более 80 комитетов-членов. В ИСО предусмотрены члены- корреспонденты (их 22), которыми являются организации по стандартизации развивающихся государств, и члены-абоненты для развивающихся стран. Комитеты-члены имеют право принимать участие во всех структурах управления ИСО и голосовать по

проектам стандартов. Члены-корреспонденты не ведут активной работы в ИСО, но имеют право на получение информации о разрабатываемых стандартах. Члены-абоненты уплачивают льготные взносы, имеют возможность быть в курсе международной стандартизации.

Организационная структура ИСО представлена на рис. 1.5. Высшим органом управления является Генеральная ассамблея. В период между сессиями Генеральной ассамблеи работой организации руководит Совет ИСО, в который входят представители национальных организаций по стандартизации.

Совету ИСО подчиняются семь комитетов: СТАКО, ПЛАКО, КАСКО, ДЕФКО, КОПОЛКО и РЕМКО.

СТАКО оказывает методическую и информационную помощь Совету ИСО по принципам и методике разработки международных стандартов. Он проводит изучение основополагающих принципов стандартизации и подготовку рекомендаций по достижению оптимальных результатов в данной области. СТАКО занимается также терминологией и организацией семинаров по применению международных стандартов для развития торговли.

ПЛАКО подготавливает предложения по планированию работы ИСО, организации и координации технических сторон работы.

КАСКО занимается вопросами подтверждения соответствия продукции, услуг, процессов и систем качества требованиям стандартов, компетентности испытательных лабораторий и органов по сертификации. Важная область работы КАСКО — содействие взаимному признанию и принятию национальных и региональных систем сертификации, а также использованию международных стандартов в области испытаний и подтверждения соответствия.

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

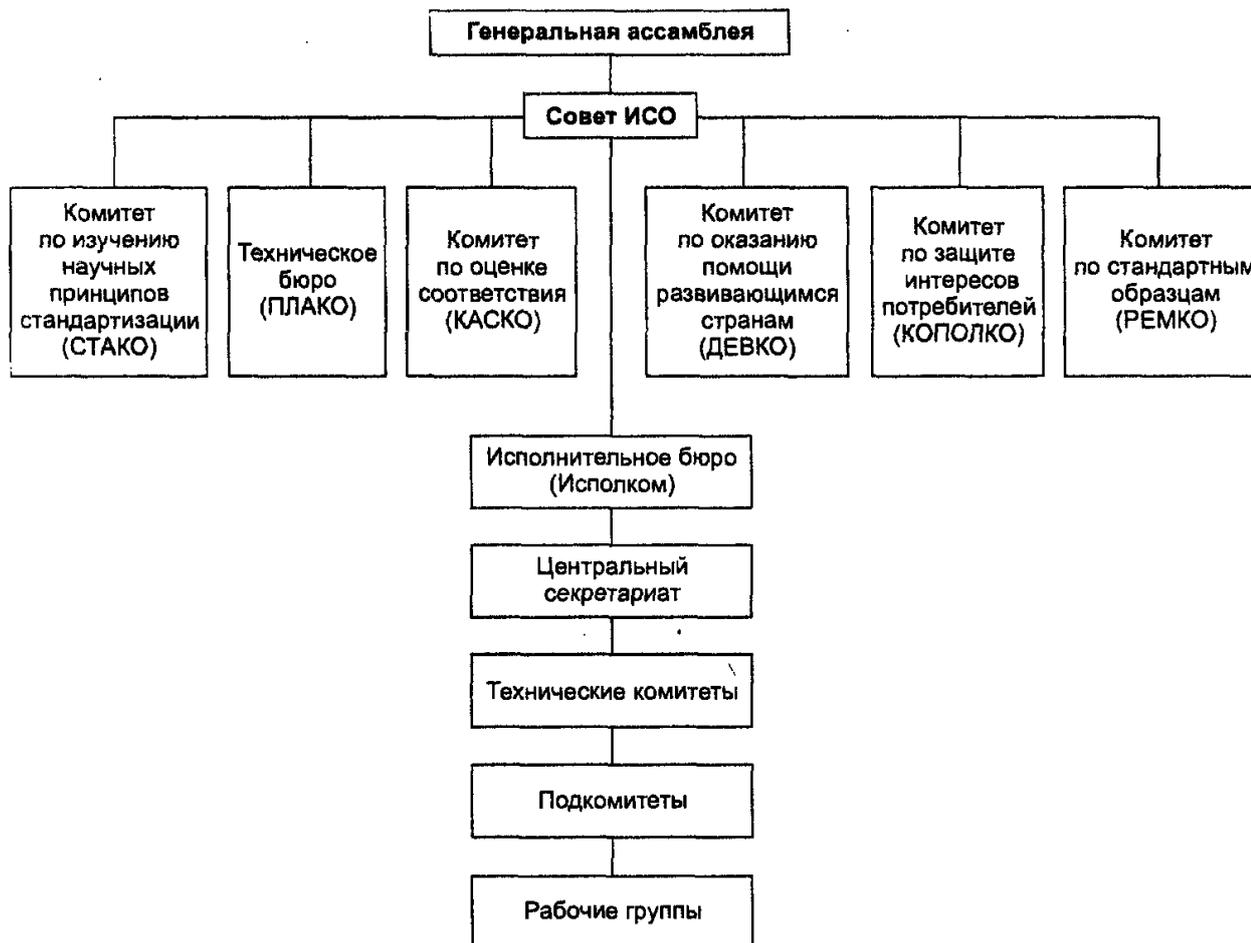


Рис. 1.5. Организационная структура ИСО

ДЕВКО изучает запросы развивающихся стран в области стандартизации и разрабатывает рекомендации по содействию этим странам в данной области.

КОПОЛКО изучает вопросы обеспечения интересов потребителей и возможности содействия этому через стандартизацию, а также доведения до них необходимой информации о международных стандартах. Большую роль в этом играют издаваемые им руководства: «Сравнительные испытания потребительских товаров», «Информация о товарах для потребителей», «Разработка стандартных методов измерения эксплуатационных характеристик потребительских товаров» и др.

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

РЕМКО занимается разработкой руководств по вопросам, касающимся стандартных образцов (эталонов). Кроме того, РЕМКО является координатором деятельности ИСО по стандартным образцам с международными метрологическими организациями, в частности с МОЗМ — Международной организацией законодательной метрологии.

Проекты международных стандартов разрабатываются в технических комитетах. Технические комитеты (ТК) подразделяются на общетехнические и комитеты, работающие в конкретных областях техники. В рамках ТК работают подкомитеты (ПК) и рабочие группы (РГ). По данным 1996 г., в ИСО работает 185 ТК, 130 ПК, 1975 РГ и 36 целевых групп. За Россией закреплено 10 ТК, 31 ПК и 10 РГ. Она является активным членом (статус Р) в 145 ТК и наблюдателем (статус О) в 16 ТК.

Значительными достижениями ИСО являются: разработка международной системы единиц измерения; принятие метрической системы резьбы; принятие системы стандартных размеров и конструкций контейнеров для перевозки грузов всеми видами транспорта. Очень актуальна в настоящее время работа ТК 176 «Системы обеспечения качества», к ним относятся стандарты серии ИСО 9000.

Международные стандарты ИСО не являются обязательными, то есть каждая страна вправе применять их целиком, частично или вообще не применять. Однако страны, стремящиеся поддерживать конкурентоспособность своей продукции на мировом рынке, вынуждены применять эти стандарты. Поэтому некоторые страны стремятся не создавать свои национальные стандарты на объекты стандартизации, на которые действуют соответствующие международные стандарты.

**Международная электротехническая комиссия (МЭК)**

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

В 1881 г. состоялся первый Международный конгресс по электричеству, а уже в 1904 г. правительственными делегациями конгресса было решено создать специальную организацию по стандартизации этой области. Эта организация получила название «Международная электротехническая комиссия» (МЭК) и начала работать в 1906 г.

Советский Союз входил в МЭК с 1922 г., Россия стала правопреемником СССР и представлена в МЭК Госстандартом РФ.

Российская сторона принимает участие более чем в 190 технических комитетах и подкомитетах МЭК. Штаб-квартира находится в Женеве, рабочие языки — английский, французский, русский.

Основными объектами стандартизации являются: материалы для электротехнической промышленности (жидкие, твердые, газообразные диэлектрики, медь, алюминий, их сплавы, магнитные материалы); электротехническое оборудование производственного назначения (сварочные аппараты, двигатели, светотехническое оборудование, реле, низковольтные аппараты, кабель и др.); электроэнергетическое оборудование (паровые и гидравлические турбины, линии электропередач, генераторы, трансформаторы); изделия электронной промышленности (интегральные схемы, микропроцессоры, печатные платы и т. д.); электронное оборудование бытового и производственного назначения; электроинструменты; оборудование для спутников связи; терминология.

Организационная структура МЭК представлена на рис. 1.6. Высшим руководящим органом МЭК является Совет. Основным координационным органом является Комитет действий, в подчинении которого работают комитеты по направлениям и консультативные группы: АКООС —

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний, метрологических поверок средств измерений

консультативный комитет по вопросам электробезопасности электробытовых приборов, радиоэлектронной аппаратуры, высоковольтного оборудования и др.; АСЕТ — консультативный комитет по вопросам электроники и связи занимается, так же как и АКОС, вопросами электробезопасности; КГЭМС — координационная группа по электромагнитной совместимости; КГИТ — координационная группа по технике информации; рабочая группа по координации размеров.

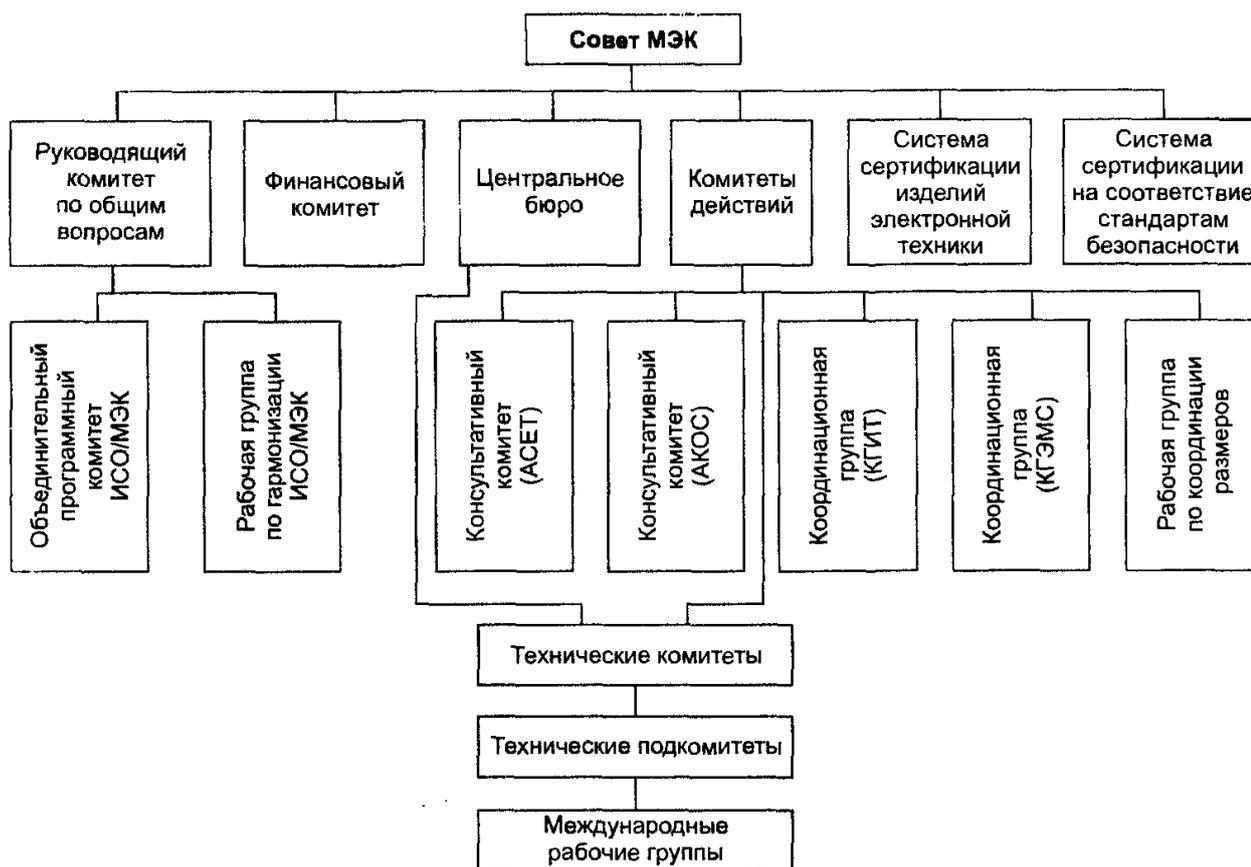


Рис. 1.6. Организационная структура МЭК

Группы могут быть постоянно действующими или создаваться по необходимости.

Структура технических органов МЭК, непосредственно разрабатывающих международные стандарты, аналогична структуре ИСО: это технические комитеты (ТК), подкомитеты (ПК) и рабочие группы (РГ).

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

МЭК сотрудничает с ИСО, совместно разрабатывая руководства ИСО/МЭК и директивы ИСО/МЭК по актуальным вопросам стандартизации, сертификации, аккредитации испытательных лабораторий и методическим аспектам.

Самостоятельный статус в МЭК имеет Международный специальный комитет по радиопомехам (СИСПр), так как является совместным комитетом участвующих в нем заинтересованных международных организаций (создан в 1934 г.).

Стандартизация измерения радиопомех, излучаемых от электрической и электронной аппаратуры, имеет большое значение в связи с тем, что почти во всех развитых странах на уровне законодательства регламентируются допустимые уровни радиопомех и методы их измерения. Поэтому любая аппаратура, которая может излучать радиопомехи, до пуска в эксплуатацию подвергается обязательным испытаниям на соответствие международным стандартам СИСПр.

Так как СИСПр является комитетом МЭК, то в его работе принимают участие все национальные комитеты, а также ряд заинтересованных международных организации. И качестве наблюдателей в работе СИСПр принимают участие Международный консультативный комитет по радиосвязи и Международная организация гражданской авиации. Высшим органом СИСПр является Пленарная ассамблея, собираемая раз в 3 года.

**Международные организации, участвующие в работах по стандартизации, метрологии и сертификации**

*Европейская экономическая комиссия ООН (ЕЭК ООН)* — орган Экономического и социального совета ООН (ЭКОСОС), создана в 1947 г.

Высшим органом ЕЭК является пленарная сессия, созываемая ежегодно, как правило, на уровне заместителей министров. Исполнительный орган ЕЭК — секретариат. В нем действуют отделы

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

общих экономических исследований, прогнозирования, торговли и технологии, энергетики, промышленности, транспорта, окружающей среды и жилищного строительства, статистики, сельского хозяйства, лесоматериалов.

Кроме государств — членов ЕЭК (их около 40), в ее работе могут участвовать в качестве наблюдателей или консультантов любые страны — члены ООН. Штаб-квартира находится в Женеве, рабочие языки комиссии — английский, русский, французский.

Главной задачей ЕЭК ООН в области стандартизации является разработка основных направлений политики по стандартизации на правительственном уровне.

Основная работа ЕЭК по стандартизации проводится в рамках совещания правительственных должностных лиц, ответственных за политику в области стандартизации, которое созывается раз в два года. Основным результатом работы совещаний являются рекомендации правительствам стран — членов ЕЭК с учетом разработок ИСО и МЭК по наиболее важным вопросам, связанным со стандартизацией, сертификацией и испытанием продукции.

Основная задача этих рекомендаций — гармонизация стандартов и технических условий — направлена прежде всего на то, чтобы в работах по стандартизации было обеспечено: расширение взаимовыгодного обмена товарами и услугами и облегчение заключения соглашений о сертификации; развитие и углубление промышленного сотрудничества; совместное решение научно-технических проблем; повышение и обеспечение качества продукции; снижение расхода материальных и энергетических ресурсов; повышение эффективности охраны труда и

здоровья и совершенствование техники безопасности; улучшение охраны окружающей среды.

Международное сотрудничество в области сертификации является одним из важных средств устранения технических барьеров в международной торговле и промышленном сотрудничестве. С проблемой сертификации тесно связаны и вопросы испытаний и технического контроля материалов и продукции.

*Продовольственная и сельскохозяйственная организация ООН (ФАО)* основана в 1845 г. как межправительственная специализированная организация ООН.

Штаб-квартира находится в Риме, официальными и рабочими языками ФАО являются английский, французский, испанский, китайский и арабский.

Ее членами являются около 160 государств. *Цель организации согласно Уставу* — содействие подъему всеобщего благосостояния путем индивидуальных и совместных действий по поднятию уровня питания и жизни народов, увеличению эффективности производства и распределению продовольственных и сельскохозяйственных продуктов, улучшению условий жизни сельского населения, что в целом должно содействовать развитию мировой экономики [18].

Организация способствует развитию научных, технологических, социальных и экономических исследований по вопросам питания, продовольствия и сельского хозяйства; сохранению естественных ресурсов и применению усовершенствованных методов сельскохозяйственного производства; усовершенствованию методов переработки, сбыта и распределения продовольствия и сельскохозяйственного производства. ФАО занимается также вопросами оказания

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

помощи развивающимся странам в области сельского, лесного и рыбного хозяйства, включая прямые поставки продовольствия этим странам со стороны развитых государств.

Высшим органом ФАО является конференция, на которой каждый член организации представлен одним делегатом. Конференция созывается один раз в два года. Конференция избирает совет ФАО на три года, который является руководящим органом организации в период между сессиями конференции и собирается на сессию так часто, как он считает необходимым (как правило, два раза в год).

Секретариат ФАО возглавляется генеральным директором, избираемым на сессии конференции. Секретариат состоит из 7 департаментов, канцелярии генерального директора, отдела по общим вопросам и информации.

ФАО сотрудничает более чем с 20 техническими комитетами ИСО. Особое значение в деятельности ФАО по стандартизации имеет совместная работа со Всемирной организацией здравоохранения (ВОЗ) по выработке международных стандартов на пищевые продукты.

*Всемирная организация здравоохранения (ВОЗ)* создана в 1948 г. по инициативе Экономического и социального совета ООН и является специализированным учреждением ООН. *Цель ВОЗ, которая определена ее Уставом,* — достижение всеми народами возможно высшего уровня здоровья (здоровье трактуется как совокупность полного физического, душевного и социального благосостояния). Членами ВОЗ состоят более 180 государств, в том числе и Россия. ВОЗ имеет консультативный статус в ИСО и принимает участие в работе более чем 40 технических комитетов.

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

Штаб-квартира находится в Женеве, официальные языки — английский, испанский, китайский, русский, французский, рабочие языки — английский, французский.

Высший орган ВОЗ — Всемирная ассамблея здравоохранения (ВАЗ), созываемая ежегодно. Ее исполнительным руководящим органом, созываемым два раза в год, является Исполнительный комитет, состоящий из представителей 40 государств-членов, избираемых ассамблеей здравоохранения на 3 года. Текущую работу осуществляет постоянно действующий орган — секретариат ВОЗ, который находится в Женеве.

Деятельность ВОЗ охватывает широкий круг проблем. Однако особое внимание уделяется созданию и развитию эффективных служб здравоохранения, профилактике болезней и борьбе с ними, оздоровлению окружающей среды и развитию кадров здравоохранения.

*Комиссия ФАО/ВОЗ по разработке стандартов на продовольственные товары (Комиссия «Кодекс Алиментариус»)* организована ФАО и ВОЗ для осуществления совместной программы по созданию международных стандартов на продовольственные товары. Комиссия в своей работе базируется на рекомендациях, принятых комитетами ФАО. В ее работе участвуют более 130 стран.

Задачами ФАО/ВОЗ являются: координация работ по стандартизации продуктов питания, проводимых правительственными и неправительственными организациями; ограждение потребителя от опасных для здоровья продуктов и мошенничества; обеспечение выполнения справедливых норм торговли пищевыми продуктами; окончательная доработка проектов стандартов и после их принятия

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

правительственными организациями публикация в качестве региональных или международных стандартов; содействие упрощению международной торговли пищевыми продуктами.

«Кодекс Алиментариус» разрабатывает своды правил проверки животных до и после убоя, гигиенические правила, правила хранения свежих, консервированных и замороженных продуктов, а также натуральных минеральных вод. Эти разработки рекомендуются правительствам в качестве факультативных руководств [18].

ФАО/ВОЗ активно сотрудничает с техническими комитетами ИСО.

*Международное агентство по атомной энергии (МАГАТЭ)* — это межправительственная организация, учрежденная под эгидой ООН для развития сотрудничества в области мирного использования атомной энергии. Работает с 1957 г., штаб-квартира — в Вене; 113 членов, в том числе Россия.

Официальные языки МАГАТЭ — английский, русский, французский, испанский, китайский; рабочие — английский, русский, французский, испанский.

Управленческую структуру МАГАТЭ составляют Генеральная конференция, совет управляющих и секретариат. Текущая деятельность агентства осуществляется секретариатом во главе с генеральным директором — главным административным должностным лицом МАГАТЭ. Он назначается советом управляющих и утверждается Генеральной конференцией сроком на четыре года.

МАГАТЭ разрабатывает основные стандарты безопасности для целей радиологической защиты, а также положения и технические руководства по конкретным операциям, включая безопасную транспортировку радиоактивных материалов.

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

МАГАТЭ сотрудничает с ИСО, которая имеет в МАГАТЭ консультативный статус. МАГАТЭ принимает участие в работе около 10 технических комитетов ИСО.

К подразделениям МАГАТЭ, в *наибольшей* степени занимающимся вопросами стандартизации, в первую очередь, относятся:

- объединенное отделение ФАО/МАГАТЭ по атомной энергии в пищевой промышленности и сельском хозяйстве;
- отделение наук, связанных с жизнью человека и использованием радиоизотопов в медицине;
- отделение исследований и лабораторий, занимающееся разработкой стандартов на изотопы и распределением изотопных стандартизированных источников.

*Всемирная торговая организация (ВТО)* образована в 1993 г. путем преобразования *генерального соглашения по тарифам и торговле (ГАТТ)* во Всемирную торговую организацию. Штаб-квартира секретариата ВТО находится в Женеве. Россия не является членом этой организации, но готовится ко вступлению в нее.

ГАТТ действовало с 1947 г. как межправительственный договор 123 государств в области внешнеторговых отношений.

После преобразования в ВТО многостороннее Соглашение по тарифам и торговле стало составной частью новой организации. В ее компетенцию вошли и другие вопросы: защита прав интеллектуальной собственности, инвестиционная деятельность, торговля услугами (в том числе банковскими, страховыми, транспортными). 1 января 1995 г. ВТО начала функционировать официально.

Членство в ВТО обязывает государство в полном объеме выполнять все достигнутые договоренности, но для вступления в ГАТТ/ВТО

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

требуется полная гармонизация методов регулирования внешнеэкономической деятельности с правилами ГАТТ. В области стандартизации — это приведение нормативных документов, действующих в стране (для России системы ГСС), в соответствие с требованиями Соглашения по техническим барьерам в торговле (в частности, кодекса но стандартам).

*Международная организация потребительских союзов (МОПС)* ведет большую работу, связанную с обеспечением качества продукции и в первую очередь товаров широкого потребления. Создан в 1960 г., членами МОПС являются свыше 160 потребительских ассоциаций из разных стран.

МОПС является ассоциативным членом Союза международных организаций. Техническую работу ведет его секретариат. Место пребывания организации — Гаага (Нидерланды). Официальные языки — английский, испанский.

Задачами МОПС являются [26]:

- содействие развитию и организации движения потребителей во всем мире, а также поддержка мероприятий правительств, направленных на защиту интересов потребителей;
- обеспечение международного сотрудничества при проведении сравнительных испытаний товаров широкого потребления, а также организация обмена информацией о методах испытаний и планах их проведения;
- обеспечение международного сотрудничества при проведении работ, связанных с информацией потребителей, их обучением и защитой интересов, а также сбор и распространение информации по правовым аспектам и практике работы в сфере потребления;

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

- организация международных совещаний союзов потребителей для обсуждения имеющихся проблем и возможных путей их решения;
- распространение публикаций, издаваемых национальными потребительскими организациями и регулирование (с учетом правил, установленных этими организациями) использования этих публикаций;
- издание информационных материалов по вопросам, связанным с интересами потребителей;
- осуществление тесной связи с органами ООН и другими международными организациями с целью максимального представления интересов потребителей на международном уровне;
- принятие необходимых мер и оказание практической помощи по распространению программ обучения и защиты интересов потребителей в развивающихся странах.

МОПС активно сотрудничает с ИСО/ТК 176 «Управление качеством и обеспечение качества» и ИСО/ТК 181 «Безопасность игрушек».

*Международная организация мер и весов (МОМВ)* основана в 1875 г. с целью унификации применяемых в разных странах систем единиц измерения, установления единообразия эталонов длины и массы.

В настоящее время МОМВ кроме единиц длины и массы занимается системами единиц времени и частоты, а также электрическими, фотометрическими, стабилизированными лазерными, гравитационными, термометрическими и радиометрическими измерениями.

Высшим международным органом по вопросам установления единиц, их определений и методов воспроизведения является Генеральная конференция по мерам и весам, в работе которой участвуют представители всех 47 государств, присоединившихся к Конвенции.

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

Председательствует на Генеральной конференции президент Парижской академии наук. Конференция избирает Международный комитет мер и весов (МКМВ), который руководит работой всей организации в промежутках между Генеральными конференциями. В соответствии с Конвенцией создана и функционирует научная лаборатория — Международное бюро мер и весов (МБМВ) со штаб-квартирой в Севре (Франция).

*Международная организация законодательной метрологии (МОЗМ)* — межправительственная международная организация, имеющая своей целью международное согласование деятельности государственных Метрологических служб или других национальных учреждений, направленное на обеспечение сопоставимости, правильности и точности результатов измерений в странах — членах МОЗМ. Организация создана в 1955 г. на основе Конвенции, ратифицированной законодательными органами стран-участниц.

В настоящее время странами — членами МОЗМ являются 50 государств, членами-корреспондентами — 32 государства. Высшим руководящим органом МОЗМ является Международная конференция законодательной метрологии. Исполнительным органом организации является Международный комитет законодательной метрологии (МКЗМ). Работа Конференции и Комитета обеспечивается Международным бюро законодательной метрологии (МБЗМ).

В Париже находится центр по документации МОЗМ. Официальный язык — французский.

Основными направлениями деятельности МОЗМ являются [26]:

- ✚ установление единых для стран — членов МОЗМ методов нормирования метрологических характеристик средств измерений;

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

- ✚ гармонизация поверочной аппаратуры, методов сличения, поверок и аттестации эталонных, образцовых и рабочих измерительных приборов;
- ✚ обеспечение применения в странах единиц измерений, унифицированных в международном масштабе;
- ✚ выработка оптимальных форм организации метрологических служб и обеспечение единства государственных предписаний по их ведению;
- ✚ оказание научно-технического содействия развивающимся странам в создании и организации работ метрологических служб и их оснащения необходимыми техническими средствами;
- ✚ установление единых принципов подготовки кадров в области метрологии различных уровней квалификации.

МОЗМ участвует в работе 29 технических комитетов ИСО.

**Региональные организации по стандартизации, метрологии и сертификации**

*Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации (МГС)* подробно рассмотрен ранее.

*Европейский союз (ЕС)* как организация, ставящая своей целью интеграцию экономики европейских стран, придает первостепенное значение устранению национальных барьеров в торговле и развитию европейской стандартизации. В 1972 г. Советом ЕС была принята Генеральная программа устранения технических барьеров в торговле в пределах Сообщества. В рамках этой программы ставилась задача по созданию системы обязательных для ЕС единых стандартов, базирующихся на лучших национальных стандартах европейских стран.

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

Нормативную базу стандартизации ЕС составляет техническое законодательство, которое представлено постановлениями Совета, директивами Совета и гармонизированными европейскими стандартами.

*Постановление* Совета имеет прямое действие для стран — членов ЕС (без переоформления через национальное законодательство).

*Директивы* Совета вводятся через законодательные акты государств — членов ЕС.

*Гармонизированный европейский стандарт* — это стандарт, обеспечивающий реализацию соответствующей директивы, и в этом случае он обязателен для применения в странах ЕС.

Продукция, отвечающая требованиям директивы, маркируется знаком, который предназначен не для потребителей, а для контролирующих и таможенных органов.

*Европейский комитет по стандартизации (СЕН)* учрежден в 1961 г. в рамках Европейского союза (ЕС) по инициативе Европейского экономического сообщества (ЕЭС) и Европейской ассоциации свободной торговли (ЕАСТ).

Высшим органом СЕН является Генеральная ассамблея. Административный совет через центральный секретариат, штаб-квартира которого находится в Брюсселе, осуществляет всю административную работу. Официальные языки — английский, французский, немецкий. Вся работа по стандартизации ведется техническими комитетами (их более 140) и консультативными группами.

СЕН разрабатывает стандарты (EN), документы по гармонизации (HD) и предварительные стандарты (ENV).

*Стандарты* разрабатываются в следующих областях: авиационное оборудование, водонагревательные газовые приборы, газовые баллоны,

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

детали подъемных механизмов, кухонные газовые плиты, лифты и грузоподъемники, сварка и резка, трубы и трубопроводы, насосные станции (эксплуатация и обслуживание), цистерны из стеклопластика и др.

*Документы по гармонизации* являются наиболее простой формой устранения технических барьеров в торговле между этими странами. Они отличаются от европейских стандартов тем, что отражают суть административных и правовых норм, которые могут мешать развитию торговых отношений.

*Предварительные стандарты* разрабатываются в тех случаях, когда высок уровень инноваций, быстро изменяется технология, возможно быстрое изменение показателей и требований, а также когда требуется длительный период для согласования и утверждения стандартов. Предварительные стандарты имеют ограниченный срок действия (до 3 лет).

*Европейский комитет по стандартизации в электротехнике (СЕНЭЛЕК)* создан в 1972 г. в результате слияния Европейского комитета по координации электротехнических стандартов стран — членов ЕАСТ (СЕНЭЛ) и Европейского комитета по координации электротехнических стандартов стран ЕЭС (СЕНЭЛКОМ). Организационная структура этого комитета аналогична структуре СЕН.

Деятельность СЕНЭЛЕК связана с разработкой европейских стандартов на: оборудование с номинальным напряжением от 50 до 1000 В переменного тока и от 75 до 1500 В постоянного тока; медицинское электрооборудование; электромагнитную совместимость, включая радиопомехи, оборудование для использования в потенциально взрывоопасной атмосфере, метрологическое обеспечение средств

измерений, включая электронные; информатику в тесном взаимодействии с СЕН и другими заинтересованными организациями.

*Европейский институт по стандартизации в области электросвязи (ЕТСИ)* начал свою деятельность в 1988 г. *Основная его задача* — поиск общих стандартов, на основе которых можно создать комплексную инфраструктуру электросвязи. Эта инфраструктура призвана обеспечить полную совместимость любого оборудования и услуг, предлагаемых потребителям. Кроме того, ЕТСИ занимается проблемами телевизионного вещания (звук и изображение) и оказанием помощи им в выработке общеевропейской политики в области электросвязи.

Высшим органом института является Генеральная ассамблея, которая избирает президента организации. Техническая ассамблея занимается принятием рабочих программ и решением приоритетных задач; формирует и ликвидирует технические комитеты и рабочие группы; принимает проекты стандартов ЕТСИ. Секретариат отвечает за управление деятельностью ЕТСИ и распространение принятых стандартов. В структуре института имеется Совместная группа при президентах (СПГ), в задачу которой входит координация работы всех трех европейских организаций по стандартизации.

*Европейская организация по испытаниям и сертификации (ЕОИС)* образована в 1988 г. Целью создания ЕОИС является образование центрального европейского органа, ответственного за все аспекты деятельности в области оценки соответствия продукции и систем обеспечения качества требованиям стандартов.

Задачами организации являются:

- стимулирование и управление европейскими системами сертификации и заключения договоров о взаимном признании;

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

- организация адекватных отраслевых органов;
- обеспечение информацией и организация обмена опытом;
- помощь европейским органам стандартизации в области оценки степени соответствия стандартам;
- помощь Комиссии европейских сообществ в области оценки соответствия стандартам.

Возглавляет ЕОИС Совет. В структуру организации входят: специализированные комитеты, ориентированные на определенные виды услуг (измерения, сертификацию, обеспечение качества, контроль); отраслевые комитеты; группы управления договорами; административная инфраструктура поддержки. Руководящие органы назначаются СЕН/СЕНЭЛЕК после обсуждения кандидатур с Советом.

Продукция, прошедшая сертификацию ЕОИС, маркируется единым сертификационным знаком ЕЭС.

*Метрологическая организация европейского экономического сообщества (Евромет)* — это организация национальных метрологических институтов стран — членов ЕЭС. Евромет функционирует в виде комитета, предложения которого рассматриваются в группе «Вопросы экономики» Совета ЕЭС, председатель которого выбирается на два года. Все возникающие проблемы решает секретариат Евромета. В обязанности Евромета входит:

- исследование и создание национальных измерительных эталонов;
- исследования, направленные на создание первичных эталонов, то есть фундаментальных констант, материалов, измерительных методов;
- создание на высшем метрологическом уровне калибровочных служб, необходимых каждому члену;

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

- разработка измерительных методов для самого высокого уровня;
- создание перевозимых эталонов.

Решения по метрологическим вопросам оформляют в виде директив ЕЭС, обязательных для каждой страны.

Директивы ЕЭС не являются стандартами для метрологических характеристик средств измерений. Погрешности приборов, их метрологическая надежность и другие характеристики не определяются численно. Даются только правила их определения и назначения с тем, чтобы указанные в технических характеристиках метрологические параметры давали возможность выбора прибора для измерения с нужной точностью.

*Европейская организация по качеству (ЕОК)* была создана в 1957 г. как Европейская организация по контролю качества (ЕОКК), в 1988 г. переименована в ЕОК.

Целями ЕОК являются: содействие, распространение, совершенствование с помощью всех возможных средств применения практических методов и теоретических принципов управления качеством с тем, чтобы повысить качество и надежность продукции и услуг.

Высшим руководящим органом ЕОК является Совет, в состав которого входят официальные представители полноправных членов ЕОК и должностные лица ЕОК. Высшим должностным лицом ЕОК является президент, избираемый на двухлетний период.

Исполнительный комитет осуществляет проведение в жизнь решений Совета и руководит деятельностью секретариата ЕОК, который обеспечивает текущую работу ЕОК. Местонахождение секретариата —

Берн (Швейцария). Официальные языки ЕОК — английский и французский.

*Межскандинавская организация по стандартизации (ИИСТА)* создана в 1952 г. по инициативе национальных организаций по стандартизации Дании, Норвегии, Финляндии и Швеции, которые являются ее членами.

Собственных, общескандинавских стандартов ИИСТА не издает, но занимается унификацией технического содержания национальных стандартов стран, которые в ней сотрудничают.

Задачами ИИСТА являются: содействие созданию согласованных национальных стандартов скандинавских стран; распространение опыта работы в области стандартизации; разработка согласованной позиции скандинавских стран в ИСО, МЭК, СЕН, СЕНЭЛЕК и других международных и региональных организациях.

За основу разрабатываемых нормативных документов принимаются международные стандарты ИСО, МЭК, европейские стандарты СЕН и СЕНЭЛЕК, других организаций. Разработанные нормативные документы принимаются странами-членами в качестве национальных после того, как их проекты одобряются всеми странами — членами ИИСТА.

*Сотрудничество между органами по аккредитации лабораторий стран Северной Европы (ИОРДА)*. ИОРДА был создан в 1986 г. в качестве форума для организации сотрудничества между органами по аккредитации испытательных лабораторий, действующими в Дании, Норвегии, Финляндии и Швеции. Главная цель ИОРДА — обеспечение взаимного признания странами Северной Европы результатов испытаний, проведенных испытательными лабораториями, аккредитованными в национальных системах аккредитации. Отбором уже апробированных

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

методов испытаний и контроля продукции, пригодных для стран региона, занимается Испытательный центр северных стран — НОРДТЕСТ.

*Панамериканский комитет стандартов (КОПАНТ)* существует с 1961 г. и объединяет национальные организации Аргентины, Боливии, Бразилии, Чили, Колумбии, Коста-Рики, Эквадора, Доминиканской Республики, Мексики, Панамы, Парагвая, Перу, Тринидад-Тобаго, Уругвая, Венесуэлы, а также региональные организации пяти стран: Коста-Рики, Сальвадора, Гватемалы, Гондураса и Никарагуа.

*Главная цель организации* — устранение технических барьеров в региональной торговле и активизация участия латиноамериканских стран в работах ИСО и МЭК и содействию максимально возможной гармонизации региональных нормативных документов с требованиями международных организаций. Кроме того, КОПАНТ продолжает работы по стандартизации в областях, не охваченных международной стандартизацией, или там, где местные условия не позволяют применять международные стандарты.

*Международная ассоциация стран Юго-Восточной Азии (АСЕАН)* в 1994 г. создала Консультативный комитет по стандартизации и качеству. В состав этой региональной организации входят национальные организации по стандартизации и сертификации стран-членов АСЕАН: Малайзии, Таиланда, Индонезии, Сингапура, Филиппин, Брунея, Вьетнама.

*Арабская организация по стандартизации и метрологии (АСМО)* учреждена в соответствии с резолюцией Совета арабского экономического единства в 1965 г. в качестве специальной службы Лиги арабских государств в области стандартизации, метрологии и управления качеством продукции.

В настоящее время в работе АСМО принимают участие Иордания, Объединенные Арабские Эмираты, Судан, Ирак, Саудовская Аравия, Оман, Тунис, Кувейт, Ливан, Марокко, Алжир, Ливия, Бахрейн, Палестина, Катар, Йемен.

*Африканская региональная организация по стандартизации (APCO)* создана в 1977 г. В ее составе — 23 африканских государства: Египет, Эфиопия, Гана, Кот- д'Ивуар, Кения, Либерия, Ливан, Малави, Маврикий, Нигерия, Сенегал, Судан, Того, Тунис, Уганда, Камерун, Танзания, Буркина-Фасо, Заир, Замбия, Нигер, Гвинея-Биссау и Гвинея.

APCO ставит перед собой следующие цели: содействие развитию стандартизации в Африке, выработка согласованных позиций членов организации и расширение их участия в международной стандартизации, создание региональных стандартов, содействие посредством стандартизации социальному, промышленному и экономическому развитию африканских стран, защита интересов потребителей и обеспечение безопасности людей.

### **Национальные организации по стандартизации зарубежных стран**

В развитых странах действуют свои национальные органы стандартизации. К ним относятся:

- в *США* — Американский национальный институт стандартов и технологии (NIST). Там федеральные стандарты разрабатывают авторитетные организации, аккредитованные NIST. Наиболее известные из них: Американское общество по испытаниям и материалам (ASTM); Американское общество по контролю качества (ASQC); Американское общество инженеров-механиков (ASME); Объединение испытательных лабораторий страховых компаний,

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

Общество инженеров-автомобилестроителей (SAE), Институт инженеров по электротехнике и электронике (IEEE) и др.;

- в *Великобритании* — Британский институт стандартов (BSI);
- в *Франции* — Французская ассоциация по стандартизации (AFNOR);
- в *Германии* — Немецкий институт стандартов (DIN). Решением Президиума DIN создано Германское общество по маркированию продукции (DQWK), которое и занимается организацией, управлением и надзором за системами сертификации продукции на соответствие требованиям стандартов DIN (или международных). Информационным обеспечением занимается Информационный центр технических правил (DITR). В настоящее время развивается сотрудничество DIN с Госстандартом России. Несколько лет работает совместное предприятие DIN, Госстандарта России и Союза технического надзора Берлин—Бранденбург — «Общество по сертификации в Европе» (GZE);
- в *Японии* — Японский комитет промышленных стандартов (JISC);
- в *Швеции* — Шведская комиссия по стандартизации (SJS);
- в *Дании* — Датский совет по стандартизации (DS);
- в *Норвегии* — Норвежский союз стандартизации (NSF);
- в *Финляндии* — Финляндская ассоциация по стандартизации (SFS);
- в *Малайзии* — Малазийский институт стандартов и промышленных исследований (СИРИМ);
- в *Таиланде* — Таиландский институт промышленных стандартов (ТИСИ);
- в *Индонезии* — Национальный совет по стандартизации Индонезии (ИСС).

**Экономическая эффективность стандартизации**

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

Экономическая эффективность стандартизации проявляется при различных формах собственности и во всех сферах и научных исследованиях и опытно-конструкторских работах, при проектировании изделий, подготовке их производства, в процессе производства, обращении (реализации), эксплуатации и утилизации продукции.

Эффективность стандартизации может быть экономической, технической, информационной и социальной.

*Экономический эффект* получается в результате уменьшения затрат (издержек) при проектировании, подготовке производства, в процессе производства, обращении, применении (эксплуатации) и утилизации в связи с применением конкретного стандарта (группы стандартов).

Основными источниками экономического эффекта от стандартизации являются: экономия, полученная от повышения качества продукции и услуг; экономия от увеличения массовости и серийности продукции, концентрации производства и снижения эксплуатационных расходов в результате сокращения излишнего разнообразия однородной продукции.

Экономия при проектировании (в том числе при проведении опытно-конструкторских работ) и подготовке производства обуславливается: широким использованием в новых конструкциях стандартных, унифицированных и покупных изделий; сокращением объема работ по проектированию и подготовке основных объектов производства, специального оборудования, инструмента и технологической оснастки; уменьшением объема работ по разработке и размножению рабочих чертежей и другой технической документации; сокращением времени на согласование и утверждение вновь выпускаемой технической документации.

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

В процессе производства себестоимость продукции снижается за счет уменьшения затрат на материалы, меньшей стоимости покупных изделий по сравнению со стоимостью таких же изделий собственного производства, снижением накладных расходов.

Экономия при эксплуатации обуславливается повышением надежности изделий и снижением затрат на ремонт.

*Техническая эффективность стандартизации* может выражаться в относительных показателях технических эффектов, получаемых в результате применения стандарта: например, в росте уровня безопасности, снижении вредных воздействий и выбросов (стоков), снижении материало- или энергоемкости производства или эксплуатации, повышении ресурса, надежности и др.

*Информационная эффективность работ* может выражаться в достижении необходимого для общества взаимопонимания, единства представления и восприятия информации (стандарты на термины и определения и т. п.), в том числе в договорно-правовых отношениях субъектов хозяйственной деятельности друг с другом и органов государственного управления, в международных научно-технических и торгово-экономических отношениях.

*Социальная эффективность* заключается в том, что реализуемые на практике обязательные требования к продукции (процессам и услугам) положительно отражаются на здоровье и уровне жизни населения, а также на других социально значимых аспектах. Она выражается в показателях снижения уровня производственного травматизма, уровня заболеваемости, повышения продолжительности жизни, улучшения социально-психологического климата и др.

Рекомендации по расчету показателей эффективности работ по стандартизации даны в [31].

### **Направления развития стандартизации в РФ**

«Концепция стандартизации в условиях рыночной экономики и подготовки России к вступлению в ВТО» [14], принятая в 1998 г., определяет задачи по актуализации целей и методов стандартизации, выбору приоритетных направлений стандартизации и международного сотрудничества в этой области, гармонизации основной терминологии с основополагающими документами ИСО, МЭК, ВТО и др.

Главными направлениями развития стандартизации в РФ по этой Концепции являются:

*Выполнение условий присоединения России к ВТО.* По этому направлению поставлены две главных задачи стандартизации:

1. О создание условий для гармонизации отечественных стандартов и других нормативных документов с международными стандартами;
2. О обеспечение информационного взаимодействия со всеми государствами — членами ВТО.

Решение первой задачи должно осуществляться прежде всего в тех областях, где зафиксировано наличие технических барьеров.

Для решения второй задачи в России создан Центр обработки запросов (НИЦ ВТО), касающихся отечественных и зарубежных стандартов. Информационное взаимодействие предполагает выполнение определенных требований: опубликование не реже раза в шесть месяцев программы работ по стандартизации; направление в секретариат ВТО нотификаций (уведомлений) о выявленных различиях в стандартах; представление по запросам членов ВТО копий проектов

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

нормативных документов; обеспечение функционирования системы информационного обеспечения в режиме электронного обмена данными.

*Сближение статуса отечественных и зарубежных стандартов*, то есть повышение роли добровольных стандартов, которые имеют рекомендательный характер. К сугубо добровольным стандартам можно отнести в первую очередь стандарты с перспективными требованиями, опережающими возможности традиционных технологий; международные (региональные) стандарты и национальные стандарты ведущих стран, уровень требований которых превосходит отечественные государственные стандарты. Эти стандарты предпочтительны для применения в целях повышения конкурентоспособности продукции (услуг).

*Интенсивное развитие работ в приоритетных направлениях*, к которым относятся: экология и безопасность, информационные технологии, ресурсосбережение, обеспечение качества продукции с целью защиты прав потребителей, бухгалтерская и банковская деятельность, услуги по оценке имущества.

*Формирование технического законодательства* (технического регламента) должно осуществляться в следующих направлениях:

- разработка законодательных актов по конкретным видам продукции (услуги, процесса);
- включение в законодательные акты (законы, постановления Правительства РФ и т. д.) конкретных требований, в частности нормативов, то есть норм прямого действия.

Стандарт приобретает статус обязательного, если законодательный акт ссылается на данный стандарт либо текст законодательного акта непосредственно содержит его требования.

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

*Развитие международного сотрудничества* в области стандартизации.

*Сближение стандартизации оборонной продукции* с гражданской по организационным и методологическим принципам. Приоритетными задачами стандартизации оборонной продукции являются: установление взаимосвязанных требований к военно-техническим комплексам; обеспечение безопасности личного состава, населения и окружающей среды при производстве, испытаниях, эксплуатации и утилизации техники в мирное время; обеспечение создания продукции и технологий двойного применения; содействие безопасной утилизации оборонной продукции; внедрение на предприятиях оборонного комплекса систем качества на основе требований стандартов ИСО серии 9000; активизация работы по межгосударственной стандартизации в рамках СНГ в связи с необходимостью сохранения и развития кооперации предприятий оборонного комплекса.

*Актуализация действующего фонда государственных стандартов* должна осуществляться более высокими темпами, чем сейчас. Обновление нормативных документов необходимо довести до уровня передовых стран.

*Информационное обеспечение стандартизации* должно быть доступным для заинтересованных пользователей, полным и оперативным. Федеральный фонд стандартов должен уделить особое внимание развитию системы каталогизации и накоплению банка данных.

*Классификация и кодирование технико-экономической и социальной информации* должна быть направлена на гармонизацию с международными принципами и направлениями дальнейшего развития

этой деятельности. Гармонизация может быть достигнута прямым либо косвенным применением международного классификатора.

Перспективные задачи классификации и кодирования касаются: оптимизации состава и структуры системы общероссийских классификаторов; обеспечении информационной совместимости продукции; охвата новых приоритетных направлений инфраструктуры рыночной экономики, таких, как социальная сфера, банковская и финансовая деятельность, оценка основных фондов и т. д.; постоянной актуализации общероссийских классификаторов, включая осуществление разработки и экспертизы общероссийских классификаторов и изменений к ним; обеспечения требований ВТО.

*Государственный контроль и надзор за соблюдением стандартов* по мере перехода России на добровольный статус стандартов должны трансформироваться в надзор за соблюдением технических регламентов по обязательным требованиям. Госнадзор предполагается осуществлять и в случаях, когда при сертификации субъекты хозяйствования заявляют о соответствии товаров и услуг требованиям стандартов.

*Подготовка и повышение квалификации кадров* остаются важным направлением, обеспечивающим реализацию тех направлений, которые сформулированы в Концепции.

## **ЛЕКЦИЯ по теме №1.2.1. Правовые основы метрологической деятельности в РФ**

### **ВОПРОСЫ**

1. Краткая история развития метрологии .
2. Правовые основы метрологической деятельности в РФ:
  - Законодательная база метрологии.

- Юридическая ответственность за нарушение нормативных требований по метрологии.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Димов Ю.В. Метрология, стандартизация и сертификация. Учебник. 2-е изд. СПб.: ИД "Питер", 2011. – 432 с. (с.197-202).

### **1. Краткая история развития метрологии**

Метрология — наука об измерениях, методах и средствах обеспечения их единства и способах достижения требуемой точности.

В практической жизни человек всюду имеет дело с измерениями. На каждом шагу встречаются и известны с незапамятных времен измерения таких величин, как длина, объем, вес, время и др.

Велико значение измерений в современном обществе. Они служат не только основой научно-технических знаний, но имеют первостепенное значение для учета материальных ресурсов и планирования, для внутренней и внешней торговли, для обеспечения качества продукции, взаимозаменяемости узлов и деталей и совершенствования технологии, для обеспечения безопасности труда и других видов человеческой деятельности.

Метрология имеет большое значение для прогресса естественных и технических наук, так как повышение точности измерений — одно из средств совершенствования путей познания природы человеком, открытий и практического применения точных знаний.

Для обеспечения научно-технического прогресса метрология должна опережать в своем развитии другие области науки и техники, ибо для каждой из них точные измерения являются одним из основных путей их совершенствования.

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

Основными задачами метрологии (по РМГ 29-99) являются:

- установление единиц физических величин, государственных эталонов и образцовых средств измерений;
- разработка теории, методов и средств измерений и контроля;
- обеспечение единства измерений;
- разработка методов оценки погрешностей, состояния средств измерения и контроля;
- разработки методов передачи размеров единиц от эталонов или образцовых средств измерений рабочим средам измерений.

**Краткая история развития метрологии**

Потребность в измерениях возникла в незапамятные времена. Для этого в первую очередь использовались подручные средства. Например, единица веса драгоценных камней — *карат*, что в переводе с языков древнего юга-востока означает «семя боба», «горошина»; единица аптекарского веса — *граи*, что в переводе с латинского, французского, английского и испанского означает «зерно». Многие меры имели антропометрическое происхождение или были связаны с конкретной трудовой деятельностью человека. Так, в Киевской Руси применялись в обиходе *вершок* — длина фаланги указательного пальца; *пядь* — расстояние между концами вытянутых большого и указательного пальцев; *локоть* — расстояние от локтя до конца среднего пальца; *сажень* — от «сягать», «достигать», то есть можно достать; *косая сажень* — предел того, что можно достать: расстояние от подошвы левой ноги до конца среднего пальца вытянутой вверх правой руки; *верста* — от «верти», «поворачивая» плуг обратно, длина борозды.

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

Древние вавилоняне установили *год, месяц, час*. Впоследствии  $1/86400$  часть среднего периода обращения Земли вокруг своей оси (суток) получила название *секунды*.

В Вавилоне во II в. до н. э. время измерялось в *минах*. Мина равнялась промежутку времени (равному примерно двум астрономическим часам), за который из принятых в Вавилоне водяных часов вытекала «мина» воды, масса которой составляла около 500 г. Затем мина сократилась и превратилась в привычную для нас *минуту*. Со временем водяные часы уступили место песочным, а затем *более* сложным маятниковым механизмам.

Важнейшим метрологическим документом в России является Двинская грамота Ивана Грозного (1550 г.). В ней регламентированы правила хранения и передачи размера новой меры сыпучих веществ — *осьмины*. Ее медные экземпляры рассылались по городам на хранение выборным людям — старостам, соцким, целовальникам. С этих мер надлежало сделать клейменные деревянные копии для городских померщиков, а с тех, в свою очередь, — деревянные копии для использования в обиходе.

Метрологической реформой Петра I к обращению в России были допущены английские меры, получившие особенно широкое распространение на флоте и в кораблестроении, — *футы, дюймы*. В 1736 г. по решению Сената была образована Комиссия весов и мер под председательством главного директора Монетного двора графа М. Г. Головкина. В состав комиссии входил Леонард Эйлер. В качестве исходных мер комиссия изготовила *медный аршин* и *деревянную сажень*, за меру веществ было принято *ведро* московского Каменноостского

питейного двора. Важнейшим шагом, подытожившим работу комиссии, было создание русского *эталонного фунта*.

Идея построения системы измерений на десятичной основе принадлежит французскому астроному Г. Мутону, жившему в XVII в. Позже было предложено принять в качестве единицы длины одну сорокामиллионную часть земного меридиана. На основе единственной единицы - *метра* — строилась вся система, помучившая название *метрической*.

В России указом «О системе Российских мер и весов» (1835 г.) были утверждены эталоны длины и массы — *платиновая сажень и платиновый фунт*.

В соответствии с международной Метрологической конвенцией, подписанной в 1875 г., Россия получила платиноиридиевые эталоны единицы массы № 12 и 26 и эталоны единицы длины № 11 и 28, которые были доставлены в новое здание Депо образцовых мер и весов. В 1892 г. управляющим Депо был назначен Д. И. Менделеев, которую он в 1893 г. преобразует в Главную палату мер и весов — одно из первых в мире научно-исследовательских учреждений метрологического профиля.

Метрическая система в России была введена в 1918 г. декретом Совета Народных Комиссаров «О введении Международной метрической системы мер и весов». Дальнейшее развитие метрологии в России связано с созданием системы и органов служб стандартизации. Этот вопрос подробно рассмотрен в п. 1.2.

Развитие естественных наук привело к появлению все новых и новых средств измерений, а они, в свою очередь, стимулировали развитие наук, становясь все более мощным средством исследования.

## **2. Правовые основы метрологической деятельности в Российской Федерации Законодательная база метрологии**

Основными правовыми актами по метрологии в России являются:

1. Закон РФ «Об обеспечении единства измерений» от 27.04.93, № 4871-1 в редакции 2003 г.
2. РМГ 29-99. Государственная система обеспечения единства измерений. Метрология. Основные термины и определения.
3. МИ\* 2247-93 ГСИ. Метрология. Основные термины и определения.
4. ГОСТ 8.417-81 ГСИ. Единицы физических величин.
5. ПР 50.2.006-94 ГСИ. Поверка средств измерений. Организация и порядок проведения.
6. ПР 50.2.009-94 ГСИ. Порядок проведения испытаний и утверждения типа средств измерения.
7. ПР 50.2.014-94 ГСИ. Аккредитация метрологических служб юридических лиц на право поверки средств измерений.
8. МИ 2277-94 ГСИ. Система сертификации средств измерений. Основные положения и порядок проведения работ.
9. ПР 50.2.002-94 ГСИ. Порядок осуществления государственного метрологического надзора за выпуском, состоянием и применением средств измерений, аттестованными методиками выполнения измерений, эталонами и соблюдением метрологических правил и норм. .
10. ИР 50.2.004-94 ГСИ. Порядок осуществления государственного метрологического надзора за количеством

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

фасованных товаров в упаковках любого типа при их расфасовке и продаже.

11. ПР 50.2.017-95 ГСИ. Положение о российской системе калибровки.
12. Постановление Госстандарта России от 8 февраля 1994 г. № 8 «Порядок лицензирования деятельности по изготовлению, ремонту, продаже и прокату средств измерений» (зарегистрировано в Минюсте РФ 9 декабря 1994 г. № 741).
13. Постановление Госстандарта России от 08.02.94 № 8 «Порядок осуществления государственного метрологического надзора за количеством товаров, отчуждаемых при совершении торговых операций» (зарегистрировано в Минюсте РФ 9 декабря 1994 г. № 740).
14. Постановление Госстандарта РФ от 28 декабря 1995 г. N 95 «Порядок аккредитации метрологических служб юридических лиц на право проведения калибровочных работ» (зарегистрировано в Минюсте РФ 27 февраля 1996 г. № 1037).
15. Постановление Госстандарта РФ от 8 февраля 1994 г. № 8 «Требования к государственным центрам испытаний средств измерений и порядок их аккредитации» (зарегистрировано в Минюсте РФ 13 июля 1994 г. № 635).
16. ИСО 10012-1:1992. «Требования, гарантирующие качество измерительного оборудования. — Часть 1. Система подтверждения метрологической пригодности измерительного оборудования».

ПРИМЕЧАНИЕ МИ — рекомендации государственных метрологических научных центров.

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

Закон «Об обеспечении единства измерений» осуществляет регулирование отношений, связанных с обеспечением единства измерений в Российской Федерации, в соответствии с Конституцией РФ.

Основные статьи Закона устанавливают:

- ✚ основные понятия, применяемые в Законе;
- ✚ организационную структуру государственного управления обеспечением единства измерений;
- ✚ нормативные документы по обеспечению единства измерений;
- ✚ единицы величин и государственные эталоны единиц величин;
- ✚ средства и методики измерений.

Закон определяет *Государственную метрологическую службу* и другие службы обеспечения единства измерений, метрологические службы государственных органов управления и юридических лиц, а также виды и сферы распределения государственного метрологического контроля и надзора.

Отдельные статьи Закона содержат положения по калибровке и сертификации средств измерений и устанавливают виды ответственности за нарушение Закона.

Становление рыночных отношений наложило отпечаток на статью Закона, которая определяет основы деятельности метрологических служб государственных органов управления и юридических лиц. Вопросы деятельности структурных подразделений метрологических служб на предприятиях вынесены за рамки законодательной метрологии, а их деятельность стимулируется чисто экономическими методами.

В тех сферах, которые не контролируются государственными органами, создается *Российская система калибровки*, также направленная на обеспечение единства измерений.

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

Положение о лицензировании метрологической деятельности направлено на защиту прав потребителей и охватывает сферы, подлежащие государственному метрологическому контролю и надзору. Право выдачи лицензии предоставлено исключительно органам Государственной метрологической службы.

В области государственного метрологического надзора введены новые виды надзора:

- ✚ за количеством товаров, отчуждаемых при торговых операциях;
- ✚ за количеством товаров в упаковках любого вида при их расфасовке и продаже;
- ✚ за банковскими, почтовыми, налоговыми и таможенными операциями;
- ✚ за обязательностью сертификации продукции и услуг.

Закон создает условия для взаимодействия с международной и национальными системами измерений зарубежных стран. Это прежде всего необходимо для взаимного признания результатов испытаний, калибровки и сертификации, а также для использования мирового опыта и тенденций в современной метрологии.

**Юридическая ответственность за нарушение нормативных требований по метрологии**

Статья 25 Закона «Об обеспечении единства измерений» предусматривает возможность привлечения юридических и физических лиц, а также государственных органов управления РФ, виновных в нарушении положений этого Закона к административной, гражданской, правовой или уголовной ответственности в соответствии с действующим законодательством.

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

Кодексом об административных нарушениях и, в частности, статьей 170 «Нарушение обязательных требований государственных стандартов, правил обязательной сертификации, нарушение требований нормативных документов по обеспечению единства измерений» предусмотрено наложение штрафа от пяти до ста минимальных размеров оплаты труда.

Гражданско-правовая ответственность наступает в ситуациях, когда в результате нарушений метрологических правил и норм юридическим или физическим лицам причинен имущественный или иной ущерб. Причиненный ущерб подлежит возмещению по иску потерпевшего на основании соответствующих актов гражданского законодательства.

К уголовной ответственности нарушители метрологических требований привлекаются в тех случаях, когда имеются признаки состава преступления, предусмотренные Уголовным кодексом.

Дисциплинарная ответственность за нарушение метрологических правил и норм определяется решением администрации (организации) на основании Кодекса законов о труде.

## **ЛЕКЦИЯ по теме №1.2.2. Объекты, методы и средства измерений**

### **ВОПРОСЫ**

1. Объекты и методы измерений, виды контроля:

- ✚ Измеряемые величины;
- ✚ Международная система единиц физических величин;
- ✚ Виды и методы измерений;
- ✚ Виды контроля;
- ✚ Методика выполнения измерений.

2. Средства измерений:

- ❖ Виды средств измерений;
- ❖ Измерительные сигналы;
- ❖ Метрологические показатели средств измерений;
- ❖ Метрологические характеристики средств измерений;
- ❖ Классы точности средств измерений;
- ❖ Метрологическая надежность средств измерений;
- ❖ Метрологические аттестация средств измерений;

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Димов Ю.В. Метрология, стандартизация и сертификация. Учебник. 2-е изд. СПб.: ИД "Питер", 2011. – 432 с. (с.202-223).

### **1. Объекты и методы измерений, виды контроля**

#### **Измеряемые величины**

Измерения являются инструментом познания объектов и явлений окружающего мира. Объектами измерений являются физические объекты и процессы окружающего нас мира.

Вся современная физика может быть построена на семи основных величинах, которые характеризуют фундаментальные свойства материального мира. К ним относятся: *длина, масса, время, сила электрического тока, термодинамическая температура, количество вещества и сила света*. С помощью этих и двух дополнительных величин — *плоского и телесного углов* — введенных исключительно для удобства, образуется все многообразие *производных* физических величин и обеспечивается описание свойств физических объектов и явлений.

В качестве примера можно указать следующие области и виды измерений:

1. Измерения геометрических величин: длин; отклонений формы поверхностей; параметров сложных поверхностей; углов.

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

2. Измерения механических величин: массы; силы; крутящих моментов, напряжений и деформаций; параметров движения; твердости.
3. Измерения параметров потока, расхода, уровня, объема веществ: массового и объемного расхода жидкостей в трубопроводах; расхода газов; вместимости; параметров открытых потоков; уровня жидкости.
4. Измерения давлений, вакуумные измерения: избыточного давления; абсолютного давления; переменного давления; вакуума.
5. Физико-химические измерения: вязкости; плотности; содержания (концентрации) компонентов в твердых, жидких и газообразных веществах; влажности газов, твердых веществ; электрохимические измерения.
6. Теплофизические и температурные измерения: температуры; теплофизических величин.
7. Измерения времени и частоты: методы и средства воспроизведения и хранения единиц и шкал времени и частоты; измерения интервалов времени; измерения частоты периодических процессов; методы и средства передачи размеров единиц времени и частоты.
8. Измерения электрических и магнитных величин на постоянном и переменном токе: силы тока, количества электричества, электродвижущей силы, напряжения, мощности и энергии, угла сдвига фаз; электрического сопротивления, проводимости, емкости, индуктивности и добротности электрических цепей; параметров магнитных полей; магнитных характеристик материалов.
9. Радиоэлектронные измерения: интенсивности сигналов; параметров формы и спектра сигналов; параметров трактов с сосредоточенными

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

и распределенными постоянными; свойств веществ и материалов радиотехническими методами; антенные.

10. Измерения акустических величин: акустические — в воздушной среде и в газах; акустические — в водной среде; акустические — в твердых телах; аудиометрия и измерения уровня шума.
11. Оптические и оптико-физические измерения: световые, измерения оптических свойств материалов в видимой области спектра; энергетических параметров некогерентного оптического излучения; энергетических параметров пространственного распределения энергии и мощности непрерывного и импульсного лазерного и квазимонохроматического излучения; спектральных, частотных характеристик, поляризации лазерного излучения; параметров оптических элементов, оптических характеристик материалов; характеристик фотоматериалов и оптической плотности.
12. Измерения ионизирующих излучений и ядерных констант: дозиметрических характеристик ионизирующих излучений; спектральных характеристик ионизирующих излучений; активности радионуклидов; радиометрических характеристик ионизирующих излучений.

В *квалиметрии* (разделе метрологии), посвященной измерению качества, не принято деление показателей качества на основные и производные. Здесь выделяются единичные и комплексные показатели качества. При этом единичные относятся к одному из свойств продукции, а комплексные характеризуют сразу несколько из свойств.

Размерность измеряемой величины является качественной ее характеристикой и обозначается символом  $\dim$ , происходящим от слова

dimension. Размерность *основных* физических величин обозначается соответствующими заглавными буквами. Например, для длины, массы и времени  $\dim l = L$ ;  $\dim \tau = M$ ;  $\dim t = T$ .

При определении размерности *производных* величин руководствуются следующими правилами [47]:

1. Размерности левой и правой частей уравнений не могут не совпадать, так как сравниваться между собой могут только одинаковые свойства. Объединяя левые и правые части уравнений, можно прийти к выводу, что алгебраически суммироваться могут только величины, имеющие одинаковые размерности.
2. Алгебра размерностей мультипликативна, то есть состоит из одного-единственного действия — умножения.

✚ Размерность произведения нескольких величин равна произведению их размерностей. Так, если зависимость между значениями величин  $Q, A, B, C$  имеет вид  $Q = A \cdot B \cdot C$ , то  $\dim Q = \dim A \cdot \dim B \cdot \dim C$ .

✚ Размерность частного при делении одной величины на другую равна отношению их размерностей, то есть если  $Q = A/B$ , то  $\dim Q = \dim A / \dim B$ .

✚ Размерность любой величины, возведенной в некоторую степень, равна такой же степени ее размерности. Так, если  $Q = A^n$ , то

$$\dim Q = \prod_1^n \dim A = \dim^n A .$$

Например, если скорость определять по формуле  $V = l/t$ , то  $\dim V = \dim l / \dim t = L/T = LT^{-1}$ . Если сила по второму закону Ньютона  $F = ma$ , где  $a = V/t$  — ускорение тела, то  $\dim F = \dim \tau \dim a = ML/T^2 = MLT^{-2}$ .

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

Таким образом, всегда можно выразить размерность производной физической величины через размерности основных физических величин с помощью степенного одночлена:  $\dim Q = L^\alpha M^\beta T^\gamma \dots$ , где  $L, M, T, \dots$  — *размерности* соответствующих основных физических величин;  $\alpha, \beta, \gamma \dots$  — *показатели размерности*. Каждый из показателей размерности может быть положительным или отрицательным, целым или дробным числом, нулем. Если все показатели размерности равны нулю, то такая величина называется *безразмерной*. Она может быть *относительной*, определяемой как отношение одноименных величин (например, относительная диэлектрическая проницаемость), и *логарифмической*, определяемой как логарифм относительной величины (например, логарифм отношения мощностей или напряжений). В гуманитарных науках, искусстве, спорте, квалиметрии, где номенклатура основных величин не определена, теория размерностей не находит пока эффективного применения.

Размер измеряемой величины является количественной ее характеристикой. Получение информации о размере физической величины является содержанием любого измерения.

В теории измерений принято, в основном, различать пять типов шкал: наименований, порядка, разностей (интервалов), отношений и абсолютные.

*Шкалы наименований* характеризуются только отношением эквивалентности (равенства). Примером такой шкалы является распространенная классификация (оценка) цвета по наименованиям (атласы цветов до 1000 наименований).

*Шкалы порядка* — это расположенные в порядке возрастания или убывания размеры измеряемой величины. Расстановка размеров в порядке их возрастания или убывания с целью получения измерительной

информации по шкале порядка называется *ранжированием*. Для облегчения измерений по шкале порядка некоторые точки на ней можно зафиксировать в качестве опорных (реперных). Недостатком реперных шкал является неопределенность интервалов между реперными точками. Поэтому шкалы нельзя складывать, вычислять, перемножать, делить и т. п. Примерами таких шкал являются: знания студентов по баллам, землетрясения по 12-балльной системе, сила ветра по шкале Бофорта, чувствительность пленок, твердость по шкале Мооса и т. д.

*Шкалы разностей (интервалов)* отличаются от шкал порядка тем, что по шкале интервалов можно уже судить не только о том, что размер больше другого, но и на сколько больше. По шкале интервалов возможны такие математические действия, как сложение и вычитание. Характерным примером является шкала интервалов времени, поскольку интервалы времени можно суммировать или вычитать, но складывать, например, даты каких-либо событий не имеет смысла.

*Шкалы отношений* описывают свойства, к множеству самих количественных проявлений которых применимы отношения эквивалентности, порядка и суммирования, а следовательно, вычитания и умножения. В шкале отношений существует нулевое значение показателя свойства. Примером является шкала длин. Любое намерение по шкале отношений заключается в сравнении неизвестного размера с известным и выражении первого через второй в кратном или дольном отношении.

*Абсолютные шкалы* обладают всеми признаками шкал отношений, но в них дополнительно существует естественное однозначное определение единицы измерения. Такие шкалы соответствуют относительным величинам (отношения одноименных физических

величин, описываемых шкалами отношений). К таким величинам относятся коэффициент усиления, ослабления и т. п. Среди этих шкал существуют шкалы, значения которых находятся в пределах от 0 до 1 (коэффициент полезного действия, отражения и т. п.).

Измерение (сравнение неизвестного с известным) происходит под влиянием множества случайных и неслучайных, аддитивных (прибавляемых) и мультипликативных (умножаемых) факторов, точный учет которых невозможен, а результат совместного воздействия непредсказуем.

Основной постулат метрологии — *отсчет* — является случайным числом. Математическая модель измерения по шкале сравнения имеет вид

$$q = \frac{Q+V}{[Q]} + U,$$

где  $q$  — результат измерения (числовое значение величины  $Q$ );  $Q$  — значение измеряемой величины;  $[Q]$  — единица данной физической величины;  $V$  — масса тары (например, при взвешивании);  $U$  — слагаемая от аддитивного воздействия

$$Q = q \cdot [Q] - U \cdot [Q] - V.$$

При однократном измерении

$$Q = q_i \cdot [Q] + \theta_i$$

где  $q_i \cdot [Q]$  — результат измерения (однократного);

$\theta_i = -U' [Q] - V$  — суммарная поправка.

Значение измеряемой величины при многократном измерении

$$\bar{Q}_n = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Q_i.$$

**Международная система единиц физических величин**

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

Когерентная, или согласованная Международная система единиц физических величин (СИ, SI) принята в 1960 г. XI Генеральной конференцией по мерам и весам. По этой системе предусмотрено семь основных единиц (метр, килограмм, секунда, ампер, кельвин, кандела и моль) и две дополнительные (для плоского угла радиан и для телесного угла — стерadian). Все остальные физические величины могут быть получены как производные основных. Основные и дополнительные единицы системы SI приведены в табл. 3.1.

В качестве эталона единицы длины утвержден *метр*, который равен длине пути, проходимого светом в вакууме за  $1/299.792.458$  долю секунды,

**Таблица 3.1.** Основные и дополнительные единицы системы SI

Величина		Единица		
наименование	размерность	наименование	обозначение	
			международное	русское
Основные				
Длина	L	Метр	m	м
Масса	M	Килограмм	kg	кг
Время	T	Секунда	s	с
Сила электрического тока	I	Ампер	A	А
Термодинамическая температура	$\theta$	Кельвин	K	К
Количество вещества	N	Моль	mol	моль
Сила света	J	Кандела	cd	кд
Дополнительные				
Плоский угол		Радян	rad	рад
Телесный угол		Стерadian	sr	ср

Эталон единицы массы — *килограмм* — представляет собой цилиндр из сплава платины (90%) и иридия (10%), у которого диаметр и высота примерно одинаковы (около 30 мм).

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

За единицу времени принята *секунда*, равная 9.192.631.770 периодам излучения, соответствующего переходу между двумя сверхтонкими уровнями основного состояния атома цезия-133.

Эталоном единицы силы тока принят *ампер* — сила не изменяющегося во времени электрического тока, который, протекая в вакууме по двум параллельным прямолинейным проводникам бесконечной длины и ничтожно малой площади круглого поперечного сечения, расположенным один от другого на расстоянии 1 м, создает на каждом участке проводника длиной 1 м силу взаимодействия  $2 \cdot 10^{-7}$  Н.

Единицей термодинамической температуры является *кельвин*, составляющий  $1/273,16$  часть термодинамической температуры тройной точки воды.

За эталон количества вещества принят *моль* — количество вещества системы, содержащей столько же структурных элементов частиц, сколько атомов содержится в 12 г углерода-12 (1 моль углерода имеет массу 12 г, 1 моль кислорода — 32 г, а 1 моль воды — 18 г).

Эталон единицы силы света — *кандела* — представляет собой силу света в заданном направлении источника, испускающего монохроматическое излучение частотой  $540 \cdot 10^{12}$  Гц, энергетическая сила света которого в этом направлении составляет 1/683 Вт/ср.

*Радиан* равен углу между двумя радиусами окружности, дуга между которыми по длине равна радиусу.

*Стерadian* равен телесному углу с вершиной в центре сферы, вырезающему на поверхности сферы площадь, равную площади квадрата со стороной, по длине равной радиусу сферы.

### **Виды и методы измерений**

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

*Измерение* — совокупность операций по применению системы измерений для получения значения измеряемой физической величины.

Можно выделить следующие виды измерений.

1. По характеру зависимости измеряемой величины от времени измерения методы измерений подразделяются на:

- *статические*, при которых измеряемая величина остается постоянной во времени;
- *динамические*, в процессе которых измеряемая величина изменяется и является непостоянной во времени.

Статическими измерениями являются, например, измерения размеров тела, постоянного давления; динамическими — измерения пульсирующих давлений, вибраций.

2. По способу получения результатов измерений (виду уравнения измерений) методы измерений разделяют на прямые, косвенные, совокупные и совместные.

При *прямом* измерении искомое значение величины находят непосредственно из опытных данных, например, измерение угла угломером или измерение диаметра штангенциркулем.

При *косвенном* измерении искомое значение величины определяют на основании известной зависимости между этой величиной и величинами, подвергаемыми прямым измерениям, например определение среднего диаметра резьбы с помощью трех проволок или угла с помощью синусной линейки.

*Совместными* называют измерения, производимые одновременно (прямые или косвенные) двух или нескольких неоднородных величин. Целью совместных измерений является нахождение функциональной зависимости между величинами, например зависимости длины тела от

температуры, зависимости электрического сопротивления проводника от давления и т. п.

*Совокупные* — это такие измерения, в которых значения измеряемых величин находят по данным повторных измерений одной или нескольких одноименных величин при различных сочетаниях мер или этих величин. Результаты совокупных измерений находят путем решения системы уравнений, составляемых по результатам нескольких прямых измерений. Например, совокупными являются измерения, при которых массы отдельных гирь набора находят по известной массе одной из них и по результатам прямых сравнений масс различных сочетаний гирь.

3. По условиям, определяющим точность результата измерения, методы делятся на три класса.

1) *Измерения максимально возможной точности*, достижимой при существующем уровне техники. К ним относятся в первую очередь эталонные измерения, связанные с максимально возможной точностью воспроизведения установленных единиц физических величин, и, кроме того, измерения физических констант, прежде всего универсальных (например, абсолютного значения ускорения свободного падения и др.).

К этому же классу относятся и некоторые специальные измерения, требующие высокой точности.

2) *Контрольно-поверочные измерения*, погрешность которых с определенной вероятностью не должна превышать некоторое заданное значение. К ним относятся измерения, выполняемые лабораториями государственного надзора за внедрением и соблюдением стандартов и состоянием измерительной техники и

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

заводскими измерительными лабораториями с погрешностью заранее заданного значения.

3) *Технические измерения*, в которых погрешность результата определяется характеристиками средств измерений. Примерами технических измерений являются измерения, выполняемые в процессе производства на машиностроительных предприятиях, на щитах распределительных устройств электрических станций и др.

4. По способу выражения результатов измерений различают абсолютные и относительные измерения.

✚ *Абсолютное* измерение основано на прямых измерениях величины и (или) использовании значений физических констант, например, измерение размеров деталей штангенциркулем или микрометром.

✚ При *относительных* измерениях величину сравнивают с одноименной, играющей роль единицы или принятой за исходную, например измерение диаметра вращающейся детали по числу оборотов соприкасающегося с ней аттестованного ролика.

5. В зависимости от совокупности измеряемых параметров изделия различают поэлементный и комплексный методы измерения.

➤ *Поэлементный* метод характеризуется измерением каждого параметра изделия в отдельности (например, эксцентриситета, овальности, огранки цилиндрического вала).

➤ *Комплексный* метод характеризуется измерением суммарного показателя качества (а не физической величины), на который оказывают влияние отдельные его составляющие (например, измерение радиального биения цилиндрической детали, на которое влияют эксцентриситет, овальность и др.).

Можно выделить следующие методы измерений.

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

1. По способу получения значений измеряемых величин различают два основных метода измерений: метод непосредственной оценки и метод сравнения с мерой.

- *Метод непосредственной оценки* — метод измерения, при котором значение величины определяют непосредственно по отсчетному устройству измерительного прибора прямого действия (например, измерение длины с помощью линейки или размеров деталей микрометром, угломером и т. д.).
- *Метод сравнения с мерой* — метод измерения, при котором измеряемую величину сравнивают с величиной, воспроизводимой мерой. Например, для измерения диаметра калибра микрокатор устанавливают на нуль по блоку концевых мер длины, а результаты измерения получают по отклонению стрелки микрокатора от нуля, то есть сравнивается измеряемая величина с размером блока концевых мер. О точности размера судят по отклонению стрелки микрокатора относительно нулевого положения.

Существуют несколько разновидностей метода сравнения:

- ✚ *метод противопоставления*, при котором измеряемая величина и величина, воспроизводимая мерой, одновременно воздействуют на прибор сравнения;
- ✚ *дифференциальный метод*, при котором измеряемую величину сравнивают с известной величиной, воспроизводимой мерой. Этим методом, например, определяют отклонение контролируемого диаметра детали па оптиметре после его настройки на нуль по блоку концевых мер длины;
- ✚ *нулевой метод*, при котором результирующий эффект воздействия величин на прибор сравнения доводят до нуля. Подобным методом

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

измеряют электрическое сопротивление по схеме моста с полным его уравниванием;

✚ *метод совпадений*, при котором разность между измеряемой величиной и величиной, воспроизводимой мерой, определяют, используя совпадения отметок шкал или периодических сигналов (например, при измерении штангенциркулем используют совпадение отметок основной и нониусной шкал).

2. При измерении линейных величин независимо от рассмотренных методов различают контактный и бесконтактный методы измерений.

3. В зависимости от измерительных средств, используемых в процессе измерения, различают инструментальный, экспертный, эвристический и органолептический методы измерений.

- *Инструментальный* метод основан на использовании специальных технических средств, в том числе автоматизированных и автоматических.
- *Экспертный* метод оценки основан на использовании данных нескольких специалистов. Широко применяется в квалиметрии, спорте, искусстве, медицине.
- *Эвристические* методы оценки основаны на интуиции. Широко используется способ попарного сопоставления, когда измеряемые величины сначала сравниваются между собой попарно, а затем производится ранжирование на основании результатов этого сравнения.
- *Органолептические* методы оценки основаны на использовании органов чувств человека (осязания, обоняния, зрения, слуха и вкуса). Часто используются измерения на основе впечатлений (конкурсы мастеров искусств, соревнования спортсменов).

## Виды контроля

*Контроль* — это процесс получения и обработки информации об объекте (параметре детали, механизма, процесса и т. д.) с целью определения нахождения параметров объекта в заданных пределах.

*Классификация видов контроля* [49].

1. По возможности (или невозможности) использования продукции после выполнения контрольных операций различают неразрушающий и разрушающий контроль.

❖ При *неразрушающем* контроле соответствие контролируемого размера (или значения) норме определяется по результатам взаимодействия различных физических полей и излучений с объектом контроля. Интенсивность полей и излучений выбирается такой, чтобы не только не происходило разрушений объекта контроля, но и не менялись его свойства во время контроля. В зависимости от природы физических полей и излучений виды неразрушающего контроля разделяются на следующие группы: акустические, радиационные, оптические, радиоволновые, тепловые, магнитные, вихревые, электрические, проникающих веществ.

❖ При *разрушающем* контроле определение соответствия (или несоответствия) контролируемого размера (или значения) норме сопровождается разрушением изделия (объекта контроля), например, при проверке изделия на прочность.

2. По характеру распределения по времени различают непрерывный, периодический и летучий контроль.

• *Непрерывный* контроль состоит в непрерывной проверке соответствия контролируемых размеров (или значений) нормам в

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

течение всего процесса изготовления или определенной стадии жизненного цикла.

- При *периодическом* контроле измерительную информацию получают периодически через установленные интервалы времени  $\tau$ . Период контроля  $\tau$  может быть как меньше, так и больше времени одной технологической операции  $\tau_{оп}$ . Если  $\tau = \tau_{оп}$ , то периодический контроль становится операционным (или послеоперационным).
- *Летучий* контроль проводят в случайные моменты времени.

3. В зависимости от исполнителя контроль разделяется на: *самоконтроль*, *контроль мастером*, *контроль ОТК* (отделом технического контроля) и *инспекционный* контроль (специально уполномоченными представителями). *Инспекционный* контроль в зависимости от того, какая организация уполномочила представителя проводить контроль подразделяется на: ведомственный, межведомственный, вневедомственный, государственный (выполняемый контролёрами Госстандарта).

4. По стадии технологического (производственного) процесса отличают входной, операционный и приемочный (приемосдаточный) контроль.

- *Входному* контролю подвергают сырье, исходные материалы, полуфабрикаты, комплектующие изделия, техническую документацию и т. п., иначе говоря, все то, что используется при производстве продукции или ее эксплуатации.
- *Операционный* контроль еще незавершенной продукции проводится на всех операциях производственного процесса.
- *Приемочный* контроль готовых, сборочных и монтажных единиц осуществляется в конце технологического процесса.

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

5. По характеру воздействия на ход производственного (технологического) процесса контроль делится на активный и пассивный.

- При *активном* контроле его результаты непрерывно используются для управления технологическим процессом. Можно сказать, что активный контроль совмещен с производственным процессом в единый контрольно- технологический процесс. Как правило, он выполняется автоматически.
- *Пассивный* контроль осуществляется после завершения либо отдельной технологической операции, либо всего технологического цикла изготовления детали или изделия. Он может быть ручным, автоматизированным и автоматическим.

6. В зависимости от места проведения различают подвижный и стационарный контроль.

- *Подвижный* контроль проводится непосредственно на рабочих местах, где изготавливается продукция (у станка, на сборочных и настроечных стендах и т. Д.).
- *Стационарный* контроль проводится на специально оборудованных рабочих местах. Он применяется при необходимости создания специальных условий контроля; при наличии возможности включения в технологический цикл стационарного рабочего места контролера; при использовании средств контроля, которые применяются только в стационарных условиях; при крупносерийном и массовом производстве.

7. По объекту контроля отличают контроль качества выпускаемой продукции, товарной и сопроводительной документации, технологического процесса, средств технологического оснащения,

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

прохождения *рекламации*, соблюдения *условий эксплуатации*, а также контроль *технологической дисциплины* и *квалификации* исполнителей.

По числу измерений отличают *однократный* и *многократный* контроль.

8. По способу отбора изделий, подвергаемых контролю, отличают сплошной и выборочный контроль.

✚ *Сплошной* (сто процентный) контроль всех без исключения изготовленных изделий применяется при индивидуальном и мелкосерийном производстве, на стадии освоения новой продукции, по аварийным параметрам (размерам), при селективной сборке.

✚ *Выборочный* контроль проводится во всех остальных случаях, чаще всего при крупносерийном и массовом производстве. Для сокращения затрат на контроль большой партии изделий (которую в математической статистике принято называть генеральной совокупностью) контролю подвергается только часть партии — выборка, формируемая по определенным правилам, обеспечивающим случайный набор изделий. Если число бракованных изделий в выборке превышает установленную норму, то вся партия (генеральная совокупность) бракуется.

Подробнее о выборочном приемочном и текущем контроле изложено в [48].

### **Методика выполнения измерений**

Основная потеря точности при измерениях происходит не за счет возможной метрологической неисправности применяемых средств измерений, а в первую очередь за счет несовершенства методов и методик выполнения измерений.

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

В целом точность измерения зависит от: точности применяемого средства измерения; точности метода измерения; влияния внешних факторов. Например, при измерении массы материала, движущегося по транспортеру, точность базового устройства обычно в 10-20 раз выше общей точности взвешивания массы; при поверке ртутных термометров следует учитывать точность «считывания» показаний.

Под методикой выполнения измерений понимают совокупность методов, средств, процедур, условий подготовки и проведения измерений, а также правил обработки экспериментальных данных при выполнении конкретных измерений.

По Закону РФ «Об обеспечении единства измерений» измерения должны осуществляться в соответствии с аттестованными в установленном порядке методиками.

Разработка методик выполнения измерений должна включать:

- 1) анализ технических требований к точности измерений, изложенных в стандарте, технических условий или технических заданий;
- 2) определение конкретных условий проведения измерений;
- 3) выбор испытательного и вспомогательного оборудования, а также средств измерений;
- 4) разработку при необходимости нестандартных средств измерений;
- 5) исследование влияния условий проведения измерений и подготовки испытуемых объектов к измерениям;
- 6) определение порядка подготовки средств измерений к работе, последовательности и количества измерений;
- 7) разработку или выбор алгоритма обработки экспериментальных данных и правил оформления *результатов* измерения.

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

Нормативно-техническими документами (НТД), регламентирующими методику выполнения измерения являются:

1. Государственные стандарты или методические указания Госстандарта России по методикам выполнения измерений. Стандарт разрабатывается в том случае, если применяемые средства измерений внесены в Государственный реестр средств измерений.
2. Отраслевые методики выполнения измерений, используемые в одной отрасли.
3. Стандарты предприятий на методики выполнения измерений, используемые на одном предприятии.

В НТД на методики выполнения измерений предусматриваются: нормы точности измерений; специфика измеряемой величины (диапазон, наименование продукции и т. д.); максимальная автоматизация измерений и обработки данных.

Методики выполнения измерений перед их вводом в действие должны быть *аттестованы* или *стандартизованы*. Аттестация включает в себя: разработку и утверждение программы аттестации; выполнение исследований в соответствии с программой; составление и оформление отчета об аттестации; оформление аттестата методики выполнения измерений.

При аттестации должна быть проверена правильность учета всех факторов, влияющих на точность измерений, установлена достоверность их результатов. Аттестацию методик выполнения измерений проводят государственные и ведомственные метрологические службы. При этом государственные метрологические службы проводят аттестацию методик

особо точных, ответственных измерений, а также измерений, проводимых в организациях Госстандарта России.

Стандартизация методик применяется для измерений, широко применяемых на предприятиях.

Методики выполнения измерений периодически пересматриваются с целью их усовершенствования.

## 2. Средства измерений

*Средство измерения* — это техническое устройство, используемое при измерениях и имеющее нормированные метрологические свойства.

### *Виды средств измерений*

По метрологическому назначению средства измерений делятся на образцовые и рабочие.

- ✚ *Образцовые* предназначены для поверки по ним других средств измерений как рабочих, так и образцовых менее высокой точности.
- ✚ *Рабочие* средства измерений предназначены для измерения размеров величин, необходимых в разнообразной деятельности человека.

Сущность разделения средств измерений на образцовые и рабочие состоит не в конструкции и не в точности, а в их назначении.

К средствам измерения относятся:

1. *Меры*, предназначенные для воспроизведения физической величины заданного размера. Различают однозначные и многозначные меры, а также наборы мер (гири, кварцевые генераторы и т. п.). Меры, воспроизводящие физические величины одного размера, называются *однозначными*. *Многозначные меры* могут воспроизводить ряд размеров физической величины, часто даже непрерывно заполняющих некоторый промежуток между определенными границами. Наиболее

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

распространенными многозначными мерами являются миллиметровая линейка, вариометр и конденсатор переменной емкости.

В наборах и магазинах отдельные меры могут объединяться в различных сочетаниях для воспроизведения некоторых промежуточных или суммарных, но обязательно дискретных размеров величин. В магазинах объединены в одно механическое целое, снабженное специальными переключателями, которые связаны с отсчетными устройствами. В противоположность этому набор состоит обычно из нескольких мер, которые могут выполнять свои функции как в отдельности, так и в различных сочетаниях друг с другом (набор концевых мер длины, набор гирь, набор мер добротности и индуктивности и т. д.).

Сравнение с мерой выполняют с помощью специальных технических средств — компараторов (равноплечие весы, измерительный мост и т. п.).

К однозначным мерам относятся также образцы и образцовые вещества.

*Стандартные образцы состава и свойств веществ и материалов* представляют собой специально оформленные тела или пробы вещества определенного и строго регламентированного содержания, одно из свойств которых при определенных условиях является величиной с известным значением. К ним относятся образцы твердости, шероховатости, белой поверхности, а также стандартные образцы, используемые при поверке приборов для определения механических свойств материалов. Образцовые вещества играют большую роль в создании реперных точек при осуществлении шкал. Например, чистый цинк служит для воспроизведения температуры 419,58 °С, золото — 1064,43 °С.

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

В зависимости от погрешности аттестации меры подразделяются на *разряды* (меры 1-го, 2-го и т. д. разрядов), а погрешность мер является основой их деления на классы. Меры, которым присвоен тот или иной разряд, применяются для поверки измерительных средств и называются образцовыми.

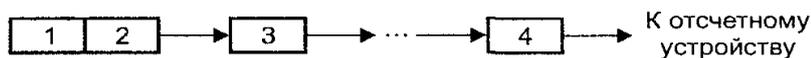
2. *Измерительные преобразователи* — это средства измерений, перерабатывающие измерительную информацию в форму, удобную для дальнейшего преобразования, передачи, хранения и обработки, но, как правило, не доступную для непосредственного восприятия наблюдателем (термопары, измерительные усилители и др.).

Преобразуемая величина называется *входной*, а результат преобразования — *выходной* величиной. Соотношение между ними задается *функцией преобразования* (статической характеристикой). Если в результате преобразования физическая природа величины не изменяется, а функция преобразования является линейной, то преобразователь называется *масштабным*, или *усилителем* (усилители напряжения, измерительные микроскопы, электронные усилители). Слово «усилитель» обычно употребляется с определением, которое приписывается ему в зависимости от рода преобразуемой величины (усилитель напряжения, гидравлический усилитель) или от вида единичных преобразований, происходящих в нем (ламповый усилитель, струйный усилитель).

В тех случаях, когда в преобразователе входная величина превращается в другую по физической природе величину, он получает название по видам этих величин (электромеханический, пневмемкостный и так далее).

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

По месту, занимаемому в приборе, преобразователи (рис. 3.1) подразделяются на: *первичные*, к которым подводится непосредственно измеряемая физическая величина; *передающие*, на выходе которых образуются величины, удобные для их регистрации и передачи на расстояние; *промежуточные*, занимающие в измерительной цепи место после первичных.



**Рис. 3.1.** Преобразование измерительной информации: 1 — чувствительный элемент;  
2 — первичный преобразователь; 3 — промежуточные преобразователи;  
4 — передающий преобразователь

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

3. *Измерительные приборы* относятся к средствам измерений, предназначенным для получения измерительной информации о величине, подлежащей измерению, в форме, удобной для восприятия наблюдателем.

Наибольшее распространение получили *приборы прямого действия*, при использовании которых измеряемая величина подвергается ряду последовательных преобразований в одном направлении, то есть без возвращения к исходной величине. К приборам прямого действия относится большинство манометров, термометров, амперметров, вольтметров и т. д.

Значительно большими точностными возможностями обладают *приборы сравнения*, предназначенные для сравнения измеряемых величин с величинами, значения которых известны. Сравнение осуществляется с помощью компенсационных или мостовых цепей. *Компенсационные цепи* применяются для сравнения активных величин, то есть несущих в себе некоторый запас энергии (сил, давлений и моментов сил, электрических напряжений и токов, яркости источников излучения и т. д.). Сравнение проводится путем встречного включения этих величин в единый контур и наблюдения их разностного эффекта. По этому принципу работают такие приборы, как равноплечие и неравноплечие весы (сравнение на рычаге силовых эффектов действия масс), грузопоршневые и грузопружинные манометрические в вакуумметрические приборы (сравнение на поршне силовых эффектов измеряемого давления и мер массы) и др.

Для сравнения пассивных величин (электрические, гидравлические, пневматические и другие сопротивления) применяются *мостовые цепи* типа электрических уравновешенных или неуравновешенных мостов.

По способу отсчета значений измеряемых величин приборы подразделяются на *показывающие*, в том числе *аналоговые и цифровые*, и на *регистрирующие*.

Наибольшее распространение получили аналоговые приборы, отсчетные устройства которых состоят из двух элементов — шкалы и указателя, причем один из них связан с подвижной системой прибора, а другой — с корпусом. В цифровых приборах отсчет осуществляется с помощью механических, электронных или других цифровых отсчетных устройств.

По способу записи измеряемой величины регистрирующие приборы делятся на *самопишущие и печатающие*. В самопишущих приборах (например, барограф или шлейфовый осциллограф) запись показаний представляет собой график или диаграмму. В печатающих приборах информация о значении измеряемой величины выдается в числовой форме на бумажной ленте.

Автоматические приборы сравнения выпускаются чаще всего в виде комбинированных приборов, в которых шкальный или цифровой отсчет

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

сочетается с записью на диаграмме или с печатанием результатов измерений.

*Вспомогательные средства измерений.* К этой группе относятся средства измерений величин, влияющих на метрологические свойства другого средства измерений при его применении или поверке. Показания вспомогательных средств измерений используются для вычисления поправок к результатам измерений (например, термометров для измерения температуры окружающей среды при работе с грузопоршневыми манометрами) или для контроля за поддержанием значений влияющих величин в заданных пределах (например, психрометров для измерения влажности при точных интерференционных измерениях длин).

*Измерительные установки.* Для измерения какой-либо величины или одновременно нескольких величин иногда бывает недостаточно одного измерительного прибора. В этих случаях создают целые комплексы расположенных в одном месте и функционально объединенных друг с другом средств измерений (мер, преобразователей, измерительных приборов и вспомогательных средств), предназначенных для выработки сигнала измерительной информации в форме, удобной для непосредственного восприятия наблюдателем.

*Измерительные системы* — это средства и устройства, территориально разобщенные и соединенные каналами связи. Информация может быть представлена в форме, удобной как для непосредственного восприятия, так и для автоматической обработки, передачи и использования в автоматизированных системах управления.

Технические устройства, предназначенные для обнаружения (индикации) физических свойств, называются *индикаторами* (стрелка

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

компаса, лакмусовая бумага). С помощью индикаторов устанавливается только наличие измеряемой физической величины интересующего нас свойства материи. В качестве примера индикатора можно привести указатель количества бензина в бензобаке автомобиля.

Измерительные сигналы

В рамках единой измерительной системы информация о значении физических величин передается от одного средства измерения к другому с помощью сигналов.

Наиболее часто в качестве сигналов используются:

- ✚ *сигналы постоянного уровня* (постоянные электрические токи и напряжения, давление сжатого воздуха, световой поток);
- ✚ *синусоидальные сигналы* (церемонный электрический ток или напряжение);
- ✚ *последовательность прямоугольных импульсов* (электрических или световых).

Сигнал характеризуется рядом параметров. В первом случае единственным параметром сигнала является его уровень. Синусоидальный сигнал характеризуется своей амплитудой, фазой и частотой, последовательность прямоугольных импульсов — амплитудой, фазой, частотой, шириной импульсов или комбинацией импульсов различного уровня в течение определенного промежутка времени.

Для того, чтобы исходный сигнал стал измерительным, необходимо один из его параметров связать функциональной зависимостью с измеряемой физической величиной. Параметр сигнала, выбранный в качестве такового, называется информативным, а все остальные параметры — неинформативными. Процесс преобразования исходного сигнала в измерительный, то есть преобразование одного из параметров

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

исходного сигнала, генерируемого некоторым источником, в информативный параметр, называется модуляцией. В зависимости от вида модуляции измерительные сигналы можно классифицировать следующим образом.

Сигналы постоянного уровня характеризуются лишь одним параметром и поэтому могут быть модулированы только по уровню. Уровень сигнала является при этом мерой измеряемой величины.

Синусоидальные сигналы могут быть модулированы по амплитуде, фазе или частоте. В зависимости от того, какой из этих параметров сигнала является мерой измеряемой величины, говорят об амплитудно-модулированных, фазо-модулированных или частотно-модулированных сигналах.

Последовательность прямоугольных импульсов может быть модулирована по амплитуде (амплитудно-импульсно модулированные сигналы), по частоте (частотно-импульсно модулированные сигналы), по фазе (фазо-импульсно модулированные сигналы) или по ширине импульсов (широтно-импульсно модулированные сигналы). Сигнал, в котором различным значениям измеряемой величины поставлена в соответствие определенная комбинация импульсов различного уровня, называется кодо-импульсным, или цифровым.

В зависимости от характера изменения информативного параметра сигнала по уровню и во времени измерительные сигналы подразделяются на:

- ✚ *непрерывные по уровню, или аналоговые*, если их информативный параметр может принимать любые значения в заданном диапазоне;

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

- ✚ *дискретные*, или *квантованные по уровню*, если их информативный параметр может принимать лишь некоторое ограниченное число значений в пределах заданного интервала;
- ✚ *непрерывные во времени*, если они существуют в течение всего времени измерения и в любой момент может быть выведен на регистрацию;
- ✚ *дискретизированные*, или *квантованные по времени*, если они несут информацию о значении измеряемой физической величины лишь в течение некоторых промежутков времени. К этой группе относятся, например, все виды импульсно-модулированных сигналов.

При анализе измерительных сигналов их принято описывать либо функциями времени, либо с помощью спектральных представлений, основанных на преобразованиях Фурье и Лапласа.

### **Метрологические показатели средств измерений**

При выборе средства измерения в зависимости от заданной точности изготовления деталей необходимо учитывать их метрологические показатели. К ним относятся:

1. *Длина деления шкалы* — это расстояние между серединами двух соседних отметок (штрихов, точек и т. п.) шкалы.
2. *Цена деления шкалы* — это разность значений величин, соответствующих двум соседним отметкам шкалы (у микрометра она равна 0,01 мм).
3. *Градуировочная характеристика* — зависимость между значениями величин на выходе и входе средства измерений.
4. *Диапазон показаний* — область значений шкалы, ограниченная конечным и начальным значениями шкалы, то есть наибольшим и наименьшим значениями измеряемой величины.

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

5. *Диапазон измерений* — область значений измеряемой величины, в пределах которой нормированы допускаемые пределы погрешности средства измерения.
6. *Чувствительность* прибора — отношение изменения сигнала на выходе измерительного прибора к изменению измеряемой величины (сигнала) на входе. Так, если изменение измеряемой величины составило  $\Delta d = 0,01$  мм, что вызвало перемещение стрелки показывающего устройства на  $\Delta l = 10$  мм, то *абсолютная чувствительность* прибора составляет  $S = \Delta l / \Delta d = 10/0,01 = 1000$ . Для шкальных измерительных приборов абсолютная чувствительность численно равна передаточному отношению.
7. *Вариация* (нестабильность) показаний прибора — алгебраическая разность между наибольшим и наименьшим результатами измерений при многократном измерении одной и той же величины в неизменных условиях.
8. *Стабильность* средства измерений — свойство, выражающее неизменность во времени его метрологических характеристик (показаний).

**Метрологические характеристики средств измерений**

Все средства измерений независимо от их исполнения имеют ряд общих свойств, необходимых для выполнения ими функционального назначения. Технические характеристики, описывающие эти свойства и оказывающие влияние на результаты и погрешности измерений, называются *метрологическими характеристиками средств измерений*.

В зависимости от специфики и назначения средств измерений нормируются различные наборы или комплексы метрологических

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

характеристик. Однако эти комплексы должны быть достаточны для учета свойств средств измерения при оценке погрешностей измерений.

Набор метрологических характеристик, входящие и установленный комплекс, выбирают таким образом, чтобы обеспечить возможность их контроля при приемлемых затратах. В эксплуатационной документации на средства измерений указывают рекомендуемые методы расчета инструментальной составляющей погрешности измерений при использовании средств измерения данного типа в реальных условиях применения.

По ГОСТ 8.009-84 «ГСИ. Нормируемые метрологические характеристики средств измерений» предусмотрена следующая номенклатура метрологических характеристик:

1. *Характеристики, предназначенные для определения результатов измерений* (без введения поправок):

- ✚ функция преобразования измерительного преобразователя —  $f(x)$
- ;
- ✚ значение однозначной или многозначной меры —  $y$ ,
- ✚ цена деления шкалы измерительного прибора или многозначной меры;
- ✚ вид входного кода, число разрядов кода, цена единицы наименьшего разряда средств измерений, предназначенных для выдачи результатов в цифровом коде.

2. *Характеристики погрешностей средств измерений* включают: значение погрешности, ее систематические и случайные составляющие, погрешности случайной составляющей  $\Delta_{сл}$  и от гистерезиса — вариация  $H$  выходного сигнала (показания).

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

Для *систематической составляющей*  $\Delta_{\text{сист}}$  погрешности средств измерений выбирают характеристики из числа следующих:

- значение систематической составляющей  $\Delta_{\text{сист}}$ ;
- значение систематической составляющей  $\Delta_{\text{сист}}$ , математическое ожидание  $M[\Delta_{\text{сист}}]$  и среднее квадратическое отклонение  $\sigma[\Delta_{\text{сист}}]$  систематической составляющей погрешности.

Для *случайной составляющей*  $\Delta_{\text{сл}}$  погрешности выбирают характеристики из числа следующих:

- ❖ среднее квадратическое отклонение  $\sigma[\Delta_{\text{сл}}]$  случайной составляющей погрешности;

О среднее квадратическое отклонение  $\sigma[\Delta_{\text{сл}}]$  случайной составляющей погрешности и нормализованная автокорреляционная функция  $r_{\Delta_{\text{сл}}}(\tau)$  или функция спектральной плотности  $S_{\Delta_{\text{сл}}}(\omega)$  случайной составляющей погрешности. В нормативно-технической документации на средства измерений конкретных видов или типов допускается нормировать функции или плотности распределения вероятностей систематической и случайной составляющих погрешности.

*Характеристики чувствительности средств измерений* к влияющим величинам выбираются из числа следующих:

- функция влияния  $\psi(\xi)$ ;
- изменения  $\varepsilon(\xi)$  значений метрологических характеристик средства измерения, вызванные изменением влияющих величин  $\xi$  в установленных пределах.

*Динамические характеристики* отражают инерционные свойства средства измерений при воздействии на него меняющихся во времени

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

величин параметров входного сигнала, внешних изменяющихся величин, нагрузки.

По степени полноты описания инерционных свойств средств измерений динамические характеристики делятся на полные и частные.

К полным динамическим характеристикам относятся:

- дифференциальное уравнение, описывающее работу средства измерений;
- передаточная функция;
- переходная характеристика;
- импульсная переходная характеристика;
- амплитудно-фазовая характеристика;
- амплитудно-частотная характеристика для минимально-фазовых средств измерения;
- совокупность амплитудно-фазовых и фазово-частотных характеристик.

Частичными динамическими характеристиками могут быть отдельные параметры полных динамических характеристик или характеристики, не отражающие полностью динамических свойств средств измерений, но необходимые для выполнения измерений с требуемой точностью (например, время реакции, коэффициент демпфирования, значение амплитудно-частотной характеристики на резонансной частоте, значение резонансной собственной круговой частоты). Комплекс их оговаривается в соответствующих стандартах.

Нормы на отдельные метрологические характеристики приводятся в эксплуатационной документации (паспорте, техническом описании, инструкции по эксплуатации и т. д.) в виде номинальных значений, коэффициентов функций, заданных формулами, таблицами или

графиками пределов допускаемых отклонений от номинальных значений функций.

В ГОСТ 8.009-84 приведены способы нормирования рассмотренных выше метрологических характеристик.

### **Классы точности средств измерений**

Учет всех нормируемых метрологических характеристик средств измерений является сложной и трудоемкой процедурой. На практике такая точность не нужна. Поэтому для средств измерений, используемых в повседневной практике, принято деление на *классы точности*, которые дают их *обобщенную метрологическую характеристику*.

Требования к метрологическим характеристикам устанавливаются в стандартах на средства измерений конкретного типа.

*Классы точности присваиваются средствам измерений с учетом результатов государственных приемочных испытаний.*

Обозначения классов точности наносятся на циферблаты, щитки и корпуса средств измерений, приводятся в нормативно-технических документах. Классы точности могут обозначаться буквами (например, М, С и т. д.) или римскими цифрами (I, II, III и т. д.). Обозначение классов точности по ГОСТу 8.401-80 может сопровождаться дополнительными условными знаками:

□ 0,5, 1,6, 2,5 и т. д. — для приборов, приведенная погрешность  $\gamma = \Delta / X_N$  которых составляет 0,5, 1,6, 2,5% от нормирующего значения  $X_N$  ( $\Delta$  — пределы допустимой абсолютной погрешности). При этом  $X_N$  принимается равным большему из модулей пределов измерений, если нулевое значение входного (выходного) сигнала находится на краю или вне диапазона измерений;

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

- $\sqrt{0,5}$  — то же, что и в предыдущем случае, но при  $X_N$  равным длине шкалы или ее части;
- (0,1), (0,4), (1,0) и т. д. — для приборов, у которых относительная погрешность  $\delta = \Delta/x$  составляет 0,1, 0,4, 1,0% непосредственно от полученного значения измеряемой величины  $x$ ;
- 0,02/0,01 — для приборов, у которых измеряемая величина не может отличаться от значения  $x$ , показанного указателем, больше, чем на  $[C + d (|X_k/x| - 1)]\%$ , где  $C$  и  $d$  — числитель и знаменатель соответственно в обозначении класса точности;  $X_k$  — бóльший (по модулю) из пределов измерений прибора. Примеры обозначения классов точности приведены на рис. 3.2.

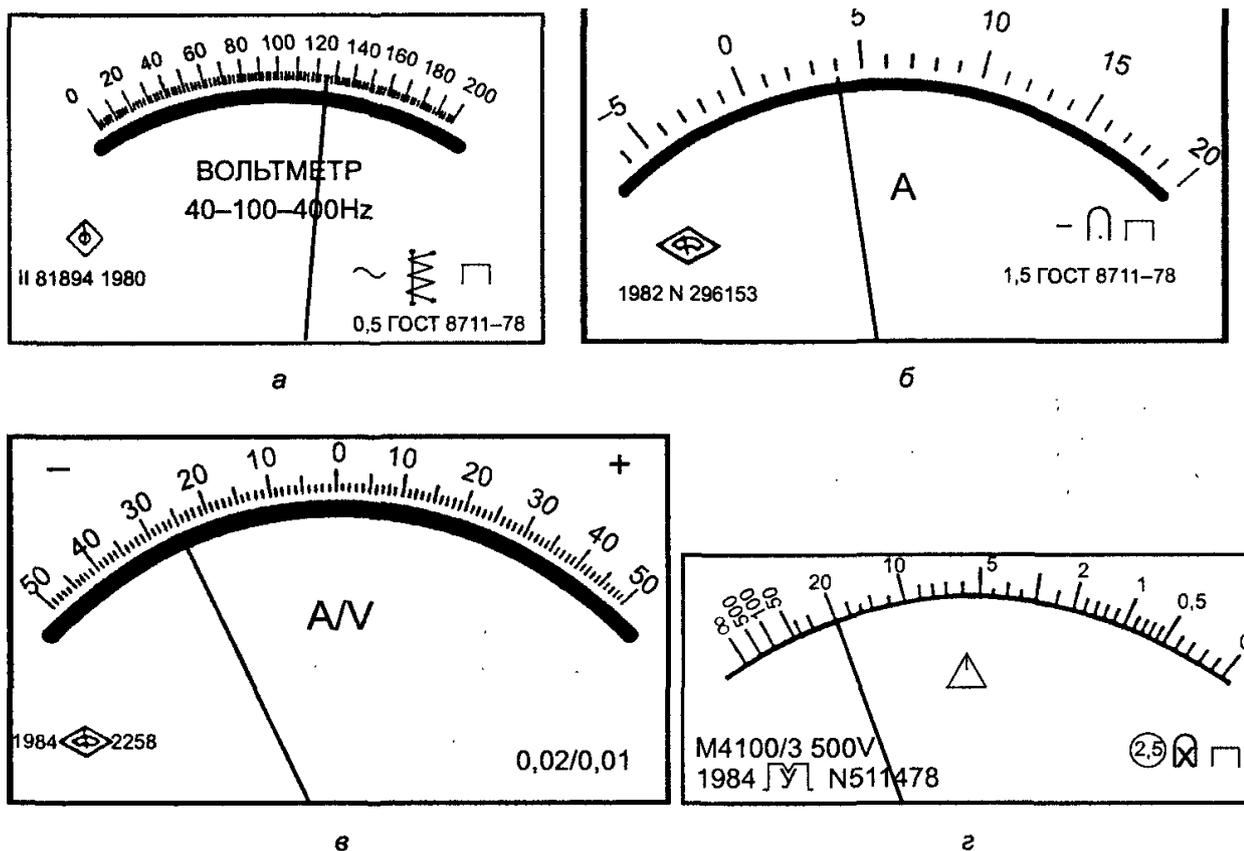


Рис. 3.2. Лицевые панели приборов: а) вольтметра класса точности 0,5; б) амперметра класса точности 1,5; в) амперметра класса точности 0,02/0,01; г) мегомметра класса точности (2,5) с неравномерной шкалой

### Метрологическая надежность средств измерения

В процессе эксплуатации любого средства измерения может возникнуть неисправность или поломка, называемые *отказом*.

*Метрологическая надежность* — это свойство средств измерений сохранять установленные значения метрологических характеристик в течение определенного времени при нормальных режимах и рабочих

условиях эксплуатации. Она характеризуется интенсивностью отказов, вероятностью безотказной работы и наработкой на отказ.

*Интенсивность отказов* определяется выражением

$$\Lambda = \frac{L}{N\Delta t},$$

где  $L$  — число отказов;

$N$  — число однотипных элементов;

$\Delta t$  — промежуток времени.

Для средства измерения, состоящего из  $n$  типов элементов, интенсивность отказов

$$\Lambda_{\text{сум}} = \sum_{i=1}^n \Lambda_i m_i,$$

где  $m_i$  — количество элементов  $i$ -го типа.

Вероятность безотказной работы  $P(t) = \exp\left(-\int_0^t \Lambda_{\text{сум}}(t) dt\right)$ .

Наработка на отказ  $T_{\text{ср}} = \int_0^{\infty} P(t) dt$ .

Для внезапного отказа, интенсивность отказов которого не зависит от времени работы средства измерения,

$$\Lambda_{\text{сум}}(t) = \Lambda_{\text{сум}} = \text{const}; \quad P(t) = \exp(-\Lambda_{\text{сум}} t); \quad T_{\text{ср}} = L / \Lambda_{\text{сум}}.$$

*Межповерочный интервал*, в течение которого обеспечивается заданная вероятность безотказной работы, определяется по формуле

$$T_{\text{МО}} = \frac{\ln(1 - P_{\text{МО}})}{\ln P(t)},$$

где  $P_{\text{МО}}$  — вероятность метрологического отказа за время между поверками;

$P(t)$  — вероятность безотказной работы.

В процессе эксплуатации может производиться корректировка межповерочного интервала.

### **Метрологическая аттестация средств измерений**

Под метрологической аттестацией понимают исследование средства измерений, выполняемое метрологическим органом с целью определения его метрологических свойств и выдачи соответствующего документа с указанием полученных данных.

По результатам метрологической аттестации средству измерений приписываются определенные метрологические характеристики, определяется возможность применения его в качестве образцового или рабочего средства измерений. В настоящее время под метрологической аттестацией обычно понимают всестороннее исследование образцовых или нестандартизированных средств измерений, а также стандартных образцов состава и свойств веществ и материалов.

*Нестандартизированные средства измерений (НСИ).* Установлен порядок метрологического обеспечения эксплуатации нестандартизированных средств измерения, который распространяется также на

- ввозимые из-за границы единичными экземплярами;
- единичные экземпляры серийных средств измерений, отличающиеся от условий, для которых нормированы их метрологические характеристики;
- серийно выпускаемые образцы, в схему и конструкцию которых внесены изменения, влияющие на их метрологические характеристики.

Нестандартизированными могут быть как рабочие, так и образцовые средства измерений.

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

Задачами метрологического обеспечения НСИ являются:

1. Исследование метрологических характеристик и установление соответствия НСИ требованиям технических заданий, либо паспорту (проекту) завода изготовителя.
2. Установление рациональной номенклатуры НСИ.
3. Обеспечение НСИ средствами аттестации, поверки (НТД по поверке) при их разработке, изготовлении и эксплуатации.
4. Обеспечение постоянной пригодности НСИ к применению по назначению с нормированной для них точностью.
5. Сокращение сроков и снижение затрат на разработку, изготовление и эксплуатацию.

Научно-методическое руководство деятельностью предприятий по метрологическому обеспечению НСИ осуществляют головные и базовые организации метрологической службы министерств (ведомств), метрологические институты, центры стандартизации и метрологии Госстандарта России.

Вновь разработанные или закупленные по импорту НСИ допускаются к применению только после их метрологической аттестации. Если существует договор о взаимном признании результатов аттестации средств измерений со страной, из которой импортируется НСИ, то аттестация в России может не проводиться.

За разработкой, изготовлением и эксплуатацией НСИ ведется авторский и государственный (в сферах распространения государственного метрологического контроля и надзора) надзор, а также ведомственный контроль.

Авторский контроль осуществляется разработчиком НСИ совместно с метрологической службой разработчика. Он предусматривает участие в

подготовке и проведении метрологической аттестации НСИ, оказание помощи при разработке нормативно-технической документации и организации поверки НСИ.

Ведомственный метрологический контроль за разработкой, изготовлением, аттестацией и поверкой НСИ проводится метрологическими службами министерства (ведомства).

## **ЛЕКЦИЯ по теме №1.2.5. Погрешности измерения и выбор измерительного средства**

### ВОПРОСЫ

#### 1. Погрешность измерений:

- ✚ Систематические и случайные погрешности;
- ✚ Причины возникновения погрешностей измерения;
- ✚ Критерии качества измерений;
- ✚ Планирование измерений.

#### 2. Выбор измерительного средства:

- ❖ Подготовка и выполнение измерительного эксперимента;
- ❖ Обработка результатов наблюдений и оценивание погрешностей измерений;
- ❖ Выбор измерительных средств по допустимой погрешности измерения.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Димов Ю.В. Метрология, стандартизация и сертификация. Учебник. 2-е изд. СПб.: ИД "Питер", 2011. – 432 с. (с.224-249).

## **1. Погрешность измерений**

Погрешность измерений — это отклонение значений величины, найденной путем ее измерения, от истинного (действительного) значения измеряемой величины.

Погрешность прибора — это разность между показанием прибора и истинным (действительным) значением измеряемой величины.

Разница между погрешностью измерения и погрешностью прибора заключается в том, что погрешность прибора связана с определенными условиями его поверки.

Погрешность может быть абсолютной и относительной.

*Абсолютной* называют погрешность измерения, выраженную в тех же единицах, что и измеряемая величина. Например, 0,4 В, 2,5 мкм и т. д. Абсолютная погрешность

$$\Delta = A - X_{\text{ист}} \approx A - X_{\text{д}}$$

где  $A$  — результат измерения;

$X_{\text{ист}}$  — истинное значение измеряемой величины;

$X_{\text{д}}$  — действительное значение измеряемой величины.

*Относительная* погрешность измерения представляет собой отношение абсолютной погрешности измерения к истинному (действительному) значению измеряемой величины и выражается в процентах или долях измеряемой величины:

$$\delta = \frac{A - X_{\text{ист}}}{X_{\text{ист}}} = \frac{\Delta}{X_{\text{ист}}} \approx \frac{\Delta}{X_{\text{д}}}$$

В зависимости от условий измерения погрешности подразделяются на статические и динамические.

*Статической* называют погрешность, не зависящую от скорости изменения измеряемой величины во времени.

*Динамической* называют погрешность, зависящую от скорости изменения измеряемой величины во времени. Возникновение динамической погрешности обусловлено инерционностью элементов измерительной цепи средства измерений. Динамической погрешностью средства измерений является разность между погрешностью средства измерений в динамических условиях и его статической погрешностью, соответствующей значению величины в данный момент времени.

### **Систематические и случайные погрешности**

*Систематической погрешностью* называется погрешность, остающаяся постоянной или закономерно изменяющейся во времени при повторных измерениях одной и той же величины.

Примером систематической погрешности, закономерно изменяющейся во времени, может служить смещение настройки прибора во времени.

*Случайной погрешностью* измерения называется погрешность, которая при многократном измерении одного и того же значения не остается постоянной. Например, при измерении валика одним и тем же прибором в одном и том же сечении получают различные значения измеренной величины.

Систематические и случайные погрешности чаще всего появляются одновременно.

Для выявления систематической погрешности производят многократные измерения образцовой меры и по полученным результатам определяют среднее значение размера. Отклонение среднего значения от размера образцовой меры характеризует систематическую погрешность, которую называют «средней арифметической погрешностью», или «средним арифметическим отклонением».

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

Систематическая погрешность всегда имеет знак отклонения, то есть «+» или «-». Систематическая погрешность может быть исключена введением поправки.

При подготовке к точным измерениям необходимо убедиться в отсутствии постоянной систематической погрешности в данном ряду измерений. Для этого существуют специальные методы.

Прогрессивные и периодические систематические погрешности в противоположность постоянным можно обнаружить при многократных измерениях.

Обработка данных и оценка параметров случайных погрешностей производится методами математической статистики.

При расчете *предельной погрешности* измерения определяют числовое значение погрешности измерения от всех составляющих и производят суммирование:

$$\Delta = \sum_{i=1}^n \Delta_{i\text{сист}} \pm \sqrt{\sum_{j=1}^m \Delta_{\text{см}}^2},$$

где знаки «+» или «-» ставятся из условия, чтобы систематические и случайные погрешности суммировались по модулю.

Если в случайной погрешности известно среднее квадратическое отклонение, то

$$\Delta = \sum_{i=1}^n \Delta_{i\text{сист}} \pm \sqrt{\sum_{j=1}^m \sigma_{\text{см}}^2},$$

где  $K$  — показатель, указывающий доверительные границы для предельной случайной погрешности измерения (при  $K=1$   $p=0,65$ ; при  $K=2$   $p=0,945$ ; при  $K=3$   $p=0,9973$ ).

Если результаты измерений зависят от большого числа разнообразных факторов, то

$$y = F(x_1, x_2, \dots, x_n)$$

где  $x_i$  — переменные функциональные параметры.

Каждый параметр может иметь отклонение  $\Delta x_i$  (погрешность) от предписанного значения  $x_i$ . Поскольку погрешность  $\Delta x_i$ , мала по сравнению с величиной  $x_i$ , суммарная погрешность  $\Delta y$  функции  $y$  можно вычислять по формуле:

$$\Delta y = \sum_{i=1}^n \Delta x_i \partial y / \partial x_i, \quad (3.1)$$

где  $\Delta y / \partial x_i$  — передаточное отношение (коэффициент влияния) параметра  $x_i$ .

Формула (3.1) справедлива лишь для систематических погрешностей  $\Delta x_i$ .

Для случайных погрешностей (когда отдельные составляющие не всегда принимают предельные значения) используются теоремы теории вероятностей о дисперсии, то есть

$$\delta_y = \sqrt{\sum_{i=1}^n (\sigma_i \partial y / \partial x_i)^2}. \quad (3.2)$$

Суммарная погрешность при наличии только случайных составляющих  $\delta_{x_i}$  погрешностей

$$\delta_y = \sqrt{\sum_{i=1}^n [(\partial y / \partial x_i) k_i \delta x_i]^2 + 2 \sum_{j=1}^m (\partial y / \partial x_i) (\partial y / \partial x_j) \cdot k_i k_j r_{ij} \delta x_i \delta x_j},$$

где  $\tau$  — число попарно корреляционно связанных параметров;

$k_i$  и  $k_j$  — коэффициенты относительного рассеяния, характеризующие степень отличия закона распределения погрешности данного параметра от нормального;

$r_{ij}$  — коэффициент корреляции, существующий при наличии корреляционной связи между параметрами  $x_i$  и  $x_j$ .

При наличии и систематических и случайных составляющих погрешностей вычисляют доверительные границы суммарной погрешности:

$$\Delta y_{\text{сум}} = \Delta y \pm k_i \sigma_y,$$

где  $k$  — масштабный коэффициент интервала распределения, зависящий от закона распределения и принятой доверительной вероятности.

Так, при доверительной вероятности  $P = 0,95$  для закона нормального распределения  $k = 2$ , а для закона Максвелла  $k = 3,6$ .

**Пример.** В результате измерений и последующего вычисления по формуле (3.1) получена суммарная систематическая погрешность результата измерения  $\Delta y = -0,7$  мкм, среднее квадратическое этого результата измерения, вычисленное по формуле (3.2)  $\sigma_y = 0,4$  мкм. Предел допускаемой погрешности  $\delta_{\text{изм}} = +1$  мкм. Тогда верхняя и нижняя доверительные границы погрешности при доверительной вероятности  $P = 0,95$ .

$$\Delta y_{\text{сум в}} = -0,7 + 2 \cdot 0,4 = +0,1 \text{ мкм}; \Delta y_{\text{сум н}} = -0,7 - 2 \cdot 0,4 = -1,5 \text{ мкм}.$$

Так как  $\Delta y_{\text{сум н}} > \delta_{\text{изм}}$ , выбранный метод и средство измерения не удовлетворяют требованиям точности. Следовательно, необходимо компенсировать систематическую составляющую погрешности, например, путем изготовления образца для настройки измерительного средства. Размер образца должен быть больше его начального размера на 0,7 мкм: тогда будет справедливо неравенство  $0,8 < 1$  мкм и проведенные измерения будут удовлетворять требованиям по точности.

### Причины возникновения погрешностей измерения

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

Имеется ряд слагаемых погрешностей, которые являются доминирующими в общей погрешности измерения. К ним относятся:

1. *Погрешности, зависящие от средств измерения.* Нормируемую допустимую погрешность средства измерения следует рассматривать как погрешность измерения при одном из возможных вариантов использования этого средства измерения.
2. *Погрешности, зависящие от установочных мер.* Установочные меры могут быть универсальными (концевые меры) и специальными (изготовленными по виду измеряемой детали). Погрешность измерения будет меньше, если установочная мера будет максимально подобна измеряемой детали по конструкции, массе, материалу, его физическим свойствам, способу базирования и т. д. Погрешности от концевых мер длины возникают из-за погрешности изготовления (классы) или погрешности аттестации (разряды), а также из-за погрешности их притирки.
3. *Погрешности, зависящие от измерительного усилия.* При оценке влияния измерительного усилия на погрешность измерения необходимо выделить упругие деформации установочного узла и деформации в зоне контакта измерительного наконечника с деталью.
4. *Погрешности, происходящие от температурных деформаций* (температурные погрешности). Погрешности возникают из-за разности температур объекта измерения и измерительного средства. Существуют два основных источника, обуславливающих погрешность от температурных деформаций: отклонение температуры воздуха от 20 °С и кратковременные колебания температуры воздуха в процессе измерения.

Максимальное влияние отклонений температуры на погрешность измерения  $\Delta l_t$  можно рассчитать по формуле

$$\Delta l_{t_1} = l \Delta t_1 (\alpha_{\text{п}} - \alpha_{\text{д}})_{\text{max}},$$

где  $\Delta t_1$  — отклонение температуры от 20°C;

$\alpha_{\text{п}}, \alpha_{\text{д}}$  — коэффициенты линейных расширений прибора и детали.

Максимальное влияние кратковременных колебаний температуры среды на погрешность измерения будет иметь место в том случае, если колебания температуры воздуха не вызывают изменений температуры измерительного средства, а температура объекта измерения близко следует за температурой воздуха (или наоборот):

$$\Delta l_{t_2} = 1 \cdot \Delta t_2 \alpha_{\text{max}}$$

где  $\Delta t_2$  — кратковременные колебания температуры воздуха в процессе измерения;

$\alpha_{\text{max}}$  — наибольшее значение коэффициента линейного расширения (материала прибора или измеряемой детали).

Общая деформация по двум случайным составляющим  $\Delta t_1$ , и  $\Delta t_2$  выразится формулой

$$\Delta l_t = l \sqrt{[\Delta t_1 (\alpha_{\text{п}} - \alpha_{\text{д}})_{\text{max}}]^2 + (\Delta t_2 \alpha_{\text{max}})^2}.$$

Могут возникнуть и дополнительные деформации при использовании накладных приборов.

5. *Погрешности, зависящие от оператора* (субъективные погрешности). Возможны четыре вида субъективных погрешностей:

- *погрешность отсчитывания* (особенно важна, когда обеспечивается погрешность измерения, не превышающая цену деления);

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

- *погрешность присутствия* (проявляется в виде влияния теплоизлучения оператора на температуру окружающей среды, а тем самым и на измерительное средство);
- *погрешность действий* (вносится оператором при настройке прибора);
- *профессиональные погрешности* (связаны с квалификацией оператора, с отношением его к процессу измерения).

*6. Погрешности при отклонениях от правильной геометрической формы.* При измерении деталей с целью учета возможной погрешности формы рекомендуется:

- измерение производить в нескольких точках (как правило в шести);
- у установочных деталей перед аттестацией измерить отклонение от геометрической формы;
- на образцовой детали с отклонениями формы выделить и маркировать участок, аттестовать его и по нему производить настройку;
- при выяснении «действующих» размеров деталей следует стремиться использовать измерительные наконечники по конфигурации, идентичные сопрягаемой детали («действующий» размер — это размер, который будет действовать в машине и выполнять свое служебное назначение).

*7. Дополнительные погрешности при измерении внутренних размеров.* К специфическим погрешностям измерения отверстий относятся:

- ✚ погрешности, возникающие при смещении линии измерения относительно контролируемого диаметра как в плоскости,

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

перпендикулярной к оси контролируемого отверстия, так и в осевой плоскости;

- ✚ погрешности, вызванные шероховатостью поверхности отверстия, особенно при использовании ручных приборов;
- ✚ погрешности, обусловленные динамикой процесса совмещения линии измерения одновременно в двух плоскостях;
- ✚ погрешности от настройки прибора на размер.

### **Критерии качества измерений**

Качество измерений характеризуется точностью, достоверностью, правильностью, сходимостью и воспроизводимостью измерений, а также размером допустимых погрешностей.

*Точность* — это качество измерений, отражающее близость их результатов к истинному значению измеряемой величины. Высокая точность измерений соответствует малым погрешностям как систематическим, так и случайным.

Точность количественно оценивают обратной величиной модуля относительной погрешности. Например, если погрешность измерений равна  $10^{-6}$ , то точность равна  $10^6$ .

*Достоверность* измерений характеризует степень доверия к результатам измерений. Достоверность оценки погрешностей определяют на основе законов теории вероятностей и математической статистики. Это дает возможность для каждого конкретного случая выбирать средства и методы измерений, обеспечивающие получение результата, погрешности которого не превышают заданных границ с необходимой достоверностью.

Под *правильностью* измерений понимают качество измерений, отражающее близость к нулю систематических погрешностей в результатах измерений.

*Сходимость* — это качество измерений, отражающее близость друг к другу результатов измерений одного и того же параметра, выполненных повторно одними и теми же средствами одним и тем же методом в одинаковых условиях и с одинаковой тщательностью.

*Воспроизводимость* — это такое качество измерений, которое отражает близость друг к другу результатов измерений, выполняемых в различных условиях (в различное время, в различных местах, различными методами и средствами).

### Планирование измерений

В простейшем случае планирование измерений сводится к нахождению оптимального числа измерений  $n$  набора величин  $X_1, \dots, X_n$ , а затем статистических характеристик:

1) среднего арифметического  $\bar{X} = \bar{X}_n \pm \Delta\bar{X}$ ,

где  $\bar{X}$  — среднее арифметическое выборки;  $\Delta\bar{X}$  — его доверительный интервал;

2) среднего квадратического выборки  $S_n \approx \sigma_n (n \rightarrow \infty)$ .

Доверительный интервал, на величину которого истинное значение  $\bar{X}$  может отличаться от выборочного  $\bar{X}_n$ :

$$\Delta\bar{X} = S_n \frac{t_{n-1}}{\sqrt{n}},$$

где  $t_{n-1}$  — табличный коэффициент Стьюдента, зависящий от доверительной вероятности  $P$  и числа измерений  $(n-1)$ . На практике выбирают:  $P \approx 0,68$ , что соответствует  $\pm 1 \sigma$ ;  $P \approx 0,95$  соответствует  $\pm 2 \sigma$ ;  $P \approx 0,997$  соответствует  $\pm 3 \sigma$ .

Наибольшее число требуемых испытаний

$$n = (S_m \cdot t_{m-1} / \Delta X)^2 \cdot (1 + 0,5 / m + 2 / \sqrt{m}),$$

где  $t$  — число предварительных экспериментов, заведомо меньшее, чем требуемое.

Таким образом, исходными, предварительно выбранными величинами при планировании измерений, являются:  $\Delta X$  — максимальное допустимое отклонение среднего арифметического;  $P$  — доверительная вероятность;  $t$  — число предварительных испытаний.

## 2. Выбор измерительного средства

Обоснованный выбор измерительного средства необходим как для метрологического, инженерного и научного эксперимента, так и для практической деятельности в условиях производства и оказания услуг.

### Подготовка и выполнение измерительного эксперимента

Умение проводить научные исследования становится для инженера необходимостью, так как часто лишь с их помощью удастся учесть особенности конкретных условий производства и выявить резервы повышения его эффективности.

Эксперимент является главным орудием научного метода познания, на котором основывается наука. Лишь эксперимент, дающий повторяющиеся результаты и поддающийся воспроизведению разными исследователями, позволяет установить или подтвердить научную истину. Эксперимент включает в себя ряд опытов, в процессе каждого из которых происходит воспроизведение исследуемого явления в определенных условиях проведения эксперимента при возможности регистрации его результатов.

Для проведения метрологического эксперимента необходимо: определиться с методикой выполнения измерений; выбрать метод

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

измерения, средство измерения и вспомогательные устройства; подготовиться к измерению и опробованию средства измерения; осуществить контроль условий выполнения измерений; установить число наблюдений при измерении; учесть систематические погрешности и уменьшить их; обработать результаты наблюдений и оценить погрешность измерений; интерпретировать и представить результаты измерения; округлить результаты наблюдений и измерений.

*Методика выполнения измерений* (МВИ) — нормативно-технический документ, в котором установлена совокупность операций и правил, выполнение которых обеспечивает получение необходимых результатов измерений. В МВИ должны устанавливаться: ее назначение, нормы точности и область применения; метод (методы) измерений; требования к средствам измерений (СИ) и вспомогательным устройствам, необходимым для выполнения измерений; требования к безопасности, включая экологическую безопасность; требования к квалификации операторов; условия выполнения измерений; операции подготовки к выполнению измерений; экспериментальные операции, выполняемые для получения *результатов наблюдений* при измерении; способы обработки результатов наблюдений и оценки показателей точности измерений; требования к оформлению результатов измерений.

Разработку или выбор МВИ начинают с анализа объекта, условий и цели измерений и установления соответствующей модели объекта измерений. Под моделью (содержащей физические, математические, структурные, смысловые и другие аспекты) объекта измерений (ОИ) понимают формализованное описание ОИ, основанное на совокупности уже имеющихся знаний об ОИ. В качестве измеряемых величин следует выбирать такие параметры или характеристики модели ОИ, которые

наиболее близко соответствуют цели измерения. Погрешностями модели можно пренебрегать, если они не превышают 10 % от допускаемой погрешности измерений.

Примеры простейших моделей ОИ

1. ОИ — вал; модель ОИ — прямой круговой цилиндр; измеряемый параметр — диаметр цилиндра в любом поперечном сечении; источники погрешности модели — эллиптичность, граненность и конусность вала.
2. ОИ — электрическая сеть переменного тока как потенциальный источник мощности, выделяющейся в активной нагрузке; модель ОИ — синусоидальное напряжение  $U = U_m \sin \omega t$  с амплитудой  $U_m$ ; измеряемый параметр — действующее значение напряжения

$$U_d = U_m \sqrt{1 / 2\pi} \int_0^{2\pi} \sin \omega t = U_m / \sqrt{2};$$

3. источник погрешности модели — отклонение временной зависимости напряжения от синусоидальной.

*Выбор метода измерений* определяется принятой моделью ОИ и доступными СИ. Под *методом измерений* понимают прием или совокупность приемов сравнения измеряемой величины с ее единицей (или шкалой) в соответствии с реализованным принципом измерений.

При выборе метода измерений добиваются того, чтобы *погрешность метода измерений*, то есть составляющая систематической погрешности измерений, обусловленная несовершенством принятых модели и метода измерений (иначе, теоретическая погрешность), не сказывалась заметно на результирующей погрешности измерения, то есть не превышала 30% от нее. Изменения измеряемых параметров модели в течение цикла наблюдений, как правило, не должны превышать 10% от заданной

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

погрешности измерения. Если возможны альтернативы, учитывают и экономические соображения: ненужное завышение точности модели и метода измерения приводят к необоснованным затратам. То же относится и к выбору СИ.

*Выбор средств измерений и вспомогательных устройств* определяется измеряемой величиной, принятым методом измерений и требуемой точностью результата измерений (нормами точности).

Измерения с применением СИ недостаточной точности малоценны (даже бессмысленны), так как могут быть причиной неправильных выводов. Применение излишне точных СИ экономически невыгодно. Учитывают также диапазон изменений измеряемой величины, условия измерений, эксплуатационные качества СИ, их стоимость.

Основное внимание уделяют погрешностям СИ. При этом добиваются выполнения условия

$$\Delta_{\Sigma} = \Delta_{\text{мод}} + \Delta_{\text{м}} + \Delta_{\text{си}} + \Delta_{\text{усл}} + \Delta_{\text{о}} \leq \Delta_{\text{д}},$$

где  $\Delta_{\text{д}}$  — предельно допускаемая погрешность результатов измерений; предельные погрешности:  $\Delta_{\text{мод}}$  — модели измерений,  $\Delta_{\text{м}}$  — метода измерений;  $\Delta_{\text{си}}$  — средства измерений,  $\Delta_{\text{усл}}$  — дополнительные погрешности, обусловленные воздействием влияющих факторов условий измерений,  $\Delta_{\text{о}}$  — оператора.

Этот критерий выбора СИ достаточно надежен, но дает завышенную на 20-30 % оценку суммарной погрешности измерения  $\Delta_{\Sigma}$ . Если такой запас по точности не допустим, суммирование составляющих  $A_s$  следует произвести по формулам для случайных погрешностей.

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

*Подготовка к измерениям и опробование средств измерений.* При подготовке к измерениям оператор должен:

- Подготовить ОИ (например, очистить) и создать необходимые (по НТД) условия измерений (испытаний) — установить в рабочее положение, включить питание, охлаждение, прогреть его необходимое время и т. п.
- Опробовать СИ. Проверить действие органов управления, регулировки, настройки и коррекции. Если СИ снабжены средствами самокалибровки (тестировании), выполнить соответствующие операции,
- Провести 2-3 пробных наблюдения и сравнить результаты с ожидаемыми. При непредвиденно большом расхождении результатов проанализировать причины и устранить их.

*Контроль условий выполнения измерений.* Сохранение метрологических характеристик СИ гарантируется для нормальных условий измерений (табл. 3.2).

**Таблица 3.2.** Номинальные значения влияющих физических величин

Влияющая величина	Номинальное значение величины
Температура для всех видов измерений	293 К (20 °С)
Давление окружающего воздуха для измерения ионизирующих излучений, теплофизических, температурных, магнитных, электрических, давлений, параметров движения	100 кПа (750 мм рт. ст.)
То же для остальных видов измерений	101,3 кПа (760 мм рт. ст.)
Относительная влажность воздуха для измерений: линейных, угловых, массы и спектроскопии	58%
То же для измерений электрического сопротивления	55%
То же для измерений температуры, силы, твердости, переменного электрического тока, ионизирующих излучений, параметров движения	65%
То же для остальных видов измерений	60%

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

Влияющая величина	Номинальное значение величины
Плотность воздуха	1,2 кг/м <sup>3</sup>
Ускорение свободного падения	9,8 м/с <sup>2</sup>
Магнитная индукция (например, магнитного поля) и напряженность электростатического поля для измерений параметров движения, магнитных и электрических величин	0
То же для остальных видов измерений	Соответствует характеристикам поля Земли в данном районе

Однако реальное проведение измерений в этих нормальных условиях маловероятно. Поэтому в эксплуатационной документации (ЭД) на СИ указывают пределы нормальной области значений влияющих величин, выходить за которые при выполнении измерений не допускается из-за возникновения дополнительной погрешности СИ. Рекомендуется выделить (определить) рабочее пространство, действием влияющих величин внутри которого можно пренебречь.

По ГОСТу 8.050-73 «Нормальные условия выполнения линейных и угловых измерений» и ГОСТ 8.395-80 «Нормальные условия измерений при поверке» предусмотрены пределы нормальной области значений влияющих величин, которые устанавливаются в зависимости от допусков и диапазона измеряемых размеров.

СИ влияющих величин выбирают такими, чтобы их погрешность не превышала 30 % от допустимых изменений влияющих величин.

*Установление числа наблюдений при измерениях.* Не следует отождествлять понятия «измерение» с «наблюдением при измерении» — экспериментальной операцией, выполняемой в процессе измерений, в результате которого получают одно значение величины (отсчета) — результата наблюдения, подлежащего обработке для получения

*результата измерения.* Система этих понятий необходима для однозначного изложения измерительных процедур.

Различают измерения с *однократными* и *многократными* наблюдениями. Наиболее распространены (в производстве) измерения с однократными наблюдениями.

Случайную погрешность считают пренебрежимо малой по сравнению с *неисключенным остатком систематической погрешности* (НСП), если  $\theta / S(x) > 8$ , где  $\theta$  — граница НСП результата измерения:  $S(x)$  — среднее квадратическое отклонение (СКО) отдельных наблюдений.

Иногда для повышения надежности таких измерений (исключения промахов) делают все-таки два или три наблюдения, и за результат измерения принимают среднее арифметическое значение результатов этих наблюдений.

Измерение с числом наблюдений  $n > 4$  относят (условно) к измерениям с многократными наблюдениями и выполняют статистическую обработку ряда результатов наблюдений для получения информации о результате измерений и о случайной составляющей погрешности этого результата. При увеличении  $n$  СКО случайной погрешности результата измерений  $S(x)$  уменьшается по закону обратной пропорциональности  $1/n$ . Этим руководствуются при выборе  $n$  для разумного уменьшения  $S(x)$ , например, по сравнению с НСП результата измерений  $\theta$ , не зависящей от  $n$  (до выполнения условия  $\theta / S(x) > 8$ , дальнейшее увеличение  $n$  не имеет смысла). Как правило, выбор числа наблюдений производится при разработке МВИ. Определение количества измерений приведено в п. 3.5.4.

*Учет систематических погрешностей и способы их уменьшения.* Систематические погрешности, как правило, не проявляются при

выполнении наблюдений и вычислении результатов измерений, но способны существенно исказить эти результаты.

При разработке СИ и МВИ, то есть еще до начала измерений систематические погрешности более или менее полно исключаются (например, введением аддитивных и мультипликативных поправок). Поэтому при выполнении наблюдений и оценке результатов измерений имеют дело с *неисключенными остатками систематических погрешностей* — НСП. Систематическую погрешность в данном разделе необходимо понимать именно как неисключенную систематическую погрешность (НСП).

Для обнаружения НСП рекомендуется: пронести измерение другим, максимально отличным от использованного, методом и сравнить результаты; резко изменить условия наблюдений (использовать другие экземпляры СИ, сменить оператора, изменить время наблюдений, например провести их в ночное время, когда выключено технологическое оборудование); провести контрольное измерение в лаборатории другой организации или в метрологическом учреждении, в которых имеются более точные СИ и МВИ; выполнить теоретическую (расчетную) оценку НСП с привлечением имеющихся априорных знаний об объекте измерений, более точных или других моделях объекта измерений, методе и СИ.

Для уменьшения (исключения) НСП в ходе выполнения измерений применяются следующие методы (приемы):

1. *Метод замещения.* Его суть — замена измеряемой величины известной (мерой), притом так, чтобы в состоянии и действии всех используемых СИ не происходило никаких изменений.

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

2. *Метод противопоставления.* Измерение выполняется с двумя наблюдениями, проводимыми так, чтобы причина НСП оказывала разные, но известные по закономерности воздействия на результаты наблюдений.
3. *Метод компенсации погрешности по знаку* предусматривает измерение с двумя наблюдениями, выполняемыми так, чтобы НСП входила в результат каждого из них с разными знаками.
4. *Метод рандомизации* (перевода систематической погрешности в случайную) заключается в такой организации измерений, при которой фактор, вызывающий НСП, при каждом наблюдении действует по-разному.
5. *Метод симметричных наблюдений* применяется для устранения прогрессирующих систематических погрешностей, линейно меняющихся пропорционально времени. Используют следующее свойство любых двух наблюдений, симметричных относительно средней точки интервала наблюдений: среднее значение линейно прогрессирующей погрешности результатов любой пары симметричных наблюдений равно погрешности, соответствующей средней точке интервала. Ряд наблюдений выполняют через равные промежутки времени и вычисляют средние арифметические значения результатов симметрично расположенных наблюдений (симметрично относительно среднего по времени наблюдения). Как было сказано, они должны быть равны. Это дает возможность контролировать в ходе измерения, соблюдается ли условие линейности возрастания систематической погрешности.

Описанные методы (приемы) должны учитываться при разработке МВИ.

## Обработка результатов наблюдений и оценивание погрешностей измерений

Оценку погрешности результата измерения выполняют при разработке МВИ. Источниками погрешностей являются модель ОИ, метод измерения, СИ, оператор, влияющие факторы условий измерений, алгоритм обработки результатов наблюдений. Как правило, погрешность результата измерения оценивается при доверительной вероятности  $P = 0,95$ .

При выборе значения  $P$  необходимо учитывать степень важности (ответственности) результата измерений. Например, если ошибка в измерении может привести к гибели людей или к тяжелым экологическим последствиям, значение  $P$  должно быть увеличено.

*1. Измерения с однократными наблюдениями.* За результат измерения в этом случае принимают результат однократного наблюдения  $x$  (с введением поправки, если она имеется), используя предварительно полученные (например, при разработке МВИ) данные об источниках, составляющих погрешность.

Доверительные границы НСП результата измерения  $\theta(P)$  вычисляют по формуле

$$\theta(P) = k(P) \sqrt{\sum_{j=1}^{m_1} \theta_j^2}, \quad (3.3)$$

где  $k(P)$  — коэффициент, определяемый принятой  $P$  и числом  $m_1$  составляющих НСП:  $\theta(P)$  — найденные нестатистическими методами границы  $j$ -й составляющей НСП (границы интервала, внутри которого находится эта составляющая, определяемые при отсутствии сведений о вероятности ее нахождения в этом интервале). При  $P = 0,90$  и  $P = 0,95$

$k(P)$  равен 0,95 и 1,1 соответственно при любом числе слагаемых  $m_1$ . При  $P = 0,99$  значения  $k(P)$  следующие (табл. 3.3):

**Таблица 3.3**

$m_1$	$k(P)$	$m_1$	$k(P)$
5 и более	1,45	3	1,30
4	1,40	2	1,20

Если составляющие НСП распределены равномерно и заданы доверительными границами  $\theta(P)$ , то доверительную границу НСП результата измерения вычисляют по формуле

$$\theta(P) = k \sqrt{\sum_{j=1}^{m_1} [\theta_j^2(P) / k_j^2]}, \quad (3.4)$$

где  $k$  и  $k_j$  — те же, что и в предыдущем случае, коэффициенты, соответствующие доверительной вероятности  $P$  и  $P_j$  соответственно;  $m_1 \sim$  число составляющих НСП.

Среднее квадратическое отклонение (СКО) результата измерения с однократным наблюдением вычисляют одним из следующих способов:

□ Если в технической документации на СИ или в МВИ указаны нормально распределенные составляющие случайной погрешности результата наблюдения (инструментальная, методическая, из-за влияющих факторов, оператора и т. д.), то СКО вычисляют по формуле

$$S(x) = \sqrt{\sum_{i=1}^{m_2} S_i^2(x)},$$

где  $m_2$  — число составляющих случайной погрешности;  $S_i$  — значения СКО этих составляющих.

Доверительную границу случайной погрешности результата измерения  $\in(P)$  в этом случае вычисляют по формуле

$$\in(P) = z_{p/2} S(x), \quad (3.5)$$

где  $z_{p/2}$  — значение нормированной функции Лапласа в точке  $P/2$  при доверительной вероятности  $P$  (табл. 3.4):

**Таблица 3.4**

$P$	$z_{p/2}$	$P$	$z_{p/2}$
0,90	1,65	0,97	2,17
0,95	1,96	0,98	2,33
0,96	2,06	0,99	2,58

□ Если в тех же документах случайные составляющие погрешности результата наблюдения представлены доверительными границами  $\in(P)$  при одной и той же доверительной вероятности  $P$ , то доверительную границу случайной погрешности результата измерения с однократным наблюдением при доверительной вероятности вычисляют по формуле

$$\in(P) = \sqrt{\sum_{i=1}^{m_2} \in_i^2(P)}.$$

□ Если случайные составляющие погрешности результата наблюдения определяют предварительно в реальных рабочих условиях экспериментальными методами при числе наблюдений  $n_i < 30$ , то:

$$\in(P) = t \sqrt{\sum_{i=1}^{m_2} S_i^2(x)},$$

где  $t$  — коэффициент Стьюдента, соответствующий наименьшему числу наблюдений  $n_{\min}$  из всех  $n_i$  можно найти в [4] или в любом справочнике по теории вероятностей;

$S(x)$  — оценки СКО случайных составляющих погрешности результата наблюдения, определяемых по формуле (3.10).

Если в эксперименте невозможно или нецелесообразно определить СКО составляющих случайной погрешности и определено сразу суммарное СКО, то в формуле (3.5)  $\tau_2 = 1$ .

□ Если случайные составляющие погрешности результата наблюдений представлены доверительными границами  $\epsilon(P)$ , соответствующими разным вероятностям  $P_j$ , то сначала определяют СКО результата измерения с однократным наблюдением по формуле

$$S(x) = \sqrt{\sum_{i=1}^{m_2} [\epsilon_i^2(P) / z_{P/2}^2]},$$

где  $z_{P/2}$  — значения функции Лапласа.

Затем вычисляют  $\epsilon(P)$  по формуле (3.4).

Для суммирования систематической и случайной составляющих погрешностей рекомендуется следующий способ:

Если

$$\theta(P) / S(x) < 8, \tag{3.6}$$

то НСП  $\theta(P)$  пренебрегают и окончательно принимают  $\epsilon(P)$  за погрешность результата измерения  $\Delta(P)$  при доверительной вероятности  $P$ .

Если

$$\theta(P) / S(x) > 8, \tag{3.7}$$

то пренебрегают случайной погрешностью и принимают  $\Delta(P) = \theta(P)$ .

Если  $0,8 \leq \theta(P) / S(x) \leq 8$ , то доверительную границу погрешности результата измерений вычисляют по формуле

$$\Delta(P) = K_{\Sigma}(\gamma) [\theta(P) + \epsilon(P)], \quad (3.8)$$

где  $K_{\Sigma}(\gamma) = \sqrt{1 + \gamma^2} / (1 + \gamma)$ ;  $\gamma = \theta(P) / [\sqrt{3}k(P)S(x)]$ .

2. *Измерения с многократными наблюдениями.* Обработку результатов в этом случае рекомендуется начать с проверки на отсутствие промахов (грубых погрешностей). Промах — это результат  $x_n$  отдельного наблюдения, входящего в ряд из  $n$  наблюдений, который для данных условий измерений резко отличается от остальных результатов этого ряда. Если оператор в ходе измерения обнаруживает такой результат и достоверно находит его причину, он вправе его отбросить и провести (при необходимости) дополнительное наблюдение взамен отброшенного.

При обработке уже имеющихся результатов наблюдений произвольно отбрасывать отдельные результаты нельзя, так как это может привести к фиктивному повышению точности результата измерения. Поэтому применяют следующую процедуру. Вычисляют среднее арифметическое  $\bar{x}$  результатов наблюдений  $x$ , по формуле

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (3.9)$$

Затем вычисляют оценку СКО результата наблюдения как

$$S(x) = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (3.10)$$

Находят отклонение  $v_n$  предполагаемого промаха  $x_n$  от  $\bar{x}$ :

$$V_n = |X_n - \bar{X}|.$$

По числу всех наблюдений  $n$  (включая  $x_n$ ) и принятому для измерения значению  $P$  (обычно 0,95) по [4] или любому справочнику по теории вероятностей находят  $z(P, n)$  — нормированное выборочное отклонение нормального распределения. Если  $V_n < zS(x)$ , то наблюдение  $x_n$  не является промахом; если  $V_n > zS(x)$ , то  $x_n$  промах, подлежащий исключению. После исключения повторяют процедуру определения  $x$  и  $S(x)$  для оставшегося ряда результатов наблюдений и проверки на промах наибольшего из оставшегося ряда отклонений от нового значениям (вычисленного исходя из  $n - 1$ ).

За результат измерения принимают среднее арифметическое  $\bar{x}$  [см. формулу 3.9] результатов наблюдений  $x_i$ . Погрешность  $\bar{x}$  содержит случайную и систематическую составляющие. Случайную составляющую, характеризующую СКО результата измерения, оценивают по формуле

$$S(\bar{x}) = \frac{1}{\sqrt{n}} S(x) = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}.$$

Принадлежность результатов наблюдений  $x_i$  к нормальному распределению при  $n > 20$  легко проверить, применив правило  $3\sigma$ : если отклонение от  $\bar{x}$  не превышает  $3\sigma$ , то случайная величина распределена нормально. Доверительные границы случайной погрешности результата измерения при доверительной вероятности  $P$  находят по формуле

$$\epsilon(P) = t(P, n) \cdot S(\bar{X}), \quad (3.11)$$

где  $t$  — коэффициент Стьюдента.

Доверительные границы  $\theta(P)$  НСП результата измерения с многократными наблюдениями определяют точно так же, как и при измерении с однократным наблюдением — по формулам (3.3) или (3.4).

Суммирование систематической и случайной составляющих погрешности результата измерения при вычислении  $\Delta(P)$  рекомендуется осуществлять с использованием критериев и формул (3.6-3.8), в которых при этом  $S(x)$  заменяется на  $S(\bar{X}) = S(x) / \sqrt{n}$ .

3. *Косвенные измерения.* Значение измеряемой величины  $A$  находят по результатам измерений аргументов  $a_1, \dots, a_i, \dots, a_n$ , связанных с искомой величиной уравнением

$$\bar{A} = f(a_1, \dots, a_i, \dots, a_m). \quad (3.12)$$

Вид функции  $f$  определяется при установлении модели ОИ.

*Косвенное измерение при линейной зависимости.* Искомая величина  $A$  связана с  $m$  измеряемыми аргументами уравнением

$$\bar{A} = \sum_{i=1}^m b_i a_i,$$

где  $b_i$  — постоянные коэффициенты.

Предполагается, что корреляция между погрешностями измерений  $a_i$  отсутствует. Результат измерения  $A$  вычисляют по формуле

$$\bar{A} = \sum_{i=1}^m b_i \bar{a}_i,$$

где  $\bar{a}_i$  — результат измерения  $a_i$  с введенными поправками. Оценку СКО результата измерения  $S(\bar{A})$  вычисляют по формуле

$$S(\bar{A}) = \sqrt{\sum_{i=1}^m b_i^2 S^2(\bar{a}_i)},$$

где  $S(\bar{a}_i)$  — оценка СКО результата измерений  $\bar{a}_i$ .

Доверительные границы  $\epsilon(P)$  случайной погрешности  $\bar{A}$  при нормальном распределении погрешностей  $\bar{a}_i$

$$\epsilon(P) = t(P, n_{\text{эф}}) S(\bar{A}),$$

где  $t(P, n_{\text{эф}})$  — коэффициент Стьюдента, соответствующий доверительной вероятности  $P$  (обычно 0,95, в исключительных случаях 0,99) и эффективному числу наблюдений  $n_{\text{эф}}$ , вычисляемому по формуле

$$n_{\text{эф}} = \frac{\left[ \sum_{i=1}^m b_i^2 S^2(\bar{a}_i) \right]^2 - 2 \sum_{i=1}^m \frac{b_i^4 S^4(\bar{a}_i)}{n_i + 1}}{\sum_{i=1}^m \frac{b_i^4 S^4(\bar{a}_i)}{n_i + 1}},$$

где  $n_i$  — число наблюдений при измерении  $a_i$ .

Доверительные границы  $\theta(P)$  НСП результата такого измерения, сумму  $\theta(P)$  и  $\epsilon(P)$  для получения окончательного значения  $\Delta(P)$  рекомендуется вычислять с использованием критериев и формул (3.3), (3.4), 3.6) — (3.8), в которых  $m, \theta$ , и  $S(x)$  заменяются соответственно на  $m, b_i \theta_i$  и  $S(\bar{A})$ .

*Косвенные измерения при нелинейной зависимости.* При некоррелированных погрешностях измерений  $a_i$ , используется метод линеаризации путем разложения функции  $f(a_1, \dots, a_m)$  в ряд Тейлора, то есть

$$f(a_1, \dots, a_m) = f(\bar{a}_1, \dots, \bar{a}_m) + \sum_{i=1}^m \frac{\partial f}{\partial a_i} \Delta a_i + R,$$

где  $\Delta a_i = a_i - \bar{a}_i$  — отклонение отдельного результата наблюдения  $a_i$  от  $\bar{a}_i$   
 $R$  — остаточный член.

Метод линеаризации допустим, если приращение функции  $f$  можно заменить ее полным дифференциалом. Остаточным членом

$$R = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^m \frac{\partial^2 f}{\partial a_i^2} (\Delta \bar{a}_i)^2$$
 пренебрегают, если

$$R < 0,8 \sqrt{\sum_{i=1}^m \left( \frac{\partial f}{\partial a_i} \right)^2 S^2(\bar{a}_i)},$$

где  $S(\bar{a}_i)$  — оценка СКО случайных погрешностей результата измерения  $a_i$ . При этом отклонения  $\Delta \bar{a}_i$ , должны быть взяты из возможных значений погрешностей и такими, чтобы они максимизировали  $R$ .

Результат измерения  $\bar{A}$  вычисляют по формуле  $\bar{A} = f(\bar{a}_1 \dots \bar{a}_m)$ .

Оценку СКО случайной составляющей погрешности результата такого косвенного измерения  $S(\bar{A})$  вычисляют по формуле

$$S(\bar{A}) = \sqrt{\sum_{i=1}^n \left( \frac{\partial f}{\partial a_i} \right)^2 S^2(\bar{a}_i)},$$

$a \in (P)$ - по формуле- (3.13). Значение  $n_{\text{эф}}$  границы ПСП  $\theta(P)$  и погрешность  $\Delta(P)$  результата косвенного измерения при нелинейном зависимости вычисляют так же, как и при линейной зависимости, но с заменой коэффициентов  $b_i$  на  $\partial f / \partial a_i$ .

*Метод приведения* (для косвенных измерений с нелинейной зависимостью) применяется при неизвестных распределениях погрешностей измерений  $a_i$  и при корреляции между погрешностями  $a_i$  для получения результата косвенного измерения и определения его погрешности. При этом предполагается наличие ряда  $l$  результатов наблюдений  $a_{ij}$  у измеряемых аргументов  $a_i$ . Сочетания  $a_{ij}$  полученных в  $j$ -м эксперименте, подставляют в формулу (3.12) и вычисляют ряд значений  $A_j$  измеряемой величины  $A$ . Результат измерения  $\bar{A}$  вычисляют по формуле

$$\bar{A} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n A_j.$$

Оценку СКО  $S(\bar{A})$  — случайной составляющей погрешности  $\bar{A}$  — вычисляют по формуле

$$S(\bar{A}) = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum_{j=1}^n (A_j - \bar{A})^2},$$

а  $\epsilon(P)$  — по формуле (3.11). Границы НСП  $\theta(P)$  и погрешность  $\Delta(P)$  результата измерения  $\bar{A}$  определяют описанными выше способами для нелинейной зависимости.

## 2. Выбор измерительных средств

При выборе измерительных средств и методов контроля изделий учитывают совокупность метрологических, эксплуатационных и экономических показателей. К метрологическим показателям относятся: допустимая погрешность измерительного прибора; цена деления шкалы; порог чувствительности; пределы измерения и др. К эксплуатационным и экономическим показателям относятся: стоимость и надежность измерительных средств; продолжительность работы (до ремонта); время, затрачиваемое на настройку и процесс измерения; масса, габаритные размеры и рабочая нагрузка.

### Выбор измерительных средств для контроля размеров

На рис. 3.3 показаны кривые распределения размеров деталей ( $y_{\text{тех}}$ ) и погрешностей измерения ( $y_{\text{мет}}$ ) с центрами, совпадающими с границами допуска. В результате наложения кривых ( $y_{\text{мет}}$ ) и  $y_{\text{тех}}$  происходит искажение кривой распределения  $y(\sigma_{\text{тех}}, \sigma_{\text{мет}})$ , появляются области вероятностей  $m$  и  $n$ , обуславливающие выход размера за границу допуска на величину  $s$ . Таким образом, чем точнее технологический процесс (меньше отношение  $IT / \Delta_{\text{мет}}$ ), тем меньше неправильно принятых деталей по сравнению с неправильно забракованными.

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

Решающим фактором является допускаемая погрешность измерительного средства, что вытекает из стандартизованного определения действительного размера как и размера, получаемого в результате измерения с допустимой погрешностью.

*Допускаемые погрешности измерения  $\delta_{\text{изм}}$*  при приемочном контроле на линейные размеры до 500 мм устанавливаются ГОСТ 8.051-81, которые составляют 35-20% от допуска на изготовление детали ИТ. По этому стандарту предусмотрены наибольшие допускаемые погрешности измерения, включающие погрешности от средств измерений, установочных мер, температурных деформаций, измерительного усилия, базирования детали. Допускаемая погрешность измерения  $\delta_{\text{изм}}$  состоит из случайной и неучтенной систематической составляющих погрешности. При этом случайная составляющая погрешности принимается равной  $2\sigma$  и не должна превышать 0,6 от погрешности измерения  $\delta_{\text{изм}}$ .

В ГОСТ 8.051-81 погрешность задана для однократного наблюдения. Случайная составляющая погрешности может быть значительно уменьшена за счет многократных наблюдений, при которых она уменьшается в  $\sqrt{n}$  раз, где  $n$  — число наблюдений. При этом за действительный размер принимается среднеарифметическое из серии проведенных наблюдений.

При арбитражной перепроверке деталей погрешность измерения не должна превышать 30% предела погрешности, допускаемой при приемке.

Значения допустимой погрешности измерения  $\delta_{\text{изм}}$  на угловые размеры установлены по ГОСТ 8.050-73.

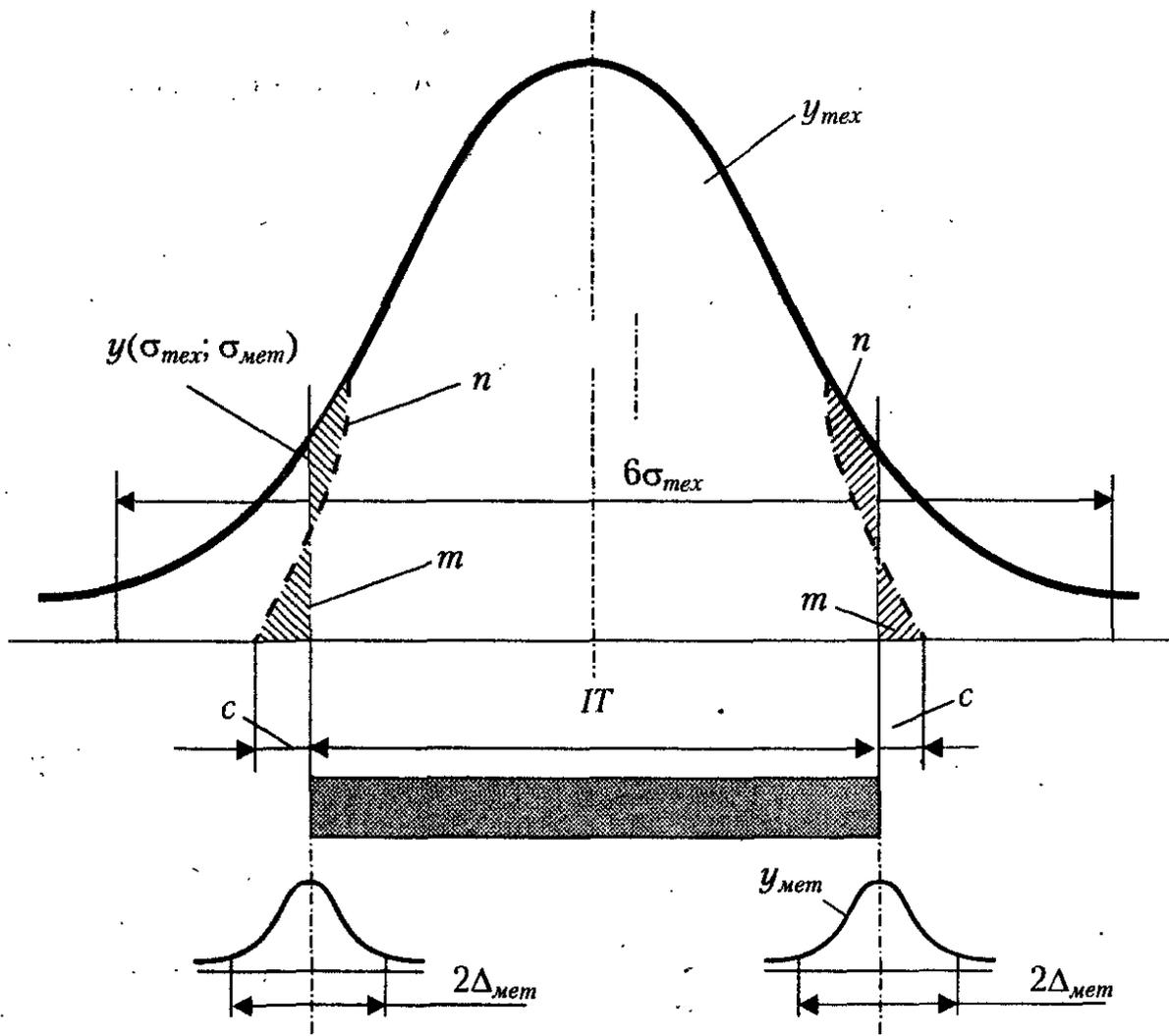


Рис. 3.3. Кривые распределения контролируемых параметров, построенные с учетом погрешностей измерения

Разрешается увеличение допустимой погрешности измерения, указанной в ГОСТ 8.051-81 и ГОСТ 8.050-73, при уменьшении допуска размера, учитывающего это увеличение, а также в случае разделения изделий на размерные группы для селективной сборки.

Установленные стандартом погрешности измерения являются наибольшими, которые можно допустить при измерении: они включают и себя случайные и неучтенные систематические погрешности измерения, все составляющие, зависящие от измерительных средств, установочных мер, температурных деформаций, базирования и т. д.

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

Случайная погрешность измерения не должна превышать 0,6 от допустимой погрешности измерения и принимается равной  $2\sigma$ , где  $\sigma$  — значение среднего квадратического отклонения погрешности измерения.

При допусках, не соответствующих значениям, указанным в ГОСТ 8.051-81 и ГОСТ 8.050-73, допустимую погрешность выбирают по ближайшему меньшему значению допуска для соответствующего размера.

Влияние погрешностей измерения при приемочном контроле по линейным размерам оценивается параметрами:

- $t$  — часть измеренных деталей, имеющих размеры, выходящие за предельные размеры, принята в числе годных (неправильно принятые);
- $p$  — часть деталей, имеющих размеры, не превышающие предельных размеров, забракованы (неправильно забракованные);
- $c$  — вероятностная предельная величина выхода размера за предельные размеры у неправильно принятых деталей.

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

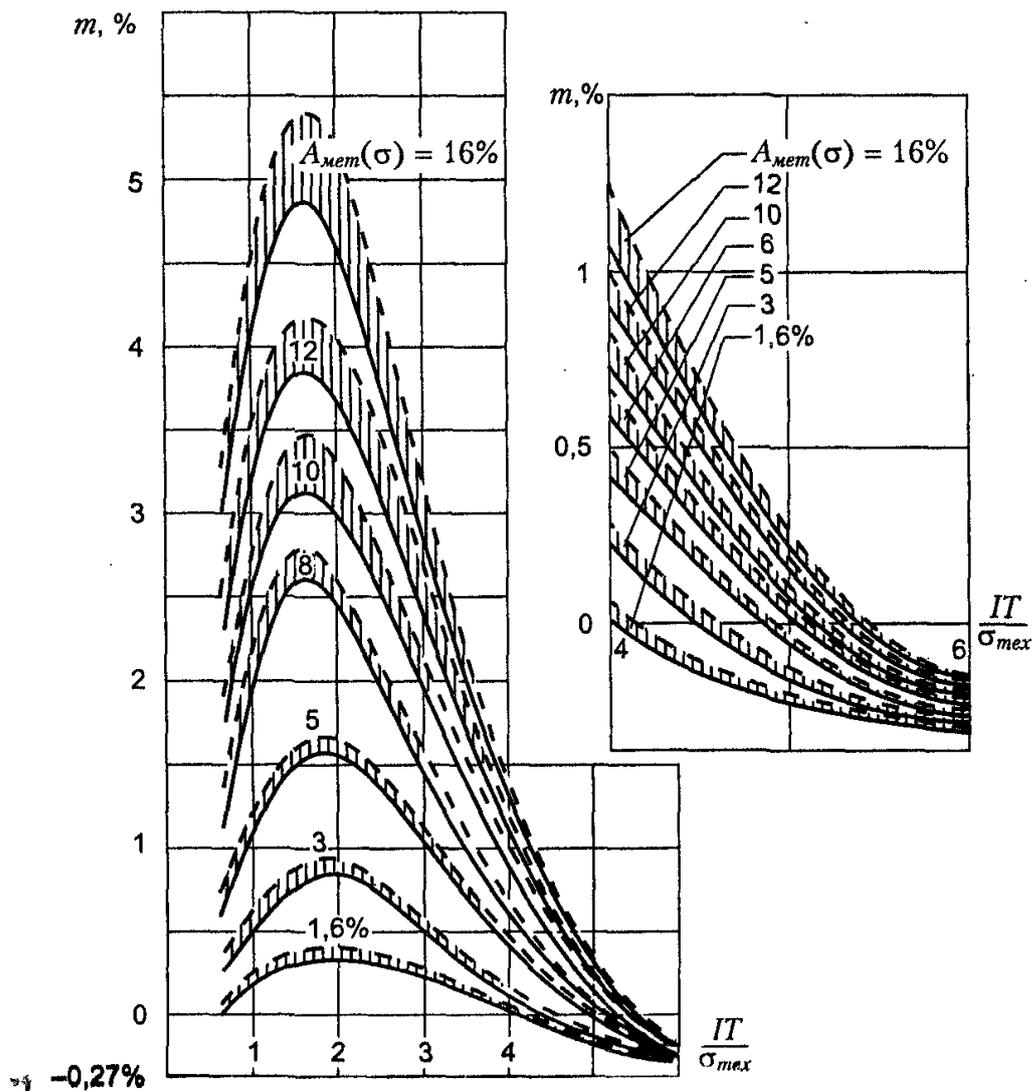


Рис. 3.4. График для определения параметра  $m$

Значения параметров  $t$ ,  $n$ ,  $c$  при распределении контролируемых размеров по нормальному закону приведены на рис. 3.4-3.6.

Сплошные линии соответствуют распределению погрешности измерения по нормальному закону, а пунктирные — по закону равной вероятности.

При неизвестном законе распределения погрешности измерения для параметров  $m, n$  и  $c$  рекомендуется принимать средние их значения, определенных по сплошной и пунктирной линиям.

Параметры  $m$  и  $c$  на графиках определены с доверительной вероятностью 0,9973.

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

Для определения  $\tau$  с другой доверительной вероятностью необходимо сместить начало координат по оси ординат.

Кривые графиков (сплошные и пунктирные) соответствуют определенному значению относительной погрешности измерения, равной

$$A_{мет(\sigma)} = \frac{\sigma}{IT} 100\% ,$$

где  $\sigma$  — среднее квадратическое отклонение погрешности измерения;  
 $IT$  — допуск контролируемого размера.

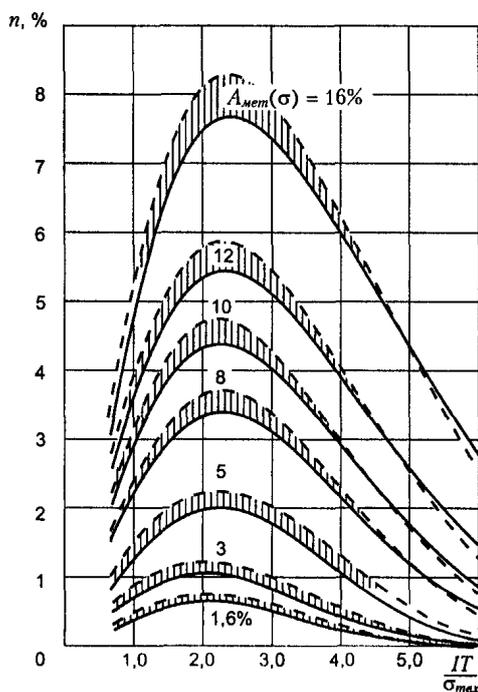


Рис. 3.5. График для определения параметра  $n$

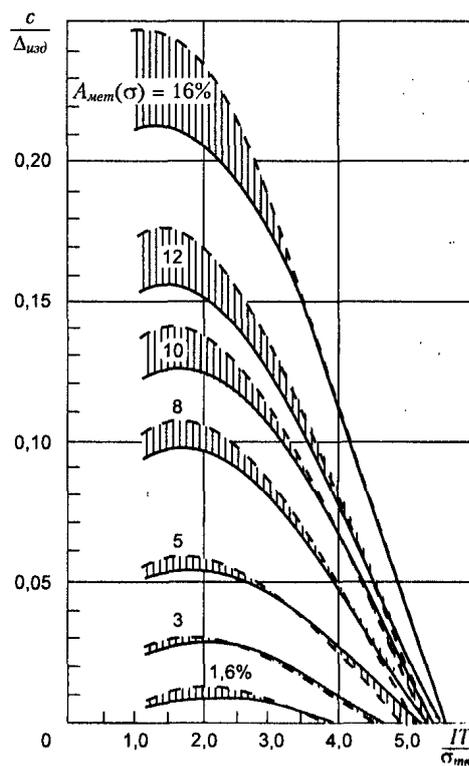


Рис. 3.6. График для определения параметра  $c$

При определении параметров  $\tau$ ,  $n$  и  $c$  рекомендуется принимать  $A_{мет(\sigma)} = 16\%$  для квалитетов 2-7,  $A_{мет(\sigma)} = 12\%$  — для квалитетов 8 и 9,  $A_{мет(\sigma)} = 10\%$  — для квалитетов 10 и грубее.

Параметры  $\tau$ ,  $n$  и  $c$  приведены на графиках в зависимости от значения  $IT/\sigma_{тех}$ , где  $\sigma_{тех}$  — среднее квадратическое отклонение погрешности изготовления. Параметры  $\tau$ ,  $n$ ,  $c$  даны при симметричном

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

расположении поля допуска относительно центра группирования контролируемых деталей. Для определения  $t$ ,  $n$  и  $c$  при совместном влиянии систематической и случайной погрешностей изготовления пользуются теми же графиками, но вместо значения  $IT / \sigma_{\text{тех}}$  принимается для одной границы  $(IT + 2\alpha_T) / \sigma_{\text{тех}}$ , а для другой —  $(IT - 2\alpha_T) / \sigma_{\text{тех}}$ , где  $\alpha_T$  — систематическая погрешность изготовления.

При определении параметров  $t$  и  $n$  для каждой границы берется половина получаемых значений.

Возможные предельные значения параметров  $t$ ,  $n$  и  $c/IT$ , соответствующие экстремальным значениям кривых (на рис. 3.4-3.6), приведены в табл. 3.5.

**Таблица 3.5**

$A_{\text{мет}}(\sigma)$	$t$	$n$	$c/IT$	$A_{\text{мет}}(\sigma)$	$t$	$n$	$c/IT$
1,60	0,37–0,39	0,70–0,75	0,01	10,0	3,10–3,50	4,50–4,75	0,14
3,0	0,87–0,90	1,20–1,30	0,03	12,0	3,75–4,11	5,40–5,80	0,17
5,0	1,60–1,70	2,00–2,25	0,06	16,0	5,00–5,40	7,80–8,25	0,25
8,0	2,60–2,80	3,40–3,70	0,10				

Первые значения  $t$  и  $n$  соответствуют распределению погрешностей измерения по нормальному закону, вторые — по закону равной вероятности.

Предельные значения параметров  $t$ ,  $n$  и  $c/IT$  учитывают влияние только случайной составляющей погрешности измерения.

ГОСТ 8.051-81 предусматривает два способа установления приемочных границ.

*Первый способ.* Приемочные границы устанавливаются совпадающими с предельными размерами (рис. 3.7, а).

**Пример.** При проектировании вала диаметром 100 мм оценено, что отклонения его размеров для условий эксплуатации должны соответствовать  $h6(100_{-0,022})$ . В соответствии с ГОСТ 8.051-81 устанавливают, что для размера вала 100 мм и допуска  $IT = 0,022$  мм допускаяемая погрешность измерения  $\sigma_{\text{изм}} = 0,006$  мм.

В соответствии с табл. 3.5 устанавливают, что для  $A_{\text{тех}}(\sigma) = 16\%$  и неизвестной точности технологического процесса  $\tau = 5,0$  и  $c = 0,25 IT$ , то есть среди годных деталей может оказаться до 5,0% неправильно принятых деталей с предельными отклонениями  $+0,0055$  и  $-0,0275$  мм. Если полученные данные не повлияют на эксплуатационные показатели вала, то на чертежах указывают первоначально выбранным квалитет. В противном случае назначают более точный квалитет или другое поле допуска в этом квалитете.

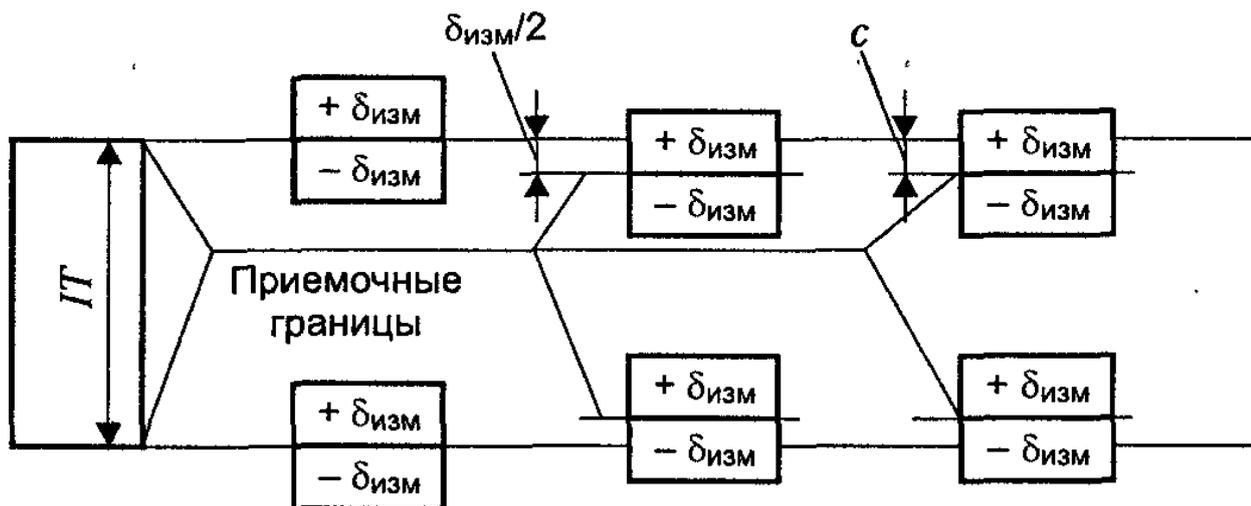


Рис.3.7. Варианты расположения приемочных границ по отношению к полю допуска

*Второй способ.* Приемочные границы смещают внутрь относительно предельных размеров.

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

При введении производственного допуска могут быть два варианта в зависимости от того, известна или неизвестна точность технологического процесса.

*Вариант 1.* При назначении предельных размеров точность технологического процесса неизвестна. В соответствии с ГОСТ 8.051-81 предельные размеры изменяются на половину допускаемой погрешности измерения (рис. 3.7, б). Для примера, рассмотренного выше, диаметр  $100_{-0,019}^{-0,003}$ .

*Вариант 2.* При назначении предельных размеров точность технологического процесса известна. В этом случае предельные размеры уменьшают на значение параметра  $c$  (рис. 3.7, в).

Предположим, что для рассмотренного выше примера  $IT / \sigma_{\text{тех}} = 4$  (при изготовлении имеется 4,5% брака по обеим границам:  $A_{\text{мет}}(\sigma) = 16\%$ ,  $c/IT = 0,1$ ;  $c = 0,0022$  мм.

С учетом данных диаметр вала принимают  $100_{-0,020}^{-0,002}$ .

**Выбор измерительных средств для других параметров**

Выбор измерительного средства определяется допуском на измерение, который зависит от допуска на контролируемый параметр. При отсутствии рекомендаций в НТД допуск на измерение принимают

$$\sigma_{\text{изм}} = 0,33T, \tag{3.14}$$

где  $T$  — допуск на контролируемый параметр.

Например, для измерения отклонений *формы и расположения* допустимую абсолютную погрешность измерения искомого средства измерения определяют по выражению

$$\Delta_{\text{пр}} = \sqrt{\delta_{\text{изм}}^2 - \sum_{i=1}^n \Delta_i^2}$$

где  $\delta_{\text{изм}}$  – абсолютная погрешность измерения точности формы или расположения, которая не должна быть больше  $0,33T_{\phi}$  (здесь  $T_{\phi}$  – заданный допуск формы или расположения);

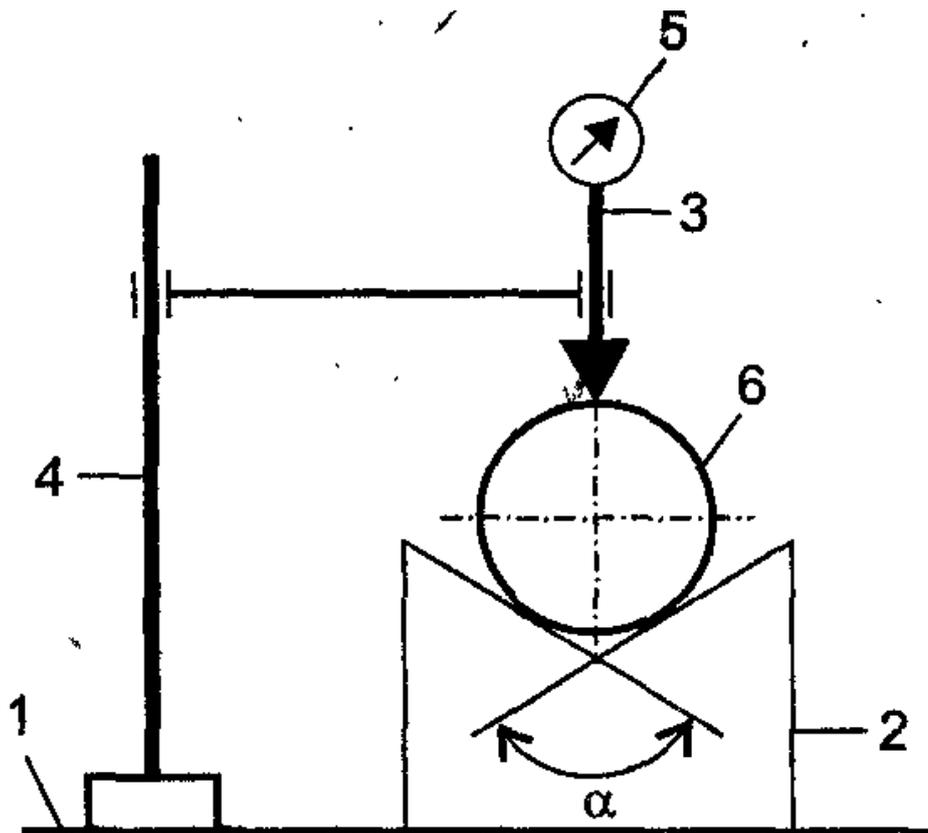
$\Delta_i$  - абсолютные погрешности  $n$  звеньев измерительного канала.

Приведенная погрешность средства измерения определяется как

$$\gamma = (\Delta_{\text{пр}} / X_N)100,$$

где  $X_N$  – нормирующий параметр, в качестве которого может служить диапазон измерений выбранного средства измерения.

**Пример.** Выбрать средство измерений для контроля отклонения от круглости вала  $\varnothing 86h9(-_{0,087})$  с допуском круглости 0,025 мм. Измеряемую деталь 6 (рис. 3.8) устанавливают в призму 2 с углом раскрытия  $\alpha$  и ощупывают наконечником измерительной головки 3, закрепленной в стойке 4, в направлении биссектрисы угла призмы. Измерительной головкой 5, тип которой необходимо выбрать, фиксируют максимальное изменение показаний  $\Delta A$  за один оборот контролируемой детали 6. При этом отклонение от круглости определяют как  $\Delta_{kp} = \Delta A / F_n$ , где  $F_n$  – коэффициент, зависящий от количества неровностей на периметре контролируемой детали и угла раскрытия призмы ( $F$  – величина табулированная).



**Рис. 3.8.** Схема к выбору средства измерения для контроля круглости  
Суммарная погрешность измерения отклонения от круглости в данной схеме не должна превышать  $\Delta_{кр} \leq \delta_{изм} \leq 0,33T_{\phi} = 0,33 \cdot 25 = 8,25$  мкм.

По формуле (3.15) допустимая погрешность прибора

$$\Delta_{пр} = \sqrt{\delta_{изм}^2 - \Delta_{шт}^2 - \Delta_{приз}^2 - \Delta_{пл}^2} = \sqrt{8,25^2 - 2^2 - 4^2 - 6^2} = 3,5 \text{ мкм},$$

где  $\Delta_{шт}$  — погрешность штатива 4 (для штативов с магнитным основанием типа ШМ-1 допустимый прогиб не превышает 2 мкм);

$\Delta_{приз}$  — погрешность призмы 2 (для призм класса 0 типа Ш-1 погрешность от непараллельности призмённых выемок боковым граням не превышает 4 мкм);

$\Delta_{пл}$  — погрешность поверочной плиты 1 (допуск плоскостности поверочной плиты класса 0 составляет 6 мкм).

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

Таким образом, для регистрации допуска круглости, равного 25 мкм, должно быть выбрано измерительное средство, имеющее погрешность не более 3,5 мкм. Такими средствами могут быть головки рычажно-зубчатые типа 1ИТ с ценой деления 0,001 и 0,002 мм и пределом измерения  $\pm 0,050$  мм с настройкой по концевым мерам длины. Предельная погрешность измерения рычажно-зубчатыми головками для диапазона размером НО-120 мм не превышает 2,5 мкм.

Исходными данными для выбора средств *теплофизических измерений* являются указанные в конструкторской (технологической) документации наименьшие и наибольшие размеры физической величины или допуск (например, задание условий: «температура стенки может изменяться в диапазоне от +400 до +800 °С или «давление в трубопроводе не должно превышать  $15^{+0,2}$  МПа»).

Допуск относительно номинального размера может располагаться односторонне, симметрично и асимметрично. Его расположение относительно номинального размера на выбор СИ не влияет. Действительные размеры измеряемой величины могут изменяться по различному закону.

В соответствии с исходными данными определяют допускаемые значения основной абсолютной, относительной или приведенной погрешностей средства измерения (или измерительной системы); назначают требования к габаритным размерам, массе, соединительным элементам, особенностям конструкции данного средства измерения; рассчитывают значения нижнего и верхнего пределов (диапазона) рабочей шкалы средства измерений.

**ПРИМЕЧАНИЕ**

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

Основной называют погрешность средства измерения, используемого в нормальных условиях. Приведенной погрешностью измерительного прибора называют отношение абсолютной погрешности к нормирующему значению  $\gamma = (\Delta / X_N) \cdot 100$ , где в качестве  $X_N$  может быть выбран предел или диапазон измерения, длина шкалы. Относительная погрешность прибора определяется зависимостью  $\delta = (\Delta / X_o) \cdot 100$ , где  $X_o$  — действительное значение измеряемой величины.

Допуск на измерение необходимо принимать по формуле (3.14).

Нижний предел рабочей части шкалы (диапазона) средства измерения (измерительной системы)

$$H_{ou} < \Pi_{\min} - \sigma_{\text{изм}}$$

где  $H_{ou}$  — значение нижнего предела рабочей части шкалы (диапазона);

$\Pi_{\min}$  — наименьшее значение измеряемой величины.

Верхний предел рабочей части величины

$$B_{ou} > \Pi_{\max} + \sigma_{\text{изм}}$$

где  $\Pi_{\max}$  — наибольшее предельное значение измеряемой величины.

Выбор пределов ( $H_{ou}$  и  $B_{ou}$ ) рабочей части шкалы средства измерения вызван необходимостью исключить возможное внесение в результаты измерения ошибок в случае, когда истинные значения измеряемой величины близки к граничным значениям рабочей части шкалы.

Предварительный выбор средства измерения производят по расчетным значениям допустимой погрешности измерения  $\sigma_{\text{изм}}$ , относительной  $\delta$  и основной приведенной  $\gamma$  погрешностей прибора, а окончательный — с учетом области значений влияющих величин,

габаритных размерах, массы, стоимости, особенностей эксплуатации, электромагнитной совместимости с окружающей средой и др.

Для проведения измерений в условиях, когда значения влияющих величин отличаются от установленных и нормативных документах на средства измерения конкретного вида, необходимо нормировать функции влияния, то есть указывать зависимости показаний средств измерений от влияющих параметров и на основе этого вносить поправки в показания средства измерения или применять корректирующие устройства.

### Примеры выбора средств измерений

**Пример 1.** Определить верхний предел измерения и основную приведенную погрешность датчика для измерения тяги газотурбинного двигателя (ГТД)  $P = (1,6 \pm 0,1)$  кН.

**Решение.** Наибольшая и наименьшая предельные тяги  $P_{\max} = 1,6 + 0,1 = 1,7$  кН;  $P_{\min} = 1,6 - 0,1 = 1,5$  кН; допуск  $T = 1,7 - 1,5 = 0,2$  кН; основная допустимая абсолютная погрешность датчика (допуск на измерение)  $\delta_{\text{изм}} = 0,33T = 0,33 \cdot 0,2 = 0,066$  кН; нижний предел рабочей части шкалы  $H_{\text{ди}} < 1,5 - 0,066 = 1,434$  кН; верхний предел рабочей части шкалы  $B_{\text{ди}} > 1,7 + 0,066 = 1,766$  кН.

Выбираем датчик усилий с верхним пределом измерения  $B_{\text{ди}} = 2$  кН.

Нормирующее значение для определения основной приведенной погрешности датчика принимаем  $X_N = 2,0$  кП.

Определяем предел допускаемой основной приведенной погрешности датчика  $\gamma = 0,066/2 \cdot 100 = +3,3\%$ , Ближайшим меньшим значением этой погрешности по отношению к найденному является  $\gamma = 2\%$ .

**Пример 2.** Определить основную приведенную погрешность и пределы измерения виброакселерометра для измерения виброускорения  $a = 50 \pm 2 \text{ м/с}^2$ .

**Решение.** Наибольшее предельное значение виброускорения  $a_{\max} = 50 + 2 = 52 \text{ м/с}^2$ ; наименьшее его значение  $a_{\min} = 50 - 2 = 48 \text{ м/с}^2$ ; допуск  $T = 52 - 48 = 4 \text{ м/с}^2$ ; основная допустимая абсолютная погрешность виброакселерометра (допуск на измерение)  $\sigma_{\text{изм}} = 0,33T = 0,33 \cdot 4 = 1,32 \text{ м/с}^2$ ; нижний предел рабочей части шкалы  $H_{\text{ди}} < 48 - 1,32 = 46,68 \text{ м/с}^2$ ; верхний предел  $B_{\text{ди}} > 52 + 1,32 = 53,32 \text{ м/с}^2$ .

В соответствии с данными по  $H_{\text{ди}}$  и  $B_{\text{ди}}$  выбираем виброакселерометр с верхним пределом измерения  $100 \text{ м/с}^2$ .

Основная приведенная погрешность этого прибора  $\gamma = \frac{1,32}{100} \cdot 100 = 1,32\%$ .

Измерительный преобразователь прибора для измерения ускорения ударного импульса должен выбираться с учетом соотношения  $f_p \geq 20 / \tau_{\text{и}}$ , где  $f_p$  — указанная в паспорте на прибор резонансная частота измерительного преобразователя, Гц;  $\tau_{\text{и}}$  — длительность измеряемого ударного импульса, с.

**Пример 3.** Определить пределы измерения и класс точности вольтметра для измерения напряжения питания бортовой сети самолета  $V = 27 \pm 2,7 \text{ В}$ .

**Решение.** Наибольшее предельное напряжение  $V_{\max} = 27 + 2,7 = 29,7 \text{ В}$ ; наименьшее  $V_{\min} = 27 - 2,7 = 24,3 \text{ В}$ ; допуск  $T = 29,7 - 24,3 = 5,4 \text{ В}$ ; основная допустимая абсолютная погрешность вольтметра (допуск на измерение)  $\sigma_{\text{изм}} = 0,33T = 0,33 \cdot 5,4 = 1,78 \text{ В}$ ; нижний предел рабочей

части шкалы  $H_{ди} < 24,3 - 1,78 = 22,52$  В; верхний предел  $V_{ди} > 27,9 + 1,78 = 31,48$  В.

В соответствии с данными по  $H_{ди}$  и  $V_{ди}$  выбираем вольтметр с верхним пределом измерения 40 В.

Основная приведенная погрешность этого прибора  $\gamma = \frac{1,78}{40} \cdot 100 = 4,42\%$ .

Найденному значению  $\gamma$  соответствует класс точности 5.

## ЛЕКЦИЯ по теме №1.2.8. Обеспечение единства измерений и государственная метрологическая служба РФ

### ВОПРОСЫ

1. Обеспечение единства измерений:

- ✚ Единство измерений;
- ✚ Поверка средств измерений;
- ✚ Калибровка средств измерений;
- ✚ Методы поверки (калибровки) и поверочные схемы;
- ✚ Сертификация средств измерений.

2. Государственная метрологическая служба РФ:

- ❖ Метрологические службы;
- ❖ Государственный метрологический контроль и надзор;
- ❖ Права и обязанности государственных инспекторов по обеспечению единства измерений.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Димов Ю.В. Метрология, стандартизация и сертификация. Учебник. 2-е изд. СПб.: ИД "Питер", 2011. – 432 с. (с.249-266).

## 1. Обеспечение единства измерений

Государственная система обеспечения единства измерений (ГСИ) — комплекс установленных стандартами взаимоувязанных правил, положений, требований и норм, определяющих организацию и методику проведения работ по оценке и обеспечению точности измерений.

### Единство измерений

Единство измерений — состояние измерений, при котором их результаты выражены в узаконенных единицах величин и погрешности измерений не выходят за установленные границы с заданной вероятностью.

Правовой основой обеспечения единства измерений служит законодательная метрология, которая представляет собой свод государственных актов и нормативно-технических документов различного уровня, регламентирующих метрологические правила, требования и нормы.

Технической основой ГСИ являются:

1.3.1. Система (совокупность) государственных эталонов единиц и шкал физических величин — эталонная база страны.

1.3.2. Система передачи размеров единиц и шкал физических величин от эталонов ко всем СИ с помощью эталонов и других средств поверки.

1.3.3. Система разработки, постановки на производство и выпуска в обращение рабочих СИ, обеспечивающих исследования, разработки, определение с требуемой точностью характеристик продукции, технологических процессов и других объектов.

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

1.3.4. Система государственных испытаний СИ (утверждение типа СИ), предназначенных для серийного или массового производства и ввоза из-за границы партиями.

1.3.5. Система государственной и ведомственной метрологической аттестации, поверки и калибровки СИ.

1.3.6. Система стандартных образцов состава и свойств веществ и материалов.

1.3.7. Система стандартных справочных данных о физических константах и свойствах веществ и материалов.

Различают децентрализованное и централизованное воспроизведение единиц.

При *децентрализованном* единицы воспроизводятся там, где выполняются измерения ( $m^2$  и др. производные физические величины).

При ***централизованном*** информация о единицах передается с места их централизованного хранения и воспроизведения. Оно осуществляется с помощью специальных технических средств, называемых эталонами.

Основные единицы (секунда, метр, килограмм, кельвин, кандела, ампер и моль) воспроизводятся только централизованно.

*Эталон единицы величины* — средство измерений, предназначенное для воспроизведения и хранения единицы величины (или кратных либо дольных значений единицы величины) с целью передачи ее размера другим средствам измерений данной величины.

От эталона единица величины передается *разрядным эталонам*, а от них — *рабочим средствам измерений*.

Эталоны классифицируют на первичные, вторичные и рабочие.

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

*Первичный эталон* — это эталон, воспроизводящий единицу физической величины с наивысшей точностью, возможной в данной области измерений на современном уровне научно-технических достижений. Первичный эталон может быть национальным (государственным) и международным.

Государственный эталон единицы величины — эталон единицы величины, признанный решением уполномоченного на то государственного органа в качестве исходного на территории Российской Федерации.

Международные эталоны хранит и поддерживает Международное бюро мер и весов (МБМВ). Важнейшая задача деятельности МБМВ состоит в систематических международных сличениях национальных эталонов крупнейших метрологических лабораторий разных стран с международными эталонами, а также и между собой, что необходимо для обеспечения достоверности, точности и единства измерений как одного из условий международных экономических связей.

Сличению подлежат как эталоны основных величин системы SI, так и производных. Установлены определенные периоды сличения. Например, эталоны метра и килограмма сличают каждые 25 лет, а электрические и световые эталоны — один раз в 3 года.

Первичному эталону соподчинены вторичные и рабочие (разрядные) эталоны. Размер воспроизводимой единицы вторичным эталоном сличается с государственным эталоном.

*Вторичные эталоны* (их иногда называют «эталон-копии») могут утверждаться либо Госстандартом РФ, либо государственными научными метрологическими центрами, что связано с особенностями их использования.

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

*Рабочие эталоны* воспринимают размер единицы от вторичных эталонов и, в свою очередь, служат для передачи размера менее точному рабочему эталону (или эталону более низкого разряда) и рабочим средствам измерений.

Каждый эталон состоит из воспроизводящей части и приспособлений или устройств, обеспечивающих съем и передачу информации о размере единицы.

*Стандартные образцы состава и свойств веществ и материалов* — это образцы веществ и материалов, химический состав или физические свойства которых типичны для данной группы веществ (материалов), определены с необходимой точностью, отличаются высоким постоянством и удостоверены сертификатом. Они играют важную роль в обеспечении единства измерений.

Стандартные образцы используются для градуировки, поверки и калибровки химического состава и различных свойств материалов (механических, теплофизических, оптических и др.). Они могут применяться непосредственно для контроля качества сырья и промышленной продукции путем сличения. По существу стандартные образцы служат для поддержания единства измерений, то есть являются средствами измерений.

Стандартные образцы подвергаются специальным испытаниям, по результатам которых они получают свидетельства (сертификат) и вносятся в государственный реестр стандартных образцов, а он, в свою очередь, является составной частью (разделом) Государственного реестра средств измерений.

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

Образцы состава и образцы свойств в зависимости от уровня утверждения подразделяются на: государственные, отраслевые и предприятий.

В России действует Государственная служба стандартных образцов (ГССО) в составе НПО ВНИИМ им Д. И. Менделеева.

*Передача информации о размерах единиц.* Правильность и точность заложенной в средства измерений информации о размере единиц устанавливается при утверждении типа средств измерений. Сохранность этой информации контролируется при первичной и всех последующих поверках средств измерений.

Использование для градуировки, аттестации и поверки средств измерений непосредственно государственных эталонов не допускается. Эти эталоны являются национальным достоянием, ценностями особой государственной важности.

По государственным эталонам устанавливаются значения физических величин вторичных эталонов. Среди вторичных эталонов различают: *эталон-свидетели*, предназначенные для проверки сохранности государственного эталона и замены его в случае порчи или утраты; *эталон сравнения*, применяемые для сличения эталонов, которые по тем или иным причинам не могут быть непосредственно сличены друг с другом; *эталон-копии*, используемые для передачи информации о размере *рабочим эталонам*.

На рис. 3.9 приведен один из вариантов схемы передачи информации о размере единицы от государственного эталона к средствам измерений, из которой видно, что от вторичных эталонов информацию о размере единицы получают нижестоящие эталоны (1-го, 2-го, 3-го и 4-го разрядов) и рабочие средства измерений.

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

Не допускается использование рабочих средств измерений для передачи информации о размере единицы другим средствам измерений. ,

Количество ступеней от рабочего эталона до средства измерений зависит от требуемой точности передачи размера единицы и особенностей данной единицы. Известно, что на каждой ступени передачи информации точность теряется в 3- 5 раз (иногда в 1,25-10 раз).

Таким образом, при многоступенчатой передаче эталонная точность не доходит до потребителя. Поэтому для высокоточных средств измерений число ступеней может быть сокращено вплоть до передачи им информации о размере единицы непосредственно от эталона-копии.

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний, метрологических поверок средств измерений

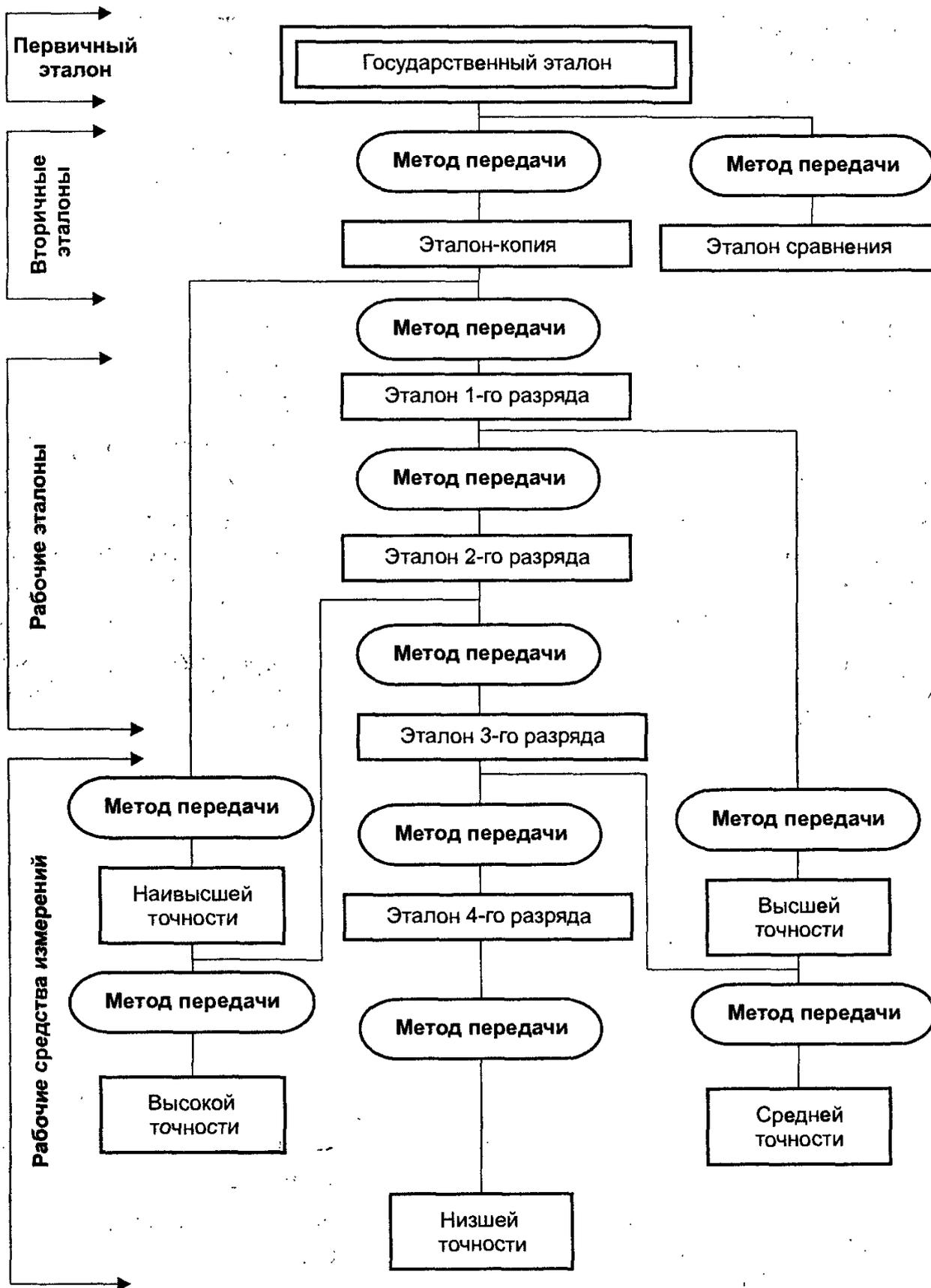


Рис. 3.9. Общий вид государственной поверочной схемы

### **Поверка средств измерений**

Поверка средств измерений - совокупность операций, выполняемых органами Государственной метрологической службы (другими уполномоченными на то органами, организациями) с целью определения и подтверждения соответствия средства измерений установленным обязательным требованиям.

Средства измерений, подлежащие метрологическому контролю и надзору, подвергаются поверке при выпуске из производства или ремонта, при ввозе по импорту, при продаже и выдаче на прокат, а также при эксплуатации.

Правилами ПР 50.2.006-94 «ГСИ. Поверка средств измерений. Организация и порядок проведения» установлено, что поверку средств измерений осуществляют органы государственной метрологической службы (ГМС), государственные научные метрологические центры (ГНМЦ), а также аккредитованные метрологические службы юридических лиц.

Поверка проводится физическим лицом, аттестованным в качестве поверителя в соответствии с правилами ПР 50.2.012-94 «ГСИ. Порядок аттестации поверителей средств измерений», по нормативным документам, утверждаемым по результатам испытаний с целью утверждения типа. Если средство измерений по результатам поверки признано пригодным к применению, то на него и (или) техническую документацию наносится оттиск *поверительного клейма* и (или) выдается «Свидетельство о поверке». Если по результатам поверки средство измерений признано не пригодным к применению, оттиск поверительного клейма и (или) «Свидетельство о поверке» аннулируются и выписывается «Извещение о непригодности» или делается соответствующая запись в технической документации.

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

Существуют следующие виды поверок:

- *Первичная поверка* — проводится для средств измерений утвержденных типов при выпуске их из производства, после ремонта, при ввозе из-за границы. При утверждении типа средств измерений единичного производства на каждое из них оформляется сертификат об утверждении типа; первичную поверку данные средства измерений не проходят.
- *Периодическая поверка* проводится для средств измерений, находящихся в эксплуатации, через определенные межповерочные интервалы. Необходимость поверки обусловлена возможностью утраты измерительным средством метрологических показателей из-за временных и других воздействий.

Периодичность поверки зависит от временной нестабильности метрологических характеристик (метрологической надежности), интенсивности эксплуатации и важности результатов, получаемых с помощью средств измерений. Существуют рекомендация ВНИИМС — МИ2273-93 «ГСИ. Области использования средств измерений, подлежащих поверке», согласно которой первый межповерочный интервал устанавливается при утверждении типа. Корректировка межповерочных интервалов с учетом специфики применения средств измерений производится в соответствии с методическими материалами МИ 1872-88 «ГСИ. Межповерочные интервалы образцовых средств измерений. Методика определения и корректировки», а также МИ 218-92 «ГСИ. Межповерочные и межкалибровочные интервалы средств измерений. Методика определения».

*Внеочередная поверка* проводится: при необходимости подтверждения пригодности средств измерений к применению; в

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

случае применения средств измерений в качестве комплектующего по истечении половины межповерочного интервала; в случае повреждения клейма или утери свидетельства о поверке; при вводе в эксплуатацию после длительной консервации (более одного межповерочного интервала); при отправке средств измерений потребителю после истечения половины межповерочного интервала.

- *Экспертная поверка* проводится при возникновении разногласий по вопросам, относящимся к метрологическим характеристикам, исправности средств измерений и пригодности их к применению.
- *Инспекционная поверка* выполняется в рамках государственного надзора или ведомственного контроля, для контроля качества первичных или периодических поверок и определения пригодности средств измерений к применению.

### **Калибровка средств измерений**

В настоящее время в Российской Федерации с переходом к рынку возникла необходимость поиска новых форм организации метрологической деятельности, которые соответствовали бы рыночным отношениям в экономике. Одной из таких форм является организация Российской системы калибровки (РСК), схема которой приведена на рис. 3.10.

Контроль средств измерений на предмет их пригодности к применению в мировой практике осуществляется двумя основными видами: поверкой и калибровкой.

Калибровка средства измерений — это совокупность операций, выполняемых калибровочной лабораторией с целью определения и подтверждения действительных значений метрологических характеристик и (или) пригодности средства измерений к применению в

сферах, не подлежащих государственному метрологическому контролю и надзору в соответствии с установленными требованиями.

Результаты калибровки средств измерений удостоверяются *калибровочным знаком*, наносимым на средства измерений, или *сертификатом о калибровке*, а также *записью в эксплуатационных документах*.

Поверку (обязательная госповерка) может выполнять, как правило, орган государственной метрологической службы, а калибровку — любая аккредитованная и не аккредитованная организация.

Поверка обязательна для средств измерений, применяемых в сферах, подлежащих Государственному метрологическому контролю (ГМК), калибровка же — процедура добровольная, поскольку относится к средствам измерений, не подлежащим ГМК. Предприятие вправе самостоятельно решать вопрос о выборе форм и режимов контроля состояния средств измерений, за

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

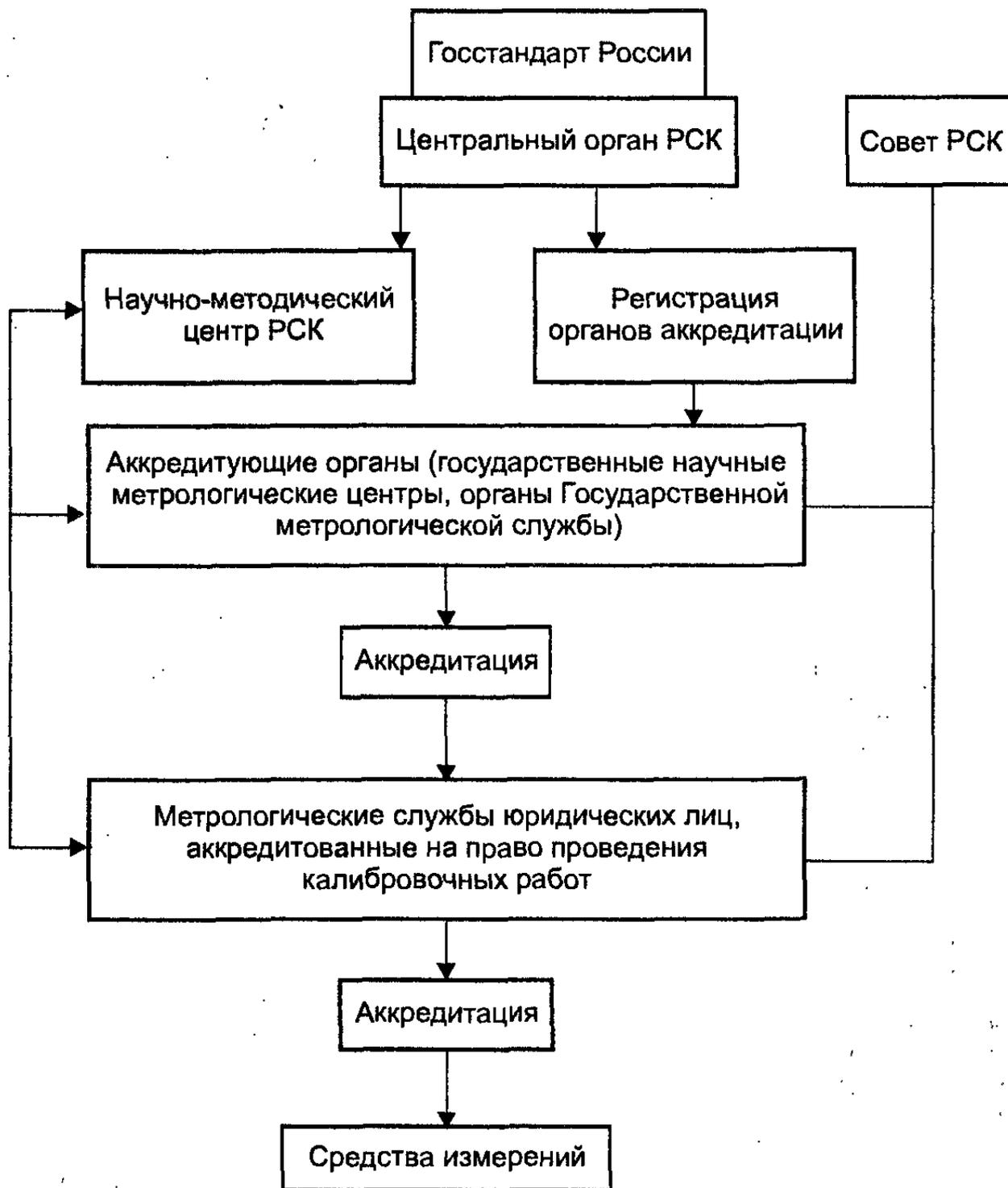


Рис. 3.10. Схема Российской службы калибровки

исключением тех областей применения средств измерений, за которыми государства всего мира устанавливают свой контроль — это здравоохранение, безопасность труда, экология и др.

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

Освободившись от государственного контроля, предприятия попадают под не менее жесткий контроль рынка. Это означает, что свобода выбора предприятия по «метрологическому поведению» является относительной, все равно необходимо соблюдать метрологические правила.

В развитых странах устанавливает и контролирует исполнение этих правил негосударственная организация, именуемая «национальной калибровочной службой». Эта служба берет на себя функции регулирования и разрешения вопросов, связанных со средствами измерений, не подпадающими под контроль государственных метрологических служб.

Желание иметь конкурентоспособную продукцию побуждает предприятия иметь измерительные средства, дающие достоверные результаты.

Внедрение системы сертификации продукции дополнительно стимулирует поддержание измерительных средств на соответствующем уровне. Это согласуется с требованиями систем качества, регламентируемыми стандартами ИСО серии 9000.

Построение Российской системы калибровки (РСК) основывается на следующих принципах: добровольность вступления; обязательность получения размеров единиц от государственных эталонов; профессионализм и компетентность персонала; самокупаемость и самофинансирование.

Основное звено РСК — калибровочная лаборатория. Она представляет собой самостоятельное предприятие или подразделение в составе метрологической службы предприятия, которое может осуществлять калибровку средств измерений для собственных нужд или

для сторонних организаций. Если калибровка проводится для сторонних организаций, то калибровочная лаборатория должна быть аккредитована органом РСК. Аккредитацию осуществляют государственные научные метрологические центры или органы Государственной метрологической службы в соответствии со своей компетенцией и требованиями, установленными в ГОСТ 51000.2-95 «Общие требования к аккредитующему органу».

Порядок аккредитации метрологической службы утвержден постановлением Госстандарта РФ от 28 декабря 1995 г. № 95 «Порядок аккредитации метрологических служб юридических лиц на право проведения калибровочных работ».

### **Методы поверки (калибровки) и поверочные схемы**

Допускается применение четырех *методов поверки (калибровки)* средств измерений: непосредственное сличение с эталоном; сличение с помощью компаратора; прямые измерения величины; косвенные измерения величины.

*Метод непосредственного сличения* поверяемого (калибруемого) средства измерения с эталоном соответствующего разряда широко применяется для различных средств измерений в таких областях, как электрические и магнитные измерения, для определения напряжения, частоты и силы тока. В основе метода лежит проведение одновременных измерений одной и той же физической величины поверяемым (калибруемым) и эталонным приборами. При этом определяют погрешность как разницу показаний поверяемого и эталонного средств измерений, принимая показания эталона за действительное значение величины. Достоинства этого метода в его простоте, наглядности,

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

возможности применения автоматической поверки (калибровки), отсутствии потребности в сложном оборудовании.

*Метод сличения с помощью компаратора* основан на использовании прибора сравнения, с помощью которого сличаются поверяемое (калибруемое) и эталонное средства измерения. Потребность в компараторе возникает при невозможности сравнения показаний приборов, измеряющих одну и ту же величину, например, двух вольтметров, один из которых пригоден для постоянного тока, а другой — переменного. В подобных ситуациях в схему поверки (калибровки) вводится промежуточное звено — компаратор. Для приведенного примера потребуется потенциометр, который и будет компаратором. На практике компаратором может служить любое средство измерения, если оно одинаково реагирует на сигналы как поверяемого (калибруемого), так и эталонного измерительного прибора. Достоинством данного метода специалисты считают последовательное во времени сравнение двух величин.

*Метод прямых измерений* применяется, когда имеется возможность сличить испытуемый прибор с эталонным в определенных пределах измерений. В целом этот метод аналогичен методу непосредственного сличения, но методом прямых измерений производится сличение на всех числовых отметках каждого диапазона (и поддиапазонов, если они имеются в приборе). Метод прямых измерений применяют, например, для поверки или калибровки вольтметров постоянного электрического тока.

*Метод косвенных измерений* используется, когда действительные значения измеряемых величин невозможно определить прямыми измерениями либо когда косвенные измерения оказываются более

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

точными, чем прямые. Этим методом определяют вначале не искомую характеристику, а другие, связанные с ней определенной зависимостью. Искомая характеристика определяется расчетным путем. Например, при поверке (калибровке) вольтметра постоянного тока эталонным амперметром устанавливают силу тока, одновременно измеряя сопротивление. Расчетное значение напряжения сравнивают с показателями калибруемого (поверяемого) вольтметра. Метод косвенных измерений обычно применяют в установках автоматизированной поверки (калибровки).

Для обеспечения правильной передачи размеров единиц измерения от эталона к рабочим средствам измерения составляют *поверочные схемы*, устанавливающие метрологические соподчинения государственного эталона, разрядных эталонов и рабочих средств измерений.

Схемы передачи информации о размерах единиц при их централизованном воспроизведении называют поверочными.

Поверочная схема — это утвержденный в установленном порядке документ, регламентирующий средства, методы и точность передачи размера единицы физической величины от государственного эталона или исходного образцового средства измерений рабочим средствам измерений.

Поверочная схема может быть: государственной и локальной.

*Государственная поверочная схема* устанавливает передачу информации о размере единицы в масштабах страны. Она возглавляется государственными или специальными эталонами.

*Локальные поверочные схемы* предназначены для метрологических служб министерств (ведомств) и юридических лиц. Все локальные

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

поверочные схемы должны соответствовать требованиям соподчиненности, которая определена государственной поверочной схемой. Государственные поверочные схемы разрабатываются научно-исследовательскими институтами Госстандарта РФ, держателями государственных эталонов. Локальная поверочная схема уточняет требования государственной схемы применительно к специфике данного ведомства. Она возглавляется рабочими эталонами.

Государственные поверочные схемы утверждаются Госстандартом РФ, а локальные — ведомственными метрологическими службами или руководством предприятия.

Рассмотрим содержание государственной поверочной схемы (см. рис. 3.9) в общем виде. Наименование эталонов и рабочих средств измерений обычно располагают в прямоугольниках (для государственного эталона прямоугольник двухконтурный). Здесь же указывают метрологические характеристики для данной ступени схемы. В нижней части схемы расположены рабочие средства измерений, которые в зависимости от их степени точности (то есть погрешности измерения) подразделяют на пять категорий: наивысшей точности; высшей точности; высокой точности; средней точности; низшей точности. Наивысшая точность обычно соизмерима со степенью погрешности средства измерения государственного эталона. В каждой ступени поверочной схемы регламентируется порядок (метод) передачи размера единицы. Наименования методов поверки (калибровки) располагаются в овалах, в которых также указывается допускаемая погрешность метода поверки (калибровки).

**Сертификация средств измерений**

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

В соответствии с законом РФ «О сертификации продукции и услуг» в России создана Система сертификации средств измерений, которая предусматривает добровольный характер сертификации и удостоверяет соответствие измерительных средств заявителей метрологическим правилам и нормам. При организации Системы принимались во внимание и в большой степени учитывались нормативные документы международных организаций ИСО, МЭК, ИЛАК, Системы сертификации ГОСТ Р и Системы сертификатов МОЗМ.

Сертификацию средств измерений осуществляют аккредитованные органы по сертификации средств измерений с учетом результатов испытаний, проведенных аккредитованными на техническую компетентность и независимость испытательными лабораториями (центрами). Проведение испытаний в лабораториях (центрах), аккредитованных только на техническую компетентность, допускается при наличии лицензионного соглашения с органом по сертификации, который в таких ситуациях несет ответственность за объективность и достоверность результатов. Аккредитацию органов по сертификации проводит центральный орган системы.

Организационно в Систему входят: Управление метрологии Госстандарта РФ — центральный орган системы, координационный совет, апелляционный комитет, научно-методический центр — Всероссийский научно-исследовательский институт метрологической службы (ВНИИМС), органы по сертификации, испытательные лаборатории (центры) средств измерений.

**Государственная метрологическая служба РФ**

**Метрологические службы**

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

По закону РФ «Об обеспечении единства измерений» Государственная метрологическая служба находится в ведении *Госстандарта России* и включает:

- государственные научные метрологические центры;
- органы Государственной метрологической службы на территории республик в составе Российской Федерации, автономной области, автономных округов, краев, областей, городов Москвы и Санкт-Петербурга.

*Госстандарт России* осуществляет управление деятельностью по обеспечению единства измерений в Российской Федерации. На него возложены следующие функции:

- межрегиональная и межотраслевая координация деятельности по обеспечению единства измерений в Российской Федерации;
- представление Правительству Российской Федерации предложений по единицам величин, допускаемым к применению;
- установление правил создания, утверждения, хранения и применения эталонов единиц величин;
- определение общих метрологических требований к средствам, методам и результатам измерений;
- осуществление государственного метрологического контроля и надзора;
- осуществление контроля за соблюдением условий международных договоров Российской Федерации о признании результатов испытаний и поверки средств измерений;
- руководство деятельностью Государственной метрологической службы и иных государственных служб обеспечения единства измерений;

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

- участие в деятельности международных организаций по вопросам обеспечения единства измерений.

Госстандарт России руководит службой времени и частоты и определения параметров вращения Земли (ГСВЧ), Государственной службой стандартных образцов состава и свойств веществ и материалов (ГССО) и Государственной службой стандартных справочных данных о физических константах и свойствах веществ и материалов (ГСССД) и координацию их деятельности.

В состав *Государственной метрологической службы* входят государственные научные метрологические центры, Всероссийский научно-исследовательский институт метрологической службы (ВНИИМС), научно-исследовательские институты и около 100 центров стандартизации и метрологии.

Научные центры являются держателями государственных эталонов, а также проводят исследования по теории измерений, принципам и методам высокоточных измерений, разработке научно-методических основ совершенствования российской системы измерений. Наиболее крупные среди научных центров:

- ❖ НПО ВНИИ метрологии имени Д. И. Менделеева (ВНИИМ, Санкт-Петербург), который специализируется на величинах длины и массы, а также механических, теплофизических, электрических, магнитных величинах, ионизирующих излучениях, давлении, физико-химическом составе и свойствах веществ.
- ❖ НПО ВНИИ физико-технических и радиотехнических измерений (ВНИИФТРИ, Московская область) занимается эталонами радиотехнических и магнитных величин, времени и частоты,

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

акустических и гидроакустических величин, а также низких температур, твердости и др.

- ❖ НПО ВНИИ оптико-физических измерений (ВНИИОФИ, Москва) — это центр по оптическим и оптико-физическим величинам, акустико-оптической спектрорадиометрии, измерениям в медицине, а также единицам измерения параметров лазеров.
- ❖ Сибирский государственный научно-исследовательский институт метрологии (СИИИМ, Новосибирск) занимается радиотехническими, электрическими и магнитными величинами.
- ❖ Уральский научно-исследовательский институт метрологии (УНИИМ, Екатеринбург) руководит исследованиями по стандартным образцам состава и свойств веществ и материалов.
- ❖ ВНИИМС специализируется на геометрических и электрических величинах, давлении, параметрах электромагнитной совместимости.
- ❖ Центрами эталонов являются также: ВНИИ расходомерии (Казань), специализация которого — расход и объем веществ; НПО «Эталон» (Иркутск), область деятельности которого — региональные эталоны времени и частоты, а также электрических величин; НПО Дальстандарт (Хабаровск), специализирующееся на региональных эталонах времени и частоты, а также теплофизических величинах.

Государственные научные метрологические центры несут ответственность за создание, совершенствование, хранение и применение государственных эталонов единиц величин, а также за разработку нормативных документов по обеспечению единства измерений.

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

Органы государственной метрологической службы осуществляют государственный метрологический контроль и надзор на территориях субъектов РФ.

*Государственная служба времени и частоты и определения параметров вращения Земли* осуществляет межрегиональную и межотраслевую координацию работ по обеспечению единства измерений времени, частоты и определения параметров вращения Земли.

*Государственная служба стандартных образцов состава и свойств веществ и материалов* осуществляет межрегиональную и межотраслевую координацию работ по разработке и внедрению стандартных образцов состава и свойств веществ и материалов в отраслях народного хозяйства в целях обеспечения единства измерений на основе их применения.

*Государственная служба стандартных справочных данных о физических константах и свойствах веществ и материалов* осуществляет межрегиональную и межотраслевую координацию работ по разработке и внедрению стандартных справочных данных о физических константах и свойствах веществ и материалов в науке и технике в целях обеспечения единства измерений на основе их применения.

*Метрологические службы государственных органов управления РФ и юридических лиц* (предприятия, организации, учреждения) создаются в необходимых случаях в установленном порядке для выполнения работ по обеспечению единства и требуемой точности измерений и для осуществления метрологического контроля и надзора.

Создание метрологических служб или иных организационных структур по обеспечению единства измерений является обязательным при выполнении работ в следующих сферах деятельности: здравоохранение, ветеринария, охрана окружающей среды, обеспечение безопасности

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

труда; торговые операции и взаимные расчеты между покупателем и продавцом; государственные учетные операции; обеспечение обороны государства; геодезические и гидрометеорологические работы; банковские, пилотные, таможенные и почтовые операции; производство продукции, поставляемой по контрактам для государственных нужд в соответствии с законодательством Российской Федерации; испытания и контроль качества продукции в целях определения соответствия обязательным требованиям государственных стандартов Российской Федерации; обязательная сертификация продукции и услуг; измерения, проводимые по поручению органов суда, прокуратуры, арбитражного суда, государственных органов управления Российской Федерации; регистрация национальных и международных спортивных рекордов.

Метрологические органы предприятий, являясь важнейшим звеном метрологической службы, призваны обеспечить необходимую и достаточно достоверную измерительную информацию при проектировании, испытании и контроле качества выпускаемой продукции. В связи с этим основными задачами метрологической службы предприятий являются следующие:

1. Обеспечение надлежащего состояния мер и измерительных приборов, применяемых на предприятии.
2. Систематическое изучение эксплуатационных качеств измерительной аппаратуры, установление надежности ее работы и оптимальных сроков периодической поверки.
3. Проведение надзора за состоянием и правильным применением измерительной и испытательной техники, за соблюдением установленных методов измерения и испытаний во всех подразделениях предприятия.

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

4. Активное участие в вопросах выбора и назначения средств измерений, активная политика в области автоматизации измерений и разработки, испытаний и внедрения новой прогрессивной измерительной техники, связанной с дальнейшим подъемом технического уровня предприятия и повышения качества выпускаемой продукции.
5. Выбор оптимального количества и состава контролируемых параметров и оптимальных норм точности измерения этих параметров.
6. Метрологическая экспертиза конструкторской и технологической документации на новые изделия и технологические процессы.

Основные задачи, права и обязанности таких служб независимо от форм собственности определены в правилах по метрологии ПР 50-732-93 «Типовое положение о метрологической службе государственных органов управления и юридических лиц».

В состав метрологических служб предприятий и организаций могут входить самостоятельные калибровочные лаборатории, а также структурные подразделения по ремонту средств измерений.

### **Государственный метрологический контроль и надзор**

В соответствии с законом «Об обеспечении единства измерений» государственный метрологический контроль и надзор осуществляются Государственной метрологической службой Госстандарта России.

Государственный метрологический контроль и надзор (ГМК и Н), осуществляемые с целью проверки соблюдения метрологических правил и норм, *распространяются на следующие сферы деятельности:*

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

- ✚ здравоохранение, ветеринарию, охрану окружающей среды, обеспечение безопасности труда;
- ✚ торговые операции и взаимные расчеты между покупателем и продавцом, в том числе на операции с применением игровых автоматов и устройств;
- ✚ государственные учетные операции;
- ✚ обеспечение обороны государства;
- ✚ геодезические и гидрометеорологические работы;
- ✚ банковские, налоговые, таможенные и почтовые операции;
- ✚ производство продукции, поставляемой по контрактам для государственных нужд в соответствии с законодательством Российской Федерации;
- ✚ испытания и контроль качества продукции в целях определения соответствия обязательным требованиям государственных стандартов Российской Федерации;
- ✚ обязательная сертификация продукции и услуг;
- ✚ измерения, проводимые по поручению органов суда, прокуратуры, арбитражного суда, государственных органов управления Российской Федерации;
- ✚ регистрация национальных и международных спортивных рекордов.

Все разрабатываемые, производимые, поступающие по импорту и находящиеся в эксплуатации средства измерений делятся на две группы:

1. предназначенные для применения в сферах распространения ГМК и Н. Эти средства измерений признаются годными для применения после их испытаний и утверждения типа и последующих первичной и периодической поверок;

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

2. не предназначенные для применения и не применяемые в сферах распространения ГМК и Н. За этими средствами измерений надзор со стороны государства (Госстандарта России) не проводится.

*Метрологический контроль и надзор* метрологическими службами юридических лиц осуществляются путем: .

- калибровки средств измерений;
- надзора за состоянием и применением средств измерений (аттестованными для выполнения измерений), эталонами единиц величин (применяемыми для калибровки средств измерений), соблюдением метрологических правил и норм нормативных документов по обеспечению единства измерений;
- выдачи обязательных предписаний, направленных на предотвращение, прекращение или устранение нарушений метрологических правил и норм;
- проверки своевременности представления средств измерений на испытания и целях утверждения типа средств измерений, а также на поверку и калибровку.

Государственный метрологический контроль включает:

1. Утверждение типа средств измерений.
2. Поверку средств измерений, в том числе эталонов.
3. Лицензирование деятельности юридических и физических лиц по изготовлению, ремонту средств измерений.

*Утверждение типа средств измерений* производится Госстандартом России в соответствии с постановлением Госстандарта России от 8.02.94 № 8 «Порядок проведения испытаний и утверждения типа средств измерений» и *удостоверяется сертификатом* об утверждении типа средств измерений. Срок действия этого сертификата устанавливается при его

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

выдаче Госстандартом России. Госстандарт *вносит* это средство измерений в *Государственный реестр*.

Испытания средств измерений для целей утверждения их типа проводятся государственными научными метрологическими центрами Госстандарта России, аккредитованными им в качестве государственных центров испытаний средств измерений.

Система испытаний и утверждения типа средств измерений включает:

- 1) испытания средств измерений с целью утверждения типа;
- 2) принятие решения об утверждении типа;
- 3) его государственную регистрацию (внесение в реестр) и выдачу сертификата об утверждении типа;
- 4) испытания средств измерений на соответствие утвержденному типу;
- 5) признание утверждения типа или результатов испытаний типа, проведенных компетентными организациями зарубежных стран;
- 6) информационное обслуживание потребителей измерительной техники, контрольно-надзорных органов и органов государственного управления.

*Программа испытаний средств измерений* может предусматривать только определение метрологических характеристик конкретных образцов средств измерений и экспериментальную апробацию методики поверки, что по объему работ равносильно метрологической аттестации.

На средство измерений утвержденного типа и на эксплуатационные документы, сопровождающие каждый экземпляр, наносится знак утверждения типа средств измерений установленной формы.

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

В соответствии с международными соглашениями России Госстандарт РФ может принять решение о признании результатов испытаний и утверждения типа, проведенных в зарубежной стране. Это обязательное условие для внесения типа импортируемого средства измерения в Государственный реестр и его применения в России.

Периодические контрольные испытания изделия на соответствие утвержденному типу проходят в следующих ситуациях:

- при наличии информации от потребителей об ухудшении качества выпускаемых или импортируемых средств измерений;
- при внесении в конструкцию или технологию изготовления средств измерений изменений, влияющих на их нормированные метрологические характеристики;
- при истечении срока действия сертификата об утверждении типа;
- по решению Госстандарта России при постановке на производство средства измерений изготовителем;
- в случае выдачи лицензии на право производства средств измерений предприятию, не являющемуся изготовителем образцов средств измерений, по результатам испытаний которых утвержден их тип.

*Поверка средств измерений.* Средства измерений (СИ), подлежащие государственному метрологическому контролю и надзору, подвергаются поверке органами Государственной метрологической службы при выпуске из производства или ремонта, при ввозе по импорту и эксплуатации. Допускаются продажа и выдача напрокат только поверенных средств измерений.

В отличие от процедуры утверждения типа, в которой участвует типовой представитель (СИ), *поверке подлежит каждый экземпляр СИ.*

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

Перечни групп средств измерений, подлежащих поверке, утверждаются Госстандартом России.

По решению Госстандарта России право поверки средств измерений может быть предоставлено аккредитованным метрологическим службам юридических лиц. Поверочная деятельность, осуществляемая аккредитованными метрологическими службами юридических лиц, контролируется органами Государственной метрологической службы по месту расположения этих юридических лиц.

Все выпускаемые средства измерения из производства или ремонта, ввозимые средства измерений и используемые в целях эксплуатации, проката или продажи, должны быть своевременно представлены на поверку. Положительные результаты поверки средств измерений удостоверяются *поверительным клеймом* или *свидетельством о поверке*.

Подробнее содержание поверки изложено далее.

*Лицензирование деятельности юридических и физических лиц по изготовлению, ремонту средств измерений* производится после проверки органами Государственной метрологической службы наличия необходимых для этой деятельности условий, а также соблюдения лицами, осуществляющими эту деятельность, установленных метрологических правил и норм. В случаях нарушения установленных условий лицензия аннулируется.

Лицензия выдается на срок не более пяти лет. Орган, выдавший лицензию, обязан проводить периодический контроль за соблюдением условий осуществления лицензируемой деятельности в порядке устанавливаемом им самим.

*С целью развития межгосударственных экономических и торговых связей странами СНГ* подписано «Соглашение о взаимном признании

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

результатов государственных испытаний и утверждения типа, метрологической аттестации, поверки и калибровки средств измерений, а также результатов аккредитации лабораторий, осуществляющих испытания, поморку или калибровку средств измерений». В развитие этого соглашения принят еще один документ «Порядок взаимного признания аккредитации лабораторий, осуществляющих испытания, поверку или калибровку средств измерений».

Государственный метрологический надзор осуществляется за:

- Выпуском, состоянием и применением средств измерений, аттестованными методиками выполнения измерений, эталонами единиц величин, соблюдением метрологических правил и норм.
- Количеством товаров, отчуждаемых при совершении торговых операций.
- Количеством фасованных товаров в упаковках любого вида при их расфасовке и продаже.

Государственный метрологический надзор осуществляется в объединениях, на предприятиях, в организациях и учреждениях независимо от их подчиненности и форм собственности в виде проверок выпуска, состояния и применения средств измерений, эталонов и соблюдения иных метрологических правил и норм. Это распространяется только на средства измерений, относящиеся к сфере распространения государственного метрологического контроля и надзора. Поэтому первоочередная задача каждого предприятия — составить перечень средств измерений, относящихся к этой классификационной группе, то есть подлежащих поверке.

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

Нормативными актами субъектов РФ метрологический надзор может быть распространен и на другие сферы деятельности.

*По первому вопросу* основным документом, регламентирующим Государственный надзор, являются правила ПР 50.2.002-94 «ГСИ. Порядок осуществления государственного метрологического надзора за выпуском, состоянием и применением средств измерений, аттестованными методиками выполнения измерений, эталонами и соблюдением метрологических правил и норм».

Основными задачами проверок являются:

- 1) определение соответствия выпускаемых средств измерений утвержденному типу;
- 2) определение состояния и правильности применения средств измерений, в том числе эталонов, применяемых для поверки средств измерений;
- 3) определение наличия и применения аттестованных методик выполнения измерений;
- 4) контроль соблюдения метрологических правил и норм в соответствии с Законом РФ «Об обеспечении единства измерений» и действующими нормативными документами по обеспечению единства измерений.

*По второму вопросу* основной документ — правила ПР 50.2.003-94 «ГСИ. Порядок осуществления государственного метрологического надзора за количеством товаров, отчуждаемых при совершении торговых операций».

Объектами государственного метрологического надзора за количеством товаров, отчуждаемых при совершении торговых операций, являются торговые операции, при которых товар переходит из собственности

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

одного юридического лица или физического лица в собственность другого юридического или физического лица, при этом количество товара определяется в результате измерений.

Нарушениями метрологических правил и норм при определении количества товаров, отчуждаемых при совершении торговых операций, считаются:

- отчуждение меньшего количества товара по сравнению с заявленным для продажи;
- отчуждение меньшего количества товара, чем то, которое соответствует заплаченной цене;
- использование средств измерений, не соответствующих типу, не поверенных, с нарушенным клеймом, дающих неправильные показания.

*По третьему вопросу* основным документом являются правила ПР 50.2.004-94 «ГСИ. Порядок осуществления Государственного метрологического надзора за количеством фасованных товаров в упаковках любого вида при их расфасовке и продаже». Метрологические требования к упаковке делятся на две группы: требования к индивидуальной упаковке и требования к партии товаров в упаковках. Требования к индивидуальной упаковке сводятся к тому, что недовложение товара в упаковку не должно превышать допустимого предела, указанного в нормативной документации на продукцию. Если такая норма не указана, то следует руководствоваться требованиями, содержащимися в международном документе МР № 87 МОЗМ «Содержимое нетто в упаковках». Данное требование легко контролируется традиционными способами. Правила ПР 50.2.004-94 вводят единственное дополнение — погрешность определения содержимого

нетто фасованного товара в каждой упаковке при осуществлении Государственного метрологического надзора не должна превышать  $1/5$  предела допускаемого отклонения (недовложения).

### **Права и обязанности государственных инспекторов по обеспечению единства измерений**

Государственный метрологический контроль и надзор осуществляют должностные лица Госстандарта России — главные государственные инспекторы и государственные инспекторы по обеспечению единства измерений Российской Федерации, республик в составе Российской Федерации, автономной области, автономных округов, краев, областей, городов Москвы и Санкт-Петербурга.

Осуществление государственного метрологического контроля и надзора может быть возложено на государственных инспекторов по надзору за государственными стандартами, действующих в соответствии с законодательством Российской Федерации и прошедших аттестацию в качестве государственных инспекторов по обеспечению единства измерений.

Государственные инспекторы, осуществляющие поверку средств измерений, подлежат аттестации в качестве поверителей.

При выявлении нарушений метрологических правил и норм государственный инспектор имеет право:

- ✚ запрещать применение и выпуск средств измерений неутвержденных типов или не соответствующих утвержденному типу, а также неповеренных;
- ✚ гасить поверительные клейма и аннулировать свидетельства о поверке в случаях, когда средства измерений дают неправильные показания или просрочены межповерочные интервалы;

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

- + при необходимости изымать средства измерений из эксплуатации;
- + представлять предложения по аннулированию лицензий на изготовление, ремонт, продажу и прокат средств измерений в случаях нарушения требований к этим видам деятельности;
- + давать обязательные предписания и устанавливать сроки устранения нарушений метрологических правил и норм;
- + составлять протоколы о нарушении метрологических правил и норм.

Государственные инспекторы, осуществляющие государственный метрологический контроль и надзор, обязаны строго соблюдать законодательство Российской Федерации, а также положения нормативных документов по обеспечению единства измерений и государственного метрологического контроля и надзора.

За невыполнение или ненадлежащее выполнение должностных обязанностей, превышение полномочий и за иные нарушения, включая разглашение государственной или коммерческой тайны, государственные инспекторы могут быть привлечены к ответственности в соответствии с законодательством Российской Федерации.

**ЛЕКЦИЯ ТЕМА №1.2.9 «ХАРАКТЕРИСТИКА  
МЕТРОЛОГИЧЕСКОЙ СЛУЖБЫ И МЕТРОЛОГИЧЕСКИХ  
РАБОТ»**

**ВОПРОСЫ**

1. Основные понятия и определения метрологии.

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

2. Задачи, работы, взаимоотношения и документация службы метрологии и автоматизации по анализу состояния измерений, контроля и испытаний.
3. Значение дисциплины «Автоматизация измерений, контроля и испытаний», ее цели, задачи и содержание, Рекомендуемая литература.

ЛИТЕРАТУРА

1. Греско А.А., Долгая Л.А. Справочник слесаря по контрольно-измерительным приборам. – К.: Техника, 1988. -176 с.
2. Рабочая программа по дисциплине «Автоматизация измерений, контроля и испытаний».

**1. Основные понятия и определения метрологии**

**Метрология** — наука об измерениях, методах и средствах обеспечения их единства и способах достижения требуемой точности. Под измерением понимают определение численного значения физической величины в принятых единицах опытным путем с помощью средств измерений.

**Средство измерения** — техническое средство (мера, контрольно-измерительный прибор или измерительный преобразователь), используемое при измерениях и имеющее нормированные метрологические свойства.

**Контрольно-измерительный прибор** — средство измерения, предназначенное для выработки сигнала измерительной информации в форме, доступной для непосредственного восприятия наблюдателем.

**Измерительный преобразователь** — средство измерения, предназначенное для выработки сигнала измерительной информации в форме, удобной для передачи, дальнейшего преобразования, обработки

и (или) хранения, но не поддающейся непосредственному восприятию наблюдателем.

**Единица измерения** — значение физической величины, принятой за основание для сравнения при количественной оценке величин такого же рода.

В данном справочнике все единицы измерения приведены в международной системе единиц (СИ). СИ включает основные и дополнительные единицы (табл. 1).

Табл.1

**Основные и дополнительные единицы СИ**  
**Наименование      Обозначение      Физическая величина**

*Основные единицы*

Метр	м	длина
Килограмм	кг	масса
Секунда	с	время
Ампер	А	сила тока
градус Кельвина	К	температура
Кандела	кд	сила света
моль	моль	количество вещества

*Дополнительные единицы*

Радан	рад	плоский угол
Стерadian	ср	телесный угол

Из-за несовершенства контрольно-измерительных приборов и методов

измерения возникают погрешности (ошибки), т. е. параметр не может быть

измерен абсолютно точно.

**Абсолютная погрешность** контрольно-измерительного прибора — разность между измеренным прибором ( $\dot{A}_B$ ) и действительным значением контролируемого параметра ( $\dot{A}_A$ ), выраженная в единицах измеряемого параметра

$$\pm \Delta \dot{A} = \dot{A}_B - \dot{A}_A.$$

В качестве действительного значения  $\dot{A}_A$  принимается значение, отсчитанное по образцовому прибору при проведении поверки.

Иногда для повышения точности измерений к показаниям контрольно-измерительного прибора прибавляют поправку, равную абсолютной погрешности, взятой с обратным знаком.

**Абсолютная погрешность измерительного преобразователя по входу** — это разность между расчетным ( $\dot{A}_D$ ) (определяется с помощью градуировочной характеристики преобразователя для каждого действительного значения параметра на выходе) и действительным ( $\dot{A}_A$ ) значением параметра на входе преобразователя

$$\pm \Delta \dot{A} = \dot{A}_D - \dot{A}_A.$$

**Абсолютная погрешность измерительного преобразователя по выходу** — это разность между действительным ( $\dot{A}_A$ ) и расчетным ( $\dot{A}_D$ ) значением параметра на выходе (определяется с помощью градуировочной характеристики преобразователя для каждого действительного значения параметра на входе)

$$\pm \Delta \dot{A} = \dot{A}_A - \dot{A}_D.$$

**Относительная погрешность контрольно-измерительного прибора** — это отношение абсолютной погрешности к действительному значению измеряемой величины, обычно выражается в процентах:

$$\delta = \pm (\Delta \dot{A} / \dot{A}_A) \cdot 100\%.$$

**Относительная погрешность измерительного преобразователя по входу (выходу)** — это отношение абсолютной погрешности по входу (выходу) к действительному значению параметра

на входе (расчетному значению параметра на выходе), обычно выражается в процентах.

**Приведенная погрешность контрольно-измерительного прибора** — это отношение абсолютной погрешности к нормирующему значению  $\dot{A}_N$ , обычно выражается в процентах:

$$\gamma = \pm (\Delta \dot{A} / \dot{A}_N) \cdot 100\% .$$

Нормирующее значение  $\dot{A}_N$  — условно принятое значение, которое может быть равным верхнему пределу измерений, диапазону измерений, длине шкалы, диапазону изменения выходного сигнала и др.

**Основная погрешность** — погрешность средств измерений, используемых в нормальных условиях эксплуатации (температура 20 °С, давление

101327 Па (760 мм. рт. ст.), влажность 60 %, отсутствие внешних электрических и магнитных полей, правильная установка прибора и т. д.).

**Дополнительная погрешность** — погрешность, появляющаяся из-за отличия условий эксплуатации средств измерений от нормальных (в пределах требований к рабочим условиям эксплуатации, оговоренных инструкцией завода-изготовителя).

**Предел допускаемой погрешности средства измерения** — наибольшая (без учета знака) погрешность, при которой оно может быть признано годным и допущенным к эксплуатации. Предел допускаемой погрешности задается в виде абсолютной или приведенной погрешности.

**Классом точности средств измерений** (ГОСТ 16263—70) называют их обобщенную характеристику, определяемую пределами допускаемых основных и дополнительных погрешностей, а также другими свойствами средства измерения, влияющими на точность.

**Класс точности контрольно-измерительного прибора** — это приведенная к диапазону измерения допускаемая в рабочих условиях эксплуатации

погрешность измерения, т. е.

$$\gamma_{\text{аіі}} = \Delta \hat{A}_{\text{аіі}} \cdot 100 / (\hat{A}_{\text{е}} - \hat{A}_{\text{і}}).$$

где  $\Delta \hat{A}_{\text{аіі}}$  — допустимая основная абсолютная погрешность;  $\hat{A}_{\text{е}}, \hat{A}_{\text{і}}$  — соответственно конечное и начальное значения диапазона измерения. Согласно ГОСТ 12997—76 средства измерений ГСП выпускаются следующих

классов точности: 0,01; 0,015; 0,02; 0,025; 0,04; 0,05; 0,06; 0,1; 0,15; 0,2; 0,25;

0,4; 0,5; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5 и 4. Класс точности контрольно-измерительного прибора обычно указывается на шкале прибора. Чем меньше цифра класса

точности, тем точнее прибор (при одном и том же диапазоне измерений).

**Вариация** — максимальная разность показаний контрольно-измерительного прибора, определенная при прямом  $\hat{A}'_{\text{Е}}$  и обратном  $\hat{A}''_{\text{Е}}$  ходе изменения параметра для одного и того же его действительного значения:

$$\hat{A} = \hat{A}'_{\text{Е}} - \hat{A}''_{\text{Е}}.$$

Вариация может быть выражена в процентах:

$$\hat{A} = (\hat{A}'_{\text{Е}} - \hat{A}''_{\text{Е}}) \cdot 100 / (\hat{A}_{\text{е}} - \hat{A}_{\text{і}}).$$

Причиной вариации является трение в опорах, износ кернов и подпятников, люфт в зубчатых передачах и др.

**Цена деления** — это разность значений между двумя соседними отметками шкалы, выраженная в единицах измерения.

Для равномерной шкалы:  $C = \frac{\dot{A}_e - \dot{A}_i}{n}$  ед/1 дел, где  $n$  — количество

делений.

**Инерционность** — это время, за которое показание прибора приходит в соответствие со значением измеряемой величины.

**Надежность** — это способность прибора сохранять свои характеристики в заданных пределах в течение требуемого промежутка времени. Неразрывно связана с надежностью **работоспособность** — состояние прибора, при котором он способен выполнять заданные функции с параметрами, установленными требованиями технической документации. Событие, заключающееся в нарушении работоспособности прибора, называется **отказом**.

**Безотказность** — это свойство прибора сохранять работоспособность в течение некоторого времени (наработки) без вынужденных перерывов.

## 2. Задачи, работы, взаимоотношения и документация службы метрологии и автоматизации по анализу состояния измерений, контроля и испытаний

В целях выполнения постановления Совета Министров СССР № 273 «Обеспечении единства измерений в стране» службы КИП и А предприятий преобразованы в службы метрологии и автоматизации (СМ и А), на предприятиях "некоторых отраслей промышленности — службы автоматизации и метрологии (СА и М).

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

Эти службы являются основным звеном ведомственной метрологической службы, которое является самостоятельным производственно-техническим подразделением предприятия, обеспечивающим решение всего комплекса задач по метрологическому обеспечению производства, по эксплуатации систем, приборов и средств автоматизации.

Структура СМ и А предприятия, ее состав, численность выбираются в зависимости от категории предприятия, уровня автоматизации, объема работ, выполняемых службой СМ и А, количества и состояния оборудования, квалификации персонала, перспективы развития автоматизации предприятия и т. д. Структура и численность СМ и А предприятия может быть определена в зависимости от количества средств измерения и автоматизации (табл.2), или по методике, приведенной в РДТП 18—4—80 [19], рекомендации которой могут быть применены для предприятий различных отраслей.

Для организации СМ и А предприятий могут быть использованы руководящие материалы Госстандарта СССР: МИ 185—79 «Методические указания по расчету численности подразделений ведомственных метрологических служб» РДТП 54—75, РДТП 57—75 «Типовые положения о ведомственных метрологических службах».

На мелких предприятиях (при наличии на предприятии средств измерения и автоматизации в количестве до 500 ед.) по согласованию с базовой организацией допускается создание группы метрологического обеспечения,

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

технического обслуживания и ремонта в составе службы главного энергетика. В этом случае обязанности метролога могут возлагаться на главного энергетика [5].

Таблица 2

Структура службы метрологии И автоматизации в зависимости от количества приборов и средств автоматизации

Должность	Категория	УИСП	ЕННО	СТБ
1. СМ и А предприятия (количество средств измерения и автоматизации от 500 до 2000 ед.)				
Ответственный за метрологию (инженер-метролог)	ИТР Рабочий	0—1 2—5		
Ремонтно-поверочное подразделение (группа):	»	0—1		
	»	2—3		
мастер	Рабочий	0—1		
слесарь (ремонтник)	»	0—1		
слесарь (поверитель)		2-8		
Подразделение (группа) техобслуживания				
мастер				
слесарь дежурный				
Итого...		4—15		
2. СМ и А объединения (предприятия) (количество средств измерения и автоматизации от 2000 до 4000 ед.)				
Начальник лаборатории МО, главный метролог	ИТР ИТР	1—1 0—1		
Подразделение' (группа) ремонта и поверки электрических и электронных средств измерений:	Рабочий	1—1		
	»	3—5		
ст. инженер (руководитель группы)	»	0—1		
мастер	Рабочий	1—1		
слесарь (ремонтник)	»	3—6		
слесарь (поверитель)	»	0-1		
слесарь (ремонтник)	Рабочий	1—2		
слесарь (поверитель)	»	5—7		
Подразделение (группа) ремонта и поверки средств измерения точной механики и пневматики, теплотехнических:				
мастер (руководитель группы)				
слесарь (ремонтник)				

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

слесарь (поверитель)		
Подразделение (группа техобслуживания"		
мастер (руководитель группы)		
слесарь (дежурный)		
Итого ...		16—26
3. Базовое предприятие СМ и А (количество — от 4000 до 8000 ед.)		
Начальник центральной лаборатории, главный метролог	ИТР ИТР	1—1
Подразделение (группа) ремонта и поверки электрических и электронных средств измерения:	Рабочий » »	9—12
начальник подразделения (группы), зам. Начальника лаборатории		1—1
мастер		1—1
слесарь (ремонтник)		6—8
слесарь (поверитель)		1—2

Итого: 26—  
39

### ЗАДАЧИ СЛУЖБЫ МЕТРОЛОГИИ И АВТОМАТИЗАЦИИ

Основные задачи, решаемые СМ и А предприятия, могут быть сведены

в три основные группы: обслуживание систем, приборов и средств автоматизации; метрологическое обеспечение производства; развитие автоматизации

совершенствование метрологического обеспечения.

#### *Обслуживание систем, приборов и средств автоматизации*

Обеспечение технического обслуживания, снятия, установки, текущего

и капитального ремонта, поверки, монтажа и наладки (в дальнейшем — технических работ) включает следующие виды работ:

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

- Составление графиков технических работ и обеспечение выполнения этих графиков;
- Составление заявок на приборы, оборудование, запасные части, материалы, документацию;
- Контроль за поступлением приборов и средств автоматизации и измерения, обеспечение условий правильного их хранения, выдачи, составление соответствующих актов и рекламаций;
- Контроль за эксплуатацией и использованием средств измерения и автоматизации на предприятии, за их состоянием;
- Проведение технических работ силами СМ и Д предприятия в пределах, разрешенных органами Госстандарта;
- Обеспечение в других организациях ремонта средств измерений, на которые не получено право ремонта от органов Госстандарта;
- Контроль за качеством монтажных и наладочных работ и их соответствие технической документации при выполнении этих работ специализированными организациями, участие в испытаниях и приемка в эксплуатацию;
- Проведение монтажных и наладочных работ при внедрении новых систем и средств автоматизации персоналом СМ и А предприятия, наладочных работ перед пуском сезонных производств;
- Участие в рассмотрении причин аварий из-за отказов средств измерения и автоматизации и в разработке мероприятий по их устранению.
- Организация обучения производственного персонала предприятия правилами технической эксплуатации систем и средств измерения и автоматизации.

### **Метрологическое обеспечение производства**

Метрологический контроль и метрологическое обеспечение производства включает следующие виды работ:

- Составление графиков государственной и ведомственной поверок, согласование, утверждение и обеспечение их выполнения;
- Организация и проведение поверки в пределах прав, предоставленных предприятию органами Госстандарта;
- Техническое обеспечение и участие в государственных испытаниях, проводимых на базе предприятия;
- Организация и проведение поверки в органах Госстандарта и других организациях;
- Выполнение необходимых измерений при контроле за ходом технологических процессов, руководство работами, направленными на обеспечение единства и требуемой точности измерений, выполняемых подразделениями предприятия;
- Контроль за метрологическим обеспечением всей производственной деятельности предприятия (состояние и применение средств измерения и средств испытания продукции, методик измерений, метрологических правил);
- Обеспечение хранения, и сличения в установленном порядке рабочих эталонов и стандартных образцов состава и свойств вещества и материалов (при наличии разрешения органов Госстандарта),

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

поддержание в надлежащем состоянии образцовых средств измерения и их эксплуатация [19].

**Развитие автоматизации,  
совершенствование метрологического обеспечения**

Совершенствование метрологического обеспечения включает следующие виды работ:

1. Участие в разработке перспективных планов автоматизации производства, метрологического обеспечения предприятия.
2. Наблюдение за средствами измерения и автоматизации, анализ качественных показателей их работы.
3. Участие в выявлении и обосновании наиболее актуальных и экономически целесообразных объектов автоматизации.
4. Осуществление мероприятий по реконструкции средств измерения и автоматизации, их усовершенствованию (применение приборов с лучшими показателями, упрощения схем, более рациональное размещение, улучшение защиты и т. д.) собственными силами и с привлечением сторонних организаций.

**5.** Участие в работах по подготовке к аттестации и в испытаниях новых видов продукции.

6. Разработка технических заданий на проектирование и изготовление нестандартных средств измерения и автоматизации, стендов, приспособлений для осуществления необходимых испытаний и измерений.

7. Внедрение передового опыта в области автоматизации.

**ОСНОВНЫЕ РАБОТЫ, ПРОВОДИМЫЕ СЛУЖБОЙ МЕТРОЛОГИИ  
И АВТОМАТИЗАЦИИ ПРЕДПРИЯТИЯ**

Технические работы, проводимые СМ и А предприятия, кроме работ, связанных с внедрением новых средств измерения и автоматизации, подразделяются на внеплановые и планово-предупредительные.

Внеплановые работы сводятся, в основном, к оперативному ремонту, или замене отказавших средств измерения и автоматизации.

Планово-предупредительные работы включают: техническое обслуживание средств измерения и автоматизации, находящихся в эксплуатации; текущий и капитальный ремонт средств измерения и автоматизации; поверку средств измерения [19].

**Техническое обслуживание**

Техническое обслуживание (ТО) включает следующие виды работ:

- технический осмотр (внешний осмотр, очистка от пыли и остатков технологических продуктов, осмотр, очистка и поджатие клемм,

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

- ревизия кинематики и ее смазка, проверка плотности подсоединения трубных линий и исправности устройств дистанционной передачи данных, сохранности труб);
- проверку работоспособности, проверку по контрольным точкам (установки на «нуль»), выявление и устранение мелких дефектов, возникших в процессе эксплуатации;
  - замену диаграмм, очистку самопишущих устройств и заправку их чернилами, смазку механизмов движения, заливку или замену специальных жидкостей, устранение их течи;
  - проверку работы средств автоматизации в том случае, если обнаружено несоответствие в ходе технологического режима и показаниях средств измерения;
  - промывку измерительных камер, заправку ртутью дифманометров, исправление уплотнений и крепежа, проверку отборных устройств давления, расхода, сушку элементов средств измерения и автоматизации и зачистку контактов;
  - снятие средств измерения и автоматизации для ремонта и своевременное представление их на проверку;
  - проверку источников питания, показывающих и регистрирующих узлов средств измерения для анализа состава и свойств веществ и материалов;
  - чистку, смазку и проверку реле, датчиков, исполнительных механизмов, регуляторов всех систем и назначений, проверку на плотность и герметичность импульсных и соединительных линий, замену неисправных отдельных элементов и узлов, опробование их в работе;

Таблица 3

**Периодичность проведения работ по техническому обслуживанию  
и ремонту КИП**

КИП и А	П	Х	З	П	Х	З	П	Х	З
Уровнемеры	3	6	12	Реле и сигнализато- ры давления -	2	6	12		
Дифмаиометры:				Термометры:					
поплавковые	2	6	6	манометрические	2	4	12		
сильфонные	5	6	6	сопротивления	3	4	12		
мембранные	2	6	6	Регуляторы темпе- ратуры:			12		
Напоромеры, тягоме- ры	2	6	12	манометрические	2	4			
Манометры:				полупроводнико- вые	2	4	12		
общего назначения	2	6	6	Термопары	3	4	12		
сильфонные	2	6	12	Газоанализаторы	1	4	6		
грузопоршневые	1	6	12	Плотномеры	3	5	6		
Регуляторы давле- ния непрямого дей- ствия	1	6	12	Влагомеры	3	5	6		

- проверку наличия питания (электрического, пневматического и др.), его качественных параметров в схемах управления, сигнализации, блокировки и защиты, опробование звуковой и световой сигнализации;
- проверку срабатывания схем и правильность заданий установок на их срабатывание и другие проверки, связанные с особенностями конкретных схем;
- осмотр щитов автоматизации, блокировочных устройств, средств сигнализации и защиты.

Работы по ТО проводятся персоналом СМ и А предприятия. Выполнение отдельных операций (смена диаграммной бумаги, заливки чернил и т. д.) может проводиться эксплуатационным (техническим) персоналом. Работы

по ТО средств автоматизации проводятся персоналом СМ и А совместно со службами механика и энергетика. Разграничение работ по виду, периодичность их выполнения приведены в табл. 3.

### **Текущий ремонт**

Текущий ремонт может включать часть работ по ТО и дополнительные работы, а именно:

- замену элементов средств измерения и автоматизации, отработавших ресурс, устранение мелких поломок;
- частичную разборку и регулировку подвижных систем, исправление или замену поврежденных деталей (пружин, трубок, винтов, крепежных деталей), чистку и смазку узлов;
- проверку качества изоляции и состояния цепей измерения и питания средств измерения и автоматизации;
- частичную разборку и сборку измерительных систем с заменой отдельных непригодных деталей (колец, винтов, стрелок);
- исправление уплотнений, устранение люфтов в отдельных механизмах, набивку сальников, замену стекол, шкал;
- устранение неисправностей в сочленении подвижных деталей, проверку действия вибропреобразователей, усилителей, электродвигателей, подвижных контактов и ртутных переключателей, настройку регулирующей части средств измерения и автоматизации.

При текущем ремонте измерительной части средств измерений они обязательно подвергаются поверке.

### **Капитальный ремонт**

Капитальный ремонт средств измерения и автоматизации может включать часть работ, предусмотренных при текущем ремонте, и дополнительные

работы:

- установку и регулировку шкал или циферблатов;
  - ремонт корпусов с рихтовкой установочных поверхностей;
  - полную разборку и сборку измерительной части и отдельных узлов и средств измерения, промывку, ремонт и замену деталей (подпятников, пружин, подвесок, грузов, корректора и др.), значительный ремонт узлов средств измерения и автоматизации или полную их замену;
  - проверку измерительной схемы средств измерения, регулировку и подгонку показаний прибора по контрольным точкам, подготовку средств измерения для сдачи поверителю;
  - разборку и сборку механизмов записи средств измерения, их ревизию, чистку и замену,
  - ремонт реле, датчиков, исполнительных механизмов, регуляторов электрической и электронной аппаратуры или замену их более совершенными;
- перемонтаж схем, замену вышедших из строя импульсных линий и электропроводки в схемах управления, сигнализации, блокировок и защиты.

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

Ремонт средств измерения и автоматизации проводится, как правило, при остановке и, ремонте технологического оборудования.

Остановка технологического оборудования бывает аварийная и плановая.

При аварийной остановке выполняют работы, которые нельзя выполнить при эксплуатации оборудования. Техническому обслуживанию и ремонту при этом подлежат те узлы средств автоматизации, исправность которых вызвала сомнение при работе технологического оборудования.

При плановой остановке после отключения демонтируют те средства измерения и автоматизации, кабельные и трубные проводки, которые расположены вблизи технологического оборудования и могут быть повреждены при его ремонте.

Ремонт выполняется специализированными звеньями предприятия или организациями, имеющими:

- регистрационное удостоверение на право ремонта средств измерения, выданное органами Госстандарта;
- средства поверки (образцовые и вспомогательные средства измерения, приспособления, устройства и т. д.);
- персонал, подготовленный и допущенный к проведению ремонта и поверки;
- необходимую нормативную и техническую документацию, поверочные схемы; помещения, обеспечивающие согласно

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

нормативным требованиям правильное проведение ремонта и поверки.

При ремонте в первую очередь проводят работы, которые не могут быть выполнены на работающем оборудовании. Например, ремонт отборных устройств, регулирующих органов, сужающих устройств и т. д. Во вторую очередь выполняют работы, выполнение которых на действующем оборудовании связано со значительными трудностями или опасностью. В третью очередь осуществляют ремонт систем и средств измерения и автоматизации, на которых отсутствует эксплуатационный резерв и остальные.

### **Поверка**

Под поверкой понимают совокупность операций, проводимых с целью установления соответствия метрологических характеристик средств измерения ГОСТам или техническим условиям завода-изготовителя.

Поверка средств измерений, как и другие формы метрологического надзора, регламентирована государственным стандартом [15].

Метрологический надзор в нашей стране осуществляется государственной метрологической службой Госстандарта СССР и ведомственными метрологическими службами путем проведения поверки средств измерения, метрологической ревизии и метрологической экспертизы.

Поверка, в зависимости от назначения поверяемых средств измерения, может быть государственной и ведомственной.

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

Государственной поверке на предприятиях подлежат средства измерения, применяемые в органах ведомственной метрологической службы в качестве образцовых; принадлежащие предприятию и используемые в качестве образцовых органами государственной метрологической службы; средства измерения, используемые после ремонта, выполненного для сторонних организаций; применяемые для измерений, связанных с учетом материальных, ценностей, взаимными расчетами, охраной здоровья трудящихся и обеспечением безопасности и безвредности труда.

Ведомственной поверке подлежат средства измерения, которые не подвергаются государственной поверке.

Поверку проводят только органы метрологической службы или СМ и А предприятий, имеющих регистрационное удостоверение на право поверки конкретных средств измерений.

Регистрационное удостоверение на право поверки и на право ремонта выдается территориальным органам Госстандарта СССР на основании заявления предприятия [15]. К заявлению прилагаются: копия положения о метрологической службе предприятия, утвержденного и согласованного в установленном порядке; копия приказа о назначении главного метролога предприятия; справка предприятия о наличии квалифицированного персонала, имеющего право проводить ремонт и поверку, о наличии помещений, образцовых средств измерения, документации, схем.

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

После проверки справки территориальным органом составляется акт и выдается удостоверение на право ремонта и поверки указанных в удостоверении средств измерения сроком на 5 лет. В удостоверении указывается право проведения ремонта и поверки только для себя или для себя и сторонних организаций.

Изменение в удостоверении номенклатуры средств измерения на право ремонта и поверки оформляется на основании вновь поданного заявления в том же порядке.

К проведению поверки средств измерения допускаются лица, прошедшие специальное обучение и сдавшие экзамены в учебных заведениях Госстандарта, сдавшие экстерном экзамены в органах государственной метрологической службы, которым Госстандартом поручено проведение аттестации поверителей; сдавшие экзамены комиссии, образуемой руководителем предприятия с участием представителя органа государственной метрологической службы, по программам, согласованным с этим органом.

Предприятие, не имеющее регистрационного удостоверения, обслуживается базовым метрологическим органом своей отрасли, или представляет средства измерения на поверку в органы государственной метрологической службы. При направлении средств измерения в эти органы представляется паспорт на них, описание, последнее свидетельство о поверке.

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

При проведении органами метрологической службы поверки на предприятии последнее предоставляет помещение, оборудование и вспомогательный персонал, необходимые для поверки. Представляемое оборудование (поверочные установки, образцовые средства измерения и т.д.) предприятие должно хранить под пломбой органов метрологической службы и использовать только с их разрешения.

Средства измерения должны подвергаться первичной периодической, внеочередной и инспекционной поверкам.

Первичная поверка проводится при выпуске средств измерений в обращение из производства и ремонта.

Периодическая поверка проводится при эксплуатации средств измерений и хранении через определенные межповерочные интервалы.

Периодичность поверки устанавливается, для средств измерений, подлежащих государственной поверке, — Госстандартом или органом государственной метрологической службы; для средств измерений, подлежащих ведомственной поверке, — главным метрологом или руководителем ведомственной метрологической службы.

При установлении периодичности учитывают стабильность показаний, условия эксплуатации, степень загруженности средств измерений. Например, на предприятиях пищевой промышленности средства измерения, находящиеся в эксплуатации, проходят поверку, как правило, 1 раз в год (см. табл. 3). Потенциометры, мосты, электроизмерительные приборы поверяются через каждые 6 мес.

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

Сроки проведения поверок отображаются в годовых календарных графиках — отдельно на средства измерений, представляемые в ведомственные органы метрологической службы, отдельно — в государственные. Графики согласовываются с руководителями этих органов.

Межповерочные интервалы для средств измерения, находящихся на хранении, составляют:

- а) для средств измерения, поступивших на хранение после выпуска из производства, — не более гарантийного срока,
- б) для средств измерения, бывших в эксплуатации,— не более удвоенных межповерочных интервалов, установленных для аналогичных средств измерения в эксплуатации.

Средства измерения, находящиеся на длительном хранении, периодической поверке могут не подвергаться. Поверка в этом случае проводится перед их установкой.

Внеочередная поверка проводится:

- при эксплуатации или хранении вне зависимости от сроков периодической поверки в случае необходимости удостовериться в исправности средств измерения;
- при вводе в эксплуатацию импортных средств измерения: при корректировке межповерочных интервалов;
- при установке средств измерения в качестве комплектующих после половины гарантийного срока;
- при повреждении поверительного клейма, пломбы, утере документа с регистрацией последней поверки;

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

- при вводе в эксплуатацию прямо со склада после хранения" или после транспортировки.

Инспекционная поверка проводится для установки исправности средств измерения при проведении метрологической ревизии на предприятиях, складах, базах.

Метрологическая ревизия проводится органами государственной метрологической службы для определения соответствия средств измерения и методик измерения, применяемых на предприятии, современным требованиям.

Ревизии подвергаются предприятия, осуществляющие ремонт, хранение, эксплуатацию средств измерения. При этом на предприятиях, осуществляющих эксплуатацию, должны быть проверены: наличие технической документации, где оговорены требования к средствам измерения; обеспеченность средствами и методами измерения технологических процессов, контроля качества выпускаемой продукции, учета материальных ценностей и т. д.; правильность монтажа средств измерения, их установки, применения; соблюдение условий эксплуатации; исправность; организация метрологической службы (структура, наличие кадров, их подготовка, наличие оборудования, помещений, соответствие выполняемых работ регистрационному удостоверению); наличие и правильность ведения документации, охват ею всех средств измерения, находящихся в эксплуатации; наличие образцовых средств измерения, их состояние и применение согласно требованиям нормативных документов; выполнение предложений, данных при ранее проведенной ревизии.

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

При проведенной метрологической ревизии в местах хранения средств измерения должны быть проверены: соблюдение условий хранения средств измерения в соответствии с требованиями стандартов, технических условий; комплектность средств измерения; соблюдение положенных межповерочных интервалов; исправность средств измерения.

При проведении метрологической ревизии на предприятиях, проводящих ремонт средств измерения, должны быть проверены: соответствие номенклатуры ремонтируемых средств измерения регистрационному удостоверению; качество ремонта средств измерения, качество первичной поверки после выхода из ремонта. При выявлении недостатков по проверке перечисленных условий органы государственной метрологической службы имеют право применять различные меры воздействия — от обязательных для предприятия указаний об устранении обнаруженных нарушений в определенный срок до аннулирования регистрационного удостоверения на право ремонта и поверки.

**ВЗАИМООТНОШЕНИЯ СЛУЖБЫ МЕТРОЛОГИИ  
И АВТОМАТИЗАЦИИ ПРЕДПРИЯТИЯ  
С ДРУГИМИ ПОДРАЗДЕЛЕНИЯМИ И ОРГАНИЗАЦИЯМИ**

Взаимоотношения СМ и А предприятия выражаются в ее административных и материально-технических связях со службами и подразделениями предприятия и организациями.

Для упорядочения этих взаимоотношений, улучшения организационной деятельности подразделений и служб предприятия в

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

метрологическом обеспечении производства функции их разграничиваются, что способствует своевременному и качественному проведению всех технических работ, создает надежную работу систем и средств измерения и автоматизации, предотвращает нарушения технологических режимов и техники безопасности. Полностью эти функции оговорены в Методических указаниях [19].

**Служба метрологии и автоматизации** предприятия, кроме технических работ, проводит:

- ремонт и ТО соединительных линий после отборных устройств;
- снятие и установку средств измерения и автоматизации, для которых не требуется остановка технологического оборудования, при этом подключение оборудования, сварка и другие специальные работы выполняются соответствующими службами;
- ремонт и ТО средств и систем автоматизации, систем сигнализации, блокировок и защиты, включая входящие в их состав щиты, пульта и измерительные линии, ремонт и ТО контрольных и импульсных линий до первичных преобразователей, от первичных преобразователей до обособленных средств измерения и автоматизации, щитов;
- ремонт и ТО средств измерения и автоматизации до выходных контактов коммутационных, регулирующих и промежуточных устройств и всех линий после средств измерения и автоматизации, кроме линий, входящих в цепи управления силовыми устройствами и технологическим оборудованием;
- установку и снятие поверяемых средств измерения с испытательных стендов при проведении государственной поверки непосредственно на предприятии;

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

- наладку регулирующей и отсечной арматуры с электроприводом — совместно с энергослужбой и ремонтно-механической службой;
- доставку из лаборатории приготовленных газовых и жидкостных смесей, буферных растворов и замена их в средствах измерения и автоматизации;
- ремонт и ТО средств измерения и автоматизации на различных весах, дозаторах и установках сжатого воздуха;
- отправку и доставку средств измерения и автоматизации с ремонта и поверки.

**Энергослужба** предприятия проводит:

- снятие, установку и ТО находящихся на щитах и обособленных средств измерения электрических, магнитных и других измерений, обеспечивающих эксплуатацию и контролирующих состояние электрооборудования и электросетей;
- ремонт и ТО электролиний от щитов и к щитам автоматизации, линий электропитания и освещения помещений МС;
- заземление оборудования в помещениях МС, щитов автоматизации и обособленных средств измерения;
- ремонт и ТО силовых линий, схем управления, сигнализации, защиты и блокировок электродвигателей, насосов, компрессоров, кранов кондиционеров, а также пусковую и сигнальную аппаратуру, относящуюся к ним;
- ремонт и ТО обособленных электропрограммных устройств (реле времени, тока, напряжения);

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

- ремонт и ТО электрооборудования и линий питания установок подготовки сжатого воздуха;
- ремонт и ТО, снятие и установку электроприводов регулирующей и отсечной аппаратуры;
- ремонт и ТО схем электроавтоматики, телемеханики, обособленных электрических схем управления, сигнализации и защиты технологического оборудования, всех видов слаботочных устройств.

**Ремонтно-механическая служба** предприятия проводит:

- установку на технологическом оборудовании, трубопроводах и ремонт отборных устройств для измерения давления, расхода, уровня, температуры, качества и состава веществ; ремонт и ТО систем обогрева средств измерения и автоматизации;
- снятие на ремонт, проверку и установку объемных и других счетчиков, регуляторов уровня, ротаметров, диафрагм и т. д. (под наблюдением персонала СМ и А), ремонт и ТО гидравлических и пневматических исполнительных устройств, механической части регулирующей и отсечной арматуры (совместно с персоналом СМ и А);
- ремонт шкафов, стремянок, площадок и других устройств и приспособлений;
- ремонт и ТО механической части весов, дозаторов, установок подготовки воздуха, линий пневмопитания;
- ремонт и ТО механических уровнемеров, мерных стекол;
- снятие, ТО и установку технических манометров, установленных на аппаратах и трубопроводах;

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

- ремонт и ТО гидравлических и пневматических исполнительных устройств;
- ремонт и ТО механической части регулирующей и отсечной арматуры с электро-пнеumo-гидроприводом, фильтров воздуха для средств измерения и автоматизации.

**Технологическая служба** обеспечивает:

- проведение текущего обслуживания за средствами измерения и автоматизации (очистку от пыли, грязи, заправку чернил, замену диаграмм) — совместно с СМ и А предприятия;
- сохранность и визуальный контроль за состоянием средств измерения на рабочих местах;
- проверку средств измерения по контрольным точкам, визуальный контроль состояния электрических цепей и пневматических линий, шкафов и бudoк средств измерения и автоматизации;
- дренаж пыли и влаги из пылевлагоотделителей;
- поддержание необходимых параметров (расход, давление, температура) в пробоотборных устройствах и дренажных линиях и других средств измерения и автоматизации в процессе их эксплуатации.

**Лаборатория теххимического контроля** осуществляет:

- изготовление или приобретение по заявкам СМ и А газовых и жидкостных смесей для настройки и проверки средств измерения, других веществ и реактивов;
- проведение контрольных анализов для проверки правильности показаний средств измерения состава и качества;

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

- проведение совместно с СМ и А испытаний и внедрение средств измерения качества в цехах.

**ДОКУМЕНТАЦИЯ СЛУЖБЫ МЕТРОЛОГИИ И АВТОМАТИЗАЦИИ**

В службе метрологии и автоматизации предприятия находится и ведется:

утвержденное Положение о СМ и А предприятий; регистрационное удостоверение на право поверки и ремонта средств измерений (при получении);

табель учета рабочего времени персонала СМ и А; планы работы звеньев СМ и А; графики планово-предупредительных работ; календарные графики

проведения государственной и ведомственной поверок средств измерения

а также журналы: учета средств измерения и автоматизации на предприятии;

прохождения инструктажа по технике безопасности;- передачи смен дежурного персонала СМ и А; учета ремонта средств измерения;

картотека движения средств измерения и автоматизации на предприятии (паспорта); поверочные схемы и нормативно-техническая документация по поверке средств измерения; основная организационно-методическая документация по метрологическому обеспечению.

Документация двух последних пунктов по каждому виду работ, проводимых СМ и А предприятия, а также по технике безопасности указаны в со-ответствующих разделах.

От СМ и А предприятия исходят: планы внедрения средств измерения и автоматизации и НТД; заявки на приобретение средств измерения и автоматизации, запчастей и материалов; заявки на изготовление деталей и запчастей и материалов; заявки на изготовление деталей и запчастей к средствам измерения и автоматизации при их ремонте или на определенные виды работ; акты на списание малоценного инвентаря, средств измерения и автоматизации и основных средств; предписания главного метролога об устранении нарушений по вопросам метрологического обеспечения; договоры и документы по проведению и оплате ремонта и поверки средств измерения в других организациях.

### **3. Значение дисциплины «Автоматизация измерений, контроля и испытаний», ее цели, задачи и содержание. Рекомендуемая литература**

#### *Цели преподавания дисциплины*

Дисциплина «Автоматизация измерений, контроля и испытаний» является одной из первых метрологических дисциплин, которую изучают студенты технических вузов. Она предусматривает изучение основных принципов построения измерительных преобразователей, используемых при измерении электрических и неэлектрических величин, их устройства и принципов действия, основных технических и метрологических характеристик измерительных преобразователей и особенностей их проектирования применительно к практической деятельности инженера-метролога.

Целью преподавания данной дисциплины является изучение студентами основных методов, принципов, технических средств и систем управления, направленных на повышение эффективности работ, повышения точности и быстродействия и реального снижения трудовых затрат при проведении метрологических работ, таких как измерения, стандартизация и сертификация.

#### *Задачи преподавания дисциплины*

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

В результате освоения дисциплины «Автоматизация измерений, контроля и испытаний» (Автоматизация метрологических работ – АМР) студент должен:

**знать:**

- основные задачи, цели и принципы АМР;
- типовые алгоритмы АРМ;
- проблемы автоматизации измерений неэлектрических и электрических величин, направления и способы их решения;
- проблемы автоматизации работ по стандартизации и сертификации и способы их решения;
- методы автоматизации поверки и калибровки средств измерений (СИ);
- методы автоматизации измерений параметров измерительных преобразователей – функции преобразования, чувствительности, определения погрешности преобразования;
- конкретные типы микропроцессорных средств измерения, измерительно-вычислительных комплексов и компьютерно-измерительных систем, принципы их функционирования;
- основы теории погрешностей и метрологического обеспечения разработки и производства компьютерно-измерительных систем;
- основные принципы и методы проектирования информационных баз данных;
- основные системы управления базами данных;
- имеющиеся базы данных в области измерений, стандартизации и сертификации;

**уметь характеризовать:**

- ожидаемую эффективность АРМ и целесообразность ее проведения для конкретных работ по автоматизации измерений;
- модели работ по АМР, алгоритмы автоматизации этих работ;
- методологию автоматизации измерений неэлектрических и электрических величин с учетом особенностей и свойств конкретного производства;
- локальные базы данных и алгоритмы их функционирования;

**уметь анализировать:**

- основные виды микропроцессорных средств измерений, измерительно –чувствительных комплексов и компьютерно-измерительных систем широкого применения;
- принципы построения современных баз с учетом их использования в метрологических работах;
- основные направления автоматизации метрологических работ;

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

**приобрести навыки:**

- метрологически правильного выбора способов и методов построения средств автоматизации метрологических работ;
- методически правильного определения основных технических и метрологических характеристик автоматических средств измерений;
- эксплуатации современной измерительной аппаратуры в процессе разработки, производства и эксплуатации компьютерно-измерительных систем;
- создания и эксплуатации современных баз данных на основе Microsoft Access.

Изучение дисциплины основывается на знаниях, полученных в результате изучения дисциплин: «Высшая математика», «Информатика», «Физика», «Теоретическая механика», «Теоретическая метрология», «Взаимозаменяемость», «Методы и средства измерений, испытаний и контроля», «Метрологическое обеспечение», «Электротехника и электроника», «Прикладная метрология».

**Информационно - методическое обеспечение и ТСО**

**Форма 4.1 Список основной и дополнительной литературы**

<b>Основная литература</b>	<b>Наличие в библиотеке</b>
4.1.1. Парахуда Р.Н., Шевцов В.И. Автоматизация измерений и контроля: письменные лекции. – СПб., СЗТУ, 2002, -75 с.	нет
4.1.2. Дивин А.Г., Жилкин В.М., Свириденко А.Д. Автоматизация измерений, контроля и испытаний. Часть 1. Основы работы в программной среде LabVIEW. – Тамбов, ТГТУ, 2005, - 73 с.	нет
4.1.3. Электротехника и электроника: учебное пособие для вузов/ Под ред. Кононенко В.В. – Ростов н/Д: Феникс, 2008. – 778 с.	90
4.1.4. Автоматизация измерений электрических и неэлектрических величин. Учебное пособие/ Под ред. А.А. Сазонова. М., - 1987. -327 с.	3
4.1.5. Кожушко А.А. Автоматизация измерений, контроля и испытаний: Конспект лекций/Ом ГТУ -2003.	5
<b>Дополнительная литература</b>	
4.1.6. Гресько А.А., Долгая Л.А. Справочник слесаря по контрольно-измерительным приборам. – К.: Техника, 1988. -176 с.	4
4.1.7. Метрология и измерения: Учебно-методическое пособие для индивидуальной работы студентов/ А.П.	

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

Белошицкий и др.; под общ. ред. С.В. Лялькова. - Мн.: БГУИР, 1999. -72 с.	3
4.1.8. Пронкин Н.С. Основы метрологии: практикум по метрологии и измерениям: учебное пособие для вузов. – М.: Логос, Университетская книга, 2007. – 392 с.	1
4.1.9. Батоврин В.К., Бессонов А.С., Мошкин В.В. LabVIEW. Практикум по основам измерительных технологий. М.: ДМК Пресс: ПриборКомплект, 2004. – 217 с.	1 1
4.1.10. Кликушин Ю.Н., Кобенко В.Ю. Основы идентификационных измерений. Журнал радиоэлектроники №5, 2006.	1
4.1.11. Кобенко В.Ю., Кликушин Ю.Н. Нечеткие и фрактальные методы и модели измерительных процессов и систем: учебное пособие/ Омск: Изд-во ОмГТУ, 2010. -64 с.	100
4.1.12. Задания и методические указания по выполнению расчетно-графических работ по предмету «Автоматизация измерений и испытаний» – Ростов н/Д: РГСУ, 2007. – 16 с.	

**4.2 Перечень программного обеспечения, наглядных пособий и технических средств обучения**

- 4.2.1. Плакаты с изображением различных электроизмерительных приборов и отдельных их узлов.
- 4.2.2. Стенды и макеты для исследования устройства и принципа действия измерительных приборов.
- 4.2.3. Учебные диафильмы и слайды.
- 4.2.4. Электронные презентации лекций.
- 4.2.5. LabVIEW, Excel, Power Point.
- 4.2.6. Ноутбук, проектор, экран.

**ЛЕКЦИЯ по теме №1.3.1. Объекты и системы сертификации**

**ВОПРОСЫ**

1. Объекты сертификации:

- ✚ Основные понятия, цели и объекты сертификации;
- ✚ История развития сертификации;

✚ Правовое обеспечение сертификации;

2. Системы сертификации:

- ❖ Обязательное подтверждение соответствия;
- ❖ Добровольная сертификация;
- ❖ Схемы сертификации.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Димов Ю.В. Метрология, стандартизация и сертификация. Учебник. 2-е изд. СПб.: ИД "Питер", 2011. – 432 с. (с.354-358, 390-392).

### 1. Объекты сертификации

#### **Основные понятия, цели и объекты сертификации**

*Сертификация* — форма осуществляемого органом по сертификации подтверждения соответствия объектов требованиям технических регламентов, положениям стандартов или условиям договоров.

Сертификация продукции является одним из путей обеспечения высокого качества продукции, повышения научного и торгово-экономического сотрудничества между странами, укрепления доверия между ними.

В сертификации продукции, услуг и иных объектов участвуют первая (изготовитель или продавец), вторая (потребитель или покупатель), третья стороны.

*Третья сторона* — лицо или орган, признаваемые независимыми от участвующих сторон в рассматриваемом вопросе (ИСО/ МЭК 2).

*Система сертификации* — совокупность правил выполнения работ по сертификации, ее участников и правил функционирования системы сертификации в целом.

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

*Оценка соответствия* — прямое или косвенное определение соблюдения требований к объекту.

*Подтверждение соответствия* — документальное удостоверение соответствия продукции или иных объектов, процессов производства, эксплуатации, хранения, перевозки, реализации и утилизации, выполнения работ или оказания услуг требованиям технических регламентов, положениям стандартов или условиям договоров.

*Форма подтверждения соответствия* — определенный порядок документального удостоверения соответствия продукции или иных объектов, процессов производства, эксплуатации, хранения, перевозки, реализации и утилизации, выполнения работ или оказания услуг требованиям технических регламентов, положениям стандартов или условиям договоров.

*Сертификат соответствия* — документ, удостоверяющий соответствие объекта требованиям технических регламентов, положениям стандартов или условиям договоров.

*Знак обращения на рынке* — обозначение, служащее для информирования приобретателей о соответствии выпускаемой в обращение продукции требованиям технических регламентов. Изображение знака обращения на рынке устанавливается Правительством РФ. Он не является специальным защищенным знаком и наносится в информационных целях.

*Знак соответствия* — обозначение, служащее для информирования приобретателей о соответствии объекта сертификации требованиям системы добровольной сертификации или национальному стандарту.

*Декларирование соответствия* — форма подтверждения соответствия продукции требованиям технических регламентов.

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

*Декларация о соответствии* — документ, удостоверяющий соответствие выпускаемой в обращение продукции требованиям технических регламентов.

*Заявитель* — физическое или юридическое лицо, осуществляющее обязательное подтверждение соответствия.

*Орган по сертификации* — юридическое лицо или индивидуальный предприниматель, аккредитованные в установленном порядке для выполнения работ по сертификации.

*Идентификация продукции* — установление тождественности характеристик продукции ее существенным признакам.

Перечни продукции, соответствие которой может быть подтверждено декларацией о соответствии, утверждаются постановлением правительства Российской Федерации. Декларация о соответствии имеет юридическую силу наравне с сертификатом.

К *объектам сертификации* относятся продукция, услуги, работы, системы качества, персонал, рабочие места и пр.

В соответствии с законом РФ «О техническом регулировании» *сертификация осуществляется в целях:*

- ✓ удостоверения соответствия продукции, процессов производства, эксплуатации, хранения, перевозки, реализации и утилизации, работ, услуг или иных объектов техническим регламентам, стандартам, условиям договоров;
- ✓ содействия приобретателям в компетентном выборе продукции, работ, услуг на российском и международном рынках;
- ✓ создания условий для обеспечения свободного перемещения товаров по территории Российской Федерации, а также для

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

осуществления международного экономического, научно-технического сотрудничества и международной торговли.

Сертификация имеет ряд достоинств особенно в международных торгово-экономических отношениях. Она способствует: достижению доверия к качеству изделий; предотвращению импорта в страну изделий, не соответствующих требуемому уровню качества продукции; предотвращению экспорта аналогичной продукции; упрощению выбора продукции потребителем; защите изготовителя от конкуренции с поставщиками несертифицированной продукции и обеспечению ему рекламы и рынка сбыта; улучшению «качества» стандартов путем выявления в них устарелых положений и стимулированию переработки этих стандартов.

### **История развития сертификации**

«Сертификат» в переводе с латыни означает «сделано верно».

Хотя термин «сертификация» стал известен в повседневной жизни и коммерческой практике сравнительно недавно (в последнее десятилетие), тем не менее сертификация как процедура применяется давно и термин «сертификат» известен с XIX в.

Так, энциклопедический словарь Ф. А. Брокгауза и И. А. Ефрона, изданный в 1900 г., трактует сертификат как «удостоверение», а экономисты определяют сертификат как «денежное свидетельство на определенную сумму» или как «облигацию специального государственного займа».

Имеются сведения о том, что производители товаров издавна гарантировали качество своих изделий, в том числе письменно, то есть снабжали их (по современной терминологии) «заявлениями о соответствии».

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

В метрологии сертификация давно известна как деятельность по официальной проверке и клеймению (или пломбированию) прибора (весов, гирь). Клеймение свидетельствует о том, что прибор удовлетворяет сертификационным требованиям по его конструктивным и метрологическим характеристикам. Более 100 лет термин «сертификат» используется в международной метрологической практике. Так, сопроводительный документ к полученному Россией в 1879 г. прототипу килограмма имел следующее название: «Международный комитет мер и весов. Сертификат Международного бюро мер и весов для прототипа килограмма № 12, переданного Министерству финансов Российской Империи». Для этого прототипа килограмма были проведены «сертификационные испытания». Для всей группы прототипов (всего 42) было проведено 1092 взвешивания для сравнения между собой и с международным (главным) прототипом, который, в свою очередь, был сличен с архивным килограммом.

Описанный опыт является примером сертификации третьей стороной — Международным бюро мер и весов.

В течение нескольких столетий действуют так называемые «классификационные организации», которые, будучи неправительственными и независимыми организациями, оценивают безопасность судов для целей их страхования. По существу, это тоже сертификация третьей стороной — сертификация соответствия. Примером классификационной организации является Регистр Ллойда — авторитетнейшая международная организация, которая имеет представительства в 127 странах мира и в течение двух столетий остается мировым лидером сертификационных организаций.

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

В России также есть классификационная организация — Морской Регистр, созданный в 1913 г. С самого начала Русский Регистр (так он сначала назывался), основанный страховыми компаниями, занимался тем, что сейчас называют сертификацией гражданских судов на их безопасность. Причем эта сертификация сразу же стала проводиться по международным правилам. Поэтому уже тогда она была не только престижна, но и выгодна судовладельцам: страховка судна, безопасность которого подтверждается авторитетнейшей организацией, дешевле, а его фрахт дороже. Сегодня Морской Регистр — одна из авторитетных организаций, занимающихся сертификацией систем качества.

Ведущие экономические державы начали развивать процессы сертификации в 20~30-е гг. XX века. В 1920 г. Немецкий институт стандартов (DIN) учредил в Германии знак соответствия стандартам DIN, зарегистрированный в ФРГ в соответствии с законом о защите торговых знаков.

Сертификация в России начала проводиться в 1993 г. в соответствии с Законом РФ «О защите прав потребителей», который установил обязательность сертификации безопасности товаров народного потребления.

Предшественницей российской сертификации была сертификация в СССР отечественной экспортируемой продукции. Первоначально она проводилась в зарубежных центрах и ее обязательность фактически устанавливалась не отечественными законами, а законодательством тех стран, в которые товары поставлялись из СССР.

В 1984 г. правительством СССР было принято Постановление о сертификации экспортируемой продукции. В 1986 г. Госстандартом был

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

введен в действие Временный порядок сертификации продукции машиностроения.

В 1988 г. странами — членами СЭВ была подписана Конвенция о системе оценки качества и сертификации взаимопоставляемой продукции (СЕПРО СЭВ). В СССР эта система была введена в 1988 г. Система СЕПРО СЭВ предусматривала проведение сертификации с использованием как стандартов СЭВ, так и других международных норм и лучших национальных стандартов. Указанная система фактически ввела международную аккредитацию испытательных лабораторий и международную аттестацию. К 1991 г. в стране функционировало 14 испытательных центров, было аттестовано несколько производств.

Вместе с тем в СССР осуществлялась оценка соответствия продукции установленным требованиям в других формах: аттестация по категориям качества; государственная приемка продукции; государственные испытания (им подвергалось около 30 % продукции, аттестованной по категориям качества); государственный надзор за стандартами.

В России после ликвидации СССР аттестация продукции по категориям качества, государственные испытания и государственная приемка продукции были официально отменены.

### **Правовое обеспечение сертификации**

Деятельность по сертификации в России законодательно регулируется и обеспечивается:

1.3.8. законами РФ «О техническом регулировании» от 27.12.2002 г., «Об обеспечении единства измерений» в редакции 2003 г., «О защите прав потребителей» в редакции 1999 г., «О защите прав юридических лиц и индивидуальных

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

предпринимателей при проведении государственного контроля (надзора)» в редакции 2003 г.;

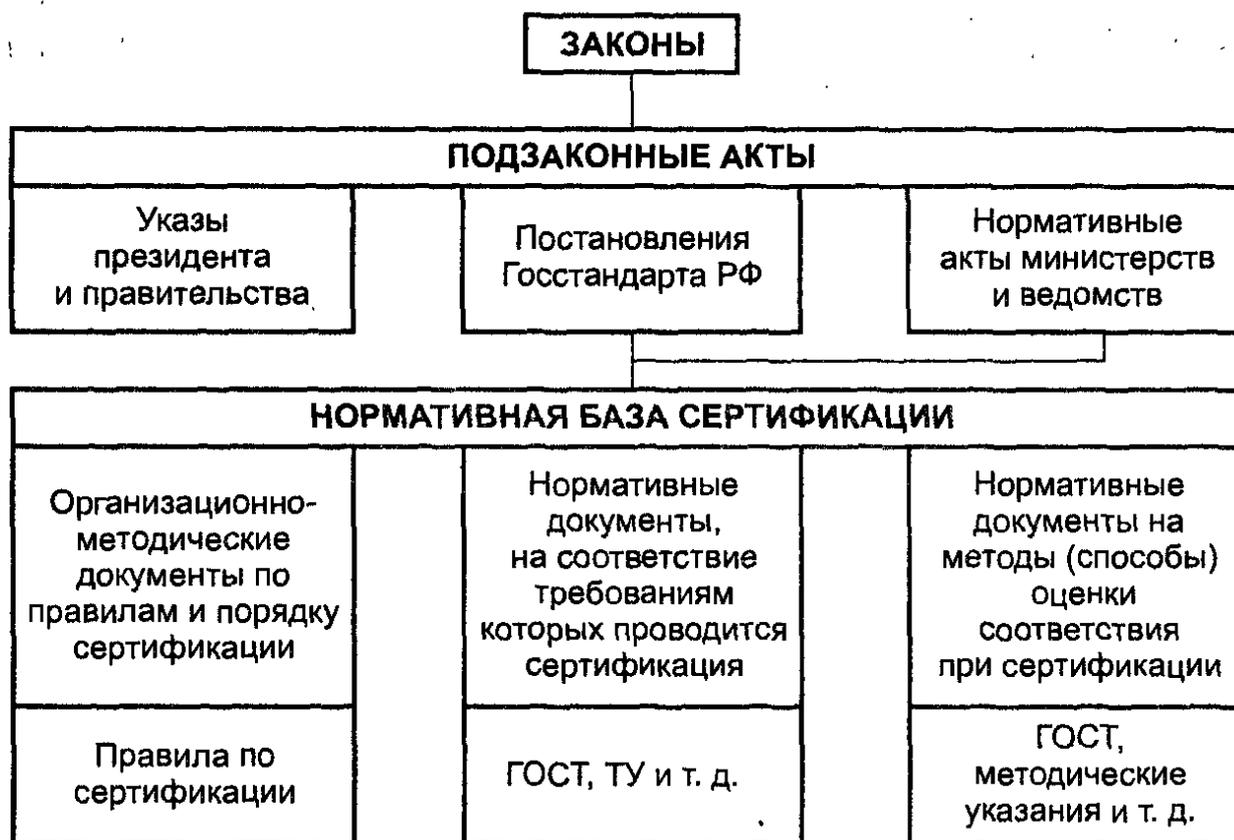
1.3.9. подзаконными актами, направленными на решение отдельных социально-экономических задач и предусматривающими использование для этой цели обязательной сертификации;

1.3.10. указами президента и нормативными актами правительства России (постановление Правительства РФ от 12 февраля 1994 г. № 100 «Об организации работ по стандартизации, обеспечению единства измерений, сертификации продукции и услуг», Распоряжение Правительства РФ от 20 февраля 1995 г. № 255-р «О программе демонополизации в сферах стандартизации, метрологии и сертификации», постановление Госстандарта России в редакции 2002 г. «Правила по проведению сертификации в Российской Федерации» и др.).

Нормативно-методическая база сертификации включает:

1.3.11. совокупность нормативных документов, на соответствие требованиям которых проводится сертификация продукции и услуг, а также документов, устанавливающих методы проверки соблюдения этих требований (примерно 12 тысяч наименований);

1.3.12. комплекс организационно-методических документов, определяющих правила и порядок проведения работ по сертификации (серия правил по сертификации и комментариев к ним).



**Рис. 5.1.** Структура законодательной и нормативной базы сертификации [36]

Структура законодательной и нормативной базы сертификации представлена на рис. 5.1.

## 2. Системы сертификации

*Система сертификации* — совокупность правил выполнения работ по сертификации, ее участников и правил функционирования системы сертификации в целом. *Система сертификации однородной продукции* — система сертификации, распространяющаяся на виды продукции, объединенные по признакам общности назначения, характера требований, общим правилам и процедурам сертификации; в отдельных случаях — распространяющаяся на совокупность видов продукции, объединенных общностью одного или нескольких свойств.

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

Подтверждение соответствия на территории Российской Федерации может носить добровольный или обязательный характер.

Добровольное подтверждение соответствия осуществляется в виде добровольной сертификации.

Обязательное подтверждение соответствия осуществляется в формах:

- принятия декларации о соответствии;
- обязательной сертификации.

Декларация о соответствии и сертификат соответствия имеют равную юридическую силу независимо от схем обязательного подтверждения соответствия и действуют на всей территории Российской Федерации.

**Обязательное подтверждение соответствия**

Обязательное подтверждение соответствия проводится только в случаях, установленных соответствующим техническим регламентом, и исключительно на соответствие требованиям этого регламента.

При ввозе на территорию Российской Федерации продукции, подлежащей обязательному подтверждению соответствия, в таможенные органы одновременно с таможенной декларацией заявителем (либо лицом, уполномоченным заявителем) представляется декларация о соответствии или сертификат соответствия. При этом полученные за пределами Российской Федерации документы о подтверждении соответствия, знаки соответствия, протоколы исследований (испытаний) и измерений продукции, могут быть признаны в соответствии с международными договорами Российской Федерации.

Обязательное подтверждение соответствия является формой государственного контроля за безопасностью продукции. Ее

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

осуществление связано с определенными обязанностями, налагаемыми на предприятия, в том числе материального характера. Поэтому она может *осуществляться лишь в случаях, предусмотренных законодательными актами РФ*, то есть законами, техническими регламентами и нормативными актами Правительства РФ.

К законам, вводящим обязательное подтверждение соответствия в конкретных сферах деятельности, относятся такие законы, как «О защите прав потребителей», «Об охране труда», «Об оружии», «О связи», «Об информации, информатизации и защите информации», «О пожарной безопасности», «О безопасности дорожного движения» и др. законы (всего более 20). Выпущено свыше 10 постановлений Правительства РФ по вопросам сертификации.

**Декларирование соответствия** осуществляется по одной из следующих схем:

- ✓ принятие декларации о соответствии на основании собственных доказательств;
- ✓ принятие декларации о соответствии на основании собственных доказательств, доказательств, полученных с участием органа по сертификации и (или) аккредитованной испытательной лаборатории (центра), то есть третьей стороны. Эта схема применяется в том случае, если отсутствие третьей стороны приводит к недостижению целей подтверждения соответствия.

Круг заявителей и схема декларирования устанавливается соответствующим техническим регламентом.

**Обязательная сертификация** осуществляется органом по сертификации на основании договора с заявителем. Схемы сертификации,

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

применяемые для сертификации определенных видов продукции, устанавливаются соответствующим техническим регламентом.

В соответствии со ст. 7 Закона РФ «О защите прав потребителей» перечни товаров (работ, услуг), подлежащих обязательной сертификации, утверждаются правительством РФ. На основании этих перечней разрабатывается и вводится в действие постановлением Госстандарта России «Номенклатура продукции и услуг (работ), в отношении которых законодательными актами Российской Федерации предусмотрена их обязательная сертификация».

При обязательной сертификации подтверждаются только те обязательные требования, которые установлены законом, вводящим обязательную сертификацию. При обязательной сертификации действие сертификата соответствия и знака соответствия распространяется на всей территории РФ.

В России действует 26 систем обязательной сертификации. Самая известная — Система обязательной сертификации ГОСТ Р (в редакции<sup>1</sup> 2002 г.), образованная и возглавляемая Госстандартом России.

В соответствии с Постановлением Правительства РФ от 13 июля 1997 г. № 1013 в перечень работ и услуг, подлежащих обязательной сертификации, включены следующие группы бытовых услуг: 1) ремонт и техническое обслуживание бытовой радиоэлектронной аппаратуры, бытовых машин и бытовых приборов; 2) техническое обслуживание и ремонт автотранспортных средств; 3) химическая чистка и крашение; 4) транспортные услуги (услуги по перевозке пассажиров автомобильным транспортом); 5) жилищно-коммунальные услуги (услуги гостиниц и прочих мест проживания); 6) туристские и экскурсионные услуги; 7) услуги парикмахерских; 8) услуги торговли и общественного питания.

### **Добровольная сертификация**

Добровольная сертификация проводится по инициативе заявителей (изготовителей, продавцов, исполнителей) в целях подтверждения соответствия продукции требованиям стандартов, технических условий, рецептур и других документов, определяемых заявителем.

Добровольная сертификация проводится на условиях договора между заявителем и органом по сертификации. Она не может заменить обязательную сертификацию, если такая продукция подлежит обязательной сертификации. Однако в рамках добровольной сертификации по продукции, прошедшей обязательную сертификацию, могут проверяться дополнительные требования.

Добровольной сертификации подлежит продукция, на которую отсутствуют обязательные к выполнению требования по безопасности. В то же время ее проведение ограничивает доступ на рынок некачественных изделий за счет проверки таких показателей, как надежность, эстетичность, экономичность и др. Она в первую очередь направлена на борьбу за клиента.

Система добровольной сертификации может быть создана юридическим лицом и (или) индивидуальным предпринимателем или несколькими юридическими лицами и (или) индивидуальными предпринимателями. При создании системы устанавливается перечень объектов, подлежащих сертификации, и их характеристик, на соответствие которым осуществляется добровольная сертификация, правила выполнения работ и их оплаты.

Системой добровольной сертификации может предусматриваться применение знака соответствия.

Госстандарт России ведет единый реестр зарегистрированных систем добровольной сертификации.

На 1 января 1999 г. в России было зарегистрировано 86 систем добровольной сертификации. Примерами систем добровольной сертификации могут быть: «Система сертификации ювелирных изделий» (регистрационный номер РОСС RU.0001.040003) фирмы «ГЕМ»; «Система добровольной сертификации бурового и нефтепромыслового оборудования» (регистрационный номер РОСС RU.0001.04ВН00); «Система добровольной сертификации угольной продукции» (регистрационный номер РОСС 1Ш.0001.03ПУ00) и др. (см. приложение 3).

### **Схемы сертификации**

*Схема сертификации* — форма сертификации, определяющая совокупность действий, результаты которых рассматриваются в качестве доказательства соответствия продукции установленным требованиям.

Схемы сертификации продукции, применяемые в России и разработанные с учетом рекомендаций ИСО/МЭК, приведены в табл. 5.2.

При выборе схемы должны учитываться особенности производства, испытаний, поставки и использования конкретной продукции, требуемый уровень доказательности, возможные затраты заявителя.

Из табл. 5.2 видно, что в качестве способов доказательства используют: 1) испытание, 2) проверку производства, 3) инспекционный контроль, 4) рассмотрение декларации о соответствии прилагаемым документам [22].

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

Таблица 5.2. Схемы сертификации продукции

Номер схемы	Испытания в аккредитованных испытательных лабораториях и другие способы доказательства соответствия	Проверка производства (системы качества)	Инспекционный контроль сертифицированной продукции (системы качества, производства)
1	Испытания типа		
1a	Испытания типа	Анализ состояния производства	
2	Испытания типа		Испытания образцов, взятых у продавца
2a	Испытания типа	Анализ состояния производства	Испытания образцов, взятых у продавца Анализ состояния производства
3	Испытания типа		Испытания образцов, взятых у изготовителя
3a	Испытания типа	Анализ состояния производства	Испытания образцов, взятых у изготовителя Анализ состояния производства
4	Испытания типа		Испытания образцов, взятых у продавца и у изготовителя
4a	Испытания типа	Анализ состояния производства	Испытания образцов, взятых у продавца и у изготовителя Анализ состояния производства
5	Испытания типа	Сертификация производства или сертификация системы качества	Контроль сертифицированной системы качества (производства) Испытания образцов, взятых у продавца и (или) у изготовителя

*Испытание.* В схемах 1-5 производится *испытание типа*, то есть одного или нескольких образцов, являющихся ее типовыми представителями. Испытание в схеме 7 — это уже *контроль качества партии* путем испытания средней пробы (выборки), отбираемой от партии с использованием метода статистического контроля. В схеме 8 испытанию *подвергается каждая единица продукции*. Таким образом, жесткость

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

испытаний, а, значит, надежность и стоимость испытаний возрастают по направлению 1-7-8.

Номер схемы	Испытания в аккредитованных испытательных лабораториях и другие способы доказательства соответствия	Проверка производства (системы качества)	Инспекционный контроль сертифицированной продукции (системы качества, производства)
6	Рассмотрение декларации о соответствии прилагаемым документам	Сертификация системы качества	Контроль сертифицированной системы качества
7	Испытания партии		
8	Испытания каждого образца		
9	Рассмотрение декларации о соответствии прилагаемым документам		
9а	Рассмотрение декларации о соответствии прилагаемым документам	Анализ состояния производства	
10	Рассмотрение декларации о соответствии прилагаемым документам		Испытания образцов, взятых у продавца и у изготовителя
10а	Рассмотрение декларации о соответствии прилагаемым документам	Анализ состояния производства	Испытания образцов, взятых у продавца и у изготовителя Анализ состояния производства

Проверка производства применяется тогда, когда для объективной оценки качества недостаточно испытаний, а необходим анализ технологического процесса для оценки стабильности качества продукции. Например, для оценки производства скоропортящейся продукции этот способ доказательства является главным (схема 6), так как сроки годности продукции меньше времени, необходимого для организации и проведения испытаний в измерительной лаборатории.

Проверка производства проходит также с различным уровнем жесткости. При проверке в форме «анализ состояния производства» (схемы 1а, 2а, 3а, 4а, 9а, 10а) проверяются два элемента качества,

предусмотренные ГОСТ Р ИСО 9001-96. В схеме 5, предусматривающей сертификацию производства, проверяется 10 элементов качества.

При сертификации системы качества (схемы 5, 6) проверяется 20 элементов, причем проверку производства имеют право проводить эксперты, аккредитованные в области проверки систем качества.

Инспекционный контроль (ИК) предусмотрен в большинстве схем. Его проводят после выдачи сертификата. Он может проводиться в форме испытания образцов (схемы 2, 2а, 3, 3а, 4, 4а) либо в форме контроля сертифицированной системы качества (производства). В последнем случае порядок ИК регламентирован ГОСТ Р 40.005-2000, касающимся сертифицированных систем качества (производства).

Рассмотрение декларации о соответствии — это способ доказательства, который представляет первая сторона — изготовитель. Он заключается в том, что руководитель предприятия представляет в орган сертификации заявление-декларацию, прилагая к последнему протоколы испытаний, а также информацию об организации на предприятии контроля качества продукции. Этот способ используют при сертификации продукции зарубежного изготовителя с высокой репутацией на рынке, продукции отечественных индивидуальных производителей (например, фермеров), продукции малых предприятий и т. д.

*Рассмотрим применение отдельных схем.* Схемы 1-6 и 9а — 10а применяются при сертификации серийно выпускаемой продукции, схемы 7, 8, 9 — при сертификации выпущенной партии или единичного изделия. Схему 1 рекомендуется использовать при ограниченном объеме реализации и выпуска продукции. Схемы 1а, 2а, 3а, 4а, 9а и 10а рекомендуется применять (вместо соответствующих схем 1, 2, 3, 9 и 10),

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

если у органа сертификации нет информации <> возможности изготовителя данной продукции обеспечить стабильность ее характеристик, подтвержденных испытаниями. Схема 5 является наиболее жесткой. Ее применяют в случае, если установлены повышенные требования к стабильности характеристик выпускаемой продукции (потенциально опасные изделия техники, продукция на экспорт). Схемы 3а, 4а и 5 используют также при проведении работ по добровольной сертификации продукции на соответствие требованиям государственных стандартов.

Схемы 9-10а введены недавно. С введением подобных схем российская система сертификации еще больше приблизилась к европейской системе.

Конкретную схему сертификации определяет орган сертификации или заявитель. Схемы сертификации работ и услуг имеют свою специфику (табл. 5.3).

*Схема 1* предусматривает оценку мастерства исполнителя работы и услуги, что включает проверку условий работы, знаний технологической, нормативной документации, опыта работы, сведений о повышении квалификации и выборочную проверку результата услуги (отремонтированных, вычищенных и других изделий), а также последующий инспекционный контроль. Ее рекомендуется применять для сертификации услуг, оказываемых гражданами-предпринимателями и небольшими предприятиями.

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

**Таблица 5.3.** Схемы сертификации работ и услуг

Номер схемы	Оценка выполнения работ и оказания услуг	Проверка (испытание) результатов работ и услуг	Инспекционный контроль сертифицированных работ и услуг
1	Оценка мастерства исполнителя работ и услуг	Проверка (испытание) результатов работ и услуг	Контроль мастерства исполнителя работ и услуг
2	Оценка процесса выполнения работ и оказания услуг	Проверка (испытание) результатов работ и услуг	Контроль процесса выполнения работ и оказания услуг
3	Анализ состояния производства	Проверка (испытание) результатов работ и услуг	Контроль состояния производства
4	Оценка организации (предприятия)	Проверка (испытание) результатов работ и услуг	Контроль соответствия установленным требованиям
5	Оценка системы качества	Проверка (испытание) результатов работ и услуг	Контроль системы качества
6		Рассмотрение декларации о соответствии прилагаемым документам	Контроль качества выполнения работ и оказания услуг
7	Оценка системы качества	Рассмотрение декларации о соответствии прилагаемым документам	Контроль системы качества

*Схема 2* предусматривает оценку процесса выполнения работы и оказания услуги по следующим критериям: полнота и актуализация (своевременное обновление документации, устанавливающей требования к процессу (нормативные и технические документы); метрологическое, методическое, организационное, программное, информационное, правовое и другое обеспечение процесса выполнения работ, оказания услуг; безопасность и стабильность процесса; профессионализм обслуживающего и рабочего персонала; безопасность реализуемых товаров.

*Схему 3* применяют при сертификации производственных услуг.

*Схема 4* предусматривает аттестацию предприятия, что включает проверку: состояния его материально-технической базы; санитарно-гигиенических условий обслуживания потребителей; ассортимента и

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

качества услуг, включая наряду с целевыми и дополнительные услуги; четкости и своевременности обслуживания; качества обслуживания (этика общения, комфортность, эстетичность, учет запросов потребителя и т. д.); профессионального мастерства обслуживающего персонала. Эту схему рекомендуется применять при сертификации гостиниц, ресторанов, парикмахерских, кинотеатров и др. Результатом оценки предприятия в целом может быть присвоение разряда (категории, класса, звезды).

*Схему 5* рекомендуется применять при сертификации наиболее опасных работ и услуг (медицинских, по перевозке пассажиров и пр.). Оценка системы качества по схеме 5 (а также схеме 7) производится по стандартам ИСО серии 9000 экспертами по сертификации систем качества.

Схемы 6 и 7 основаны на использовании декларации о соответствии с прилагаемыми к ней документами, подтверждающими соответствие работ и услуг установленным требованиям.

*Схему 6* применяют при сертификации работ и услуг небольших предприятий, зарекомендовавших себя в нашей стране и за рубежом как исполнители работ и услуг высокого уровня качества.

*Схему 7* применяют при наличии у исполнителя системы качества. Оценка выполнения работ, оказания услуг будет заключаться в обследовании предприятия с целью подтверждения соответствия работ и услуг требованиям стандартов системы качества.

При добровольной сертификации применяют схемы 1-5. Схемы 6 и 7, которые предусматривают декларацию о соответствии, при добровольной сертификации не применяют.

При проверке результатов работ и услуг наиболее широко используются *социологические и экспертные методы*.

При наличии у заявителя сертификата на систему качества оценка ее не проводится. Инспекционный контроль осуществляется путем контроля стабильности процесса оказания услуги.

## **ЛЕКЦИЯ по теме №1.3.2. Органы и развитие сертификации**

### **ВОПРОСЫ**

#### 1. Органы сертификации:

- ✚ Органы сертификации, испытательные лаборатории и центры сертификации;
- ✚ Правила и порядок проведения сертификации;
- ✚ Аккредитация органов по сертификации и испытательных (измерительных) лабораторий;

#### 2. Развитие сертификации:

- ❖ Международная сертификация;
- ❖ Региональная сертификация;
- ❖ Национальные организации по сертификации в зарубежных странах.

### **ЛИТЕРАТУРА**

1. Димов Ю.В. Метрология, стандартизация и сертификация. Учебник. 2-е изд. СПб.: ИД "Питер", 2011. – 432 с. (с. 396-414).

### **1. Органы сертификации**

#### **Органы сертификации, испытательные лаборатории и центры сертификации**

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

Обязательное подтверждение соответствия осуществляется органами сертификации, испытательными лабораториями и центрами.

*Орган по сертификации (ОС)* выполняет следующие функции:

- привлекает на договорной основе для проведения исследований (испытаний) и измерений испытательные лаборатории (центры), аккредитованные в порядке, установленном Правительством РФ;
- осуществляет контроль за объектами сертификации, если такой контроль предусмотрен соответствующей схемой обязательной сертификации и договором;
- ведет реестр выданных им сертификатов соответствия;
- информирует соответствующие органы государственного контроля (надзора) за соблюдением требований технических регламентов о продукции, поступившей на сертификацию, но не прошедшей ее;
- приостанавливает или прекращает действие выданного им сертификата соответствия;
- обеспечивает предоставление заявителям информации о порядке проведения обязательной сертификации;
- устанавливает стоимость работ по сертификации на основе утвержденной Правительством РФ методики определения стоимости таких работ.

ОС несет ответственность за обоснованность и правильность выдачи сертификата соответствия, за соблюдение правил сертификации.

Специально уполномоченный федеральный орган исполнительной власти в области сертификации (в России — Госстандарт) выполняет следующие функции:

- ✚ формирует и реализует государственную политику в области сертификации, устанавливает общие правила и рекомендации по

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

проведению сертификации на территории Российской Федерации и публикует официальную информацию о них;

- ✚ проводит государственную регистрацию систем сертификации и знаков соответствия, действующих в Российской Федерации;
- ✚ публикует официальную информацию о действующих в Российской Федерации системах сертификации и знаках соответствия и представляет ее в установленном порядке в международные (региональные) организации по сертификации;
- ✚ готовит в установленном порядке предложения о присоединении к международным (региональным) системам сертификации, а также может в установленном порядке заключать соглашения с международными (региональными) организациями о взаимном признании результатов сертификации;
- ✚ представляет в установленном порядке Российскую Федерацию в международных (региональных) организациях по вопросам сертификации и как национальный орган Российской Федерации по сертификации осуществляет межотраслевую координацию в области сертификации.

В работах по сертификации участвует ряд федеральных органов исполнительной власти. Госстандарт как национальный орган по сертификации осуществляет координацию их деятельности в этом направлении. Координация, как правило, проводится в форме соглашения, в котором регламентируется выбор системы сертификации, объекта сертификации, аккредитующего органа и пр.

Например, такими органами, занимающимися вопросами сертификации, являются: Госсанэпидемнадзор Минздрава России, Департамент ветеринарии Минсельхозпрода РФ, Госстрой России,

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

Госкомсвязи России, Госпожарнадзор МВД России, Российский Морской Регистр, Российский Речной Регистр, Российский Авиарегистр и пр.

Для организации и координации работ в системах сертификации однородной продукции или группы услуг создаются *центральные органы систем сертификации* (ЦОС).

Например, функции ЦОС в системе сертификации систем качества и производства выполняет Технический центр Регистра систем качества, действующий в структуре Госстандарта России. Функции ЦОС по добровольной сертификации на соответствие требований государственных стандартов в Системе сертификации ГОСТ Р возложены на ВНИИ сертификации.

В обязанности ЦОСа входит:

- организация, координация работы и установление правил процедуры в возглавляемой системе сертификации;
- рассмотрение апелляций заявителей по поводу действия ОС, ИЛ (центров).

*Главным участником работ по сертификации является эксперт* — лицо, аттестованное на право проведения одного или нескольких видов работ в области сертификации. От его знаний, опыта, личных качеств, то есть компетентности, зависят объективность и достоверность решения о возможности выдачи сертификата.

Добровольная сертификация осуществляется органами по добровольной сертификации, входящими в систему добровольной сертификации.

Органом по добровольной сертификации может быть юридическое лицо и (или) индивидуальный предприниматель, образовавшие систему добровольной сертификации, а также юридическое лицо, взявшее на себя

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

функции органа по добровольной сертификации на условиях договора с юридическим лицом и (или) индивидуальным предпринимателем, образовавшими данную систему.

*Орган по добровольной сертификации:*

- ✓ осуществляет подтверждение объектов добровольного подтверждения соответствия;
- ✓ выдает сертификаты соответствия на объекты, прошедшие добровольную сертификацию;
- ✓ предоставляет заявителям право на применение знака соответствия, если присвоение знака соответствия предусмотрено системой добровольной сертификации;
- ✓ приостанавливает или прекращает действие выданных им сертификатов соответствия.

*Аккредитованные испытательные лаборатории (ИЛ)* осуществляют испытания конкретной продукции или конкретные виды испытаний и выдают протоколы испытаний для целей сертификации.

ИЛ несет ответственность за соответствие проведенных ею сертификационных испытаний требованиям НД, а также за достоверность и объективность результатов.

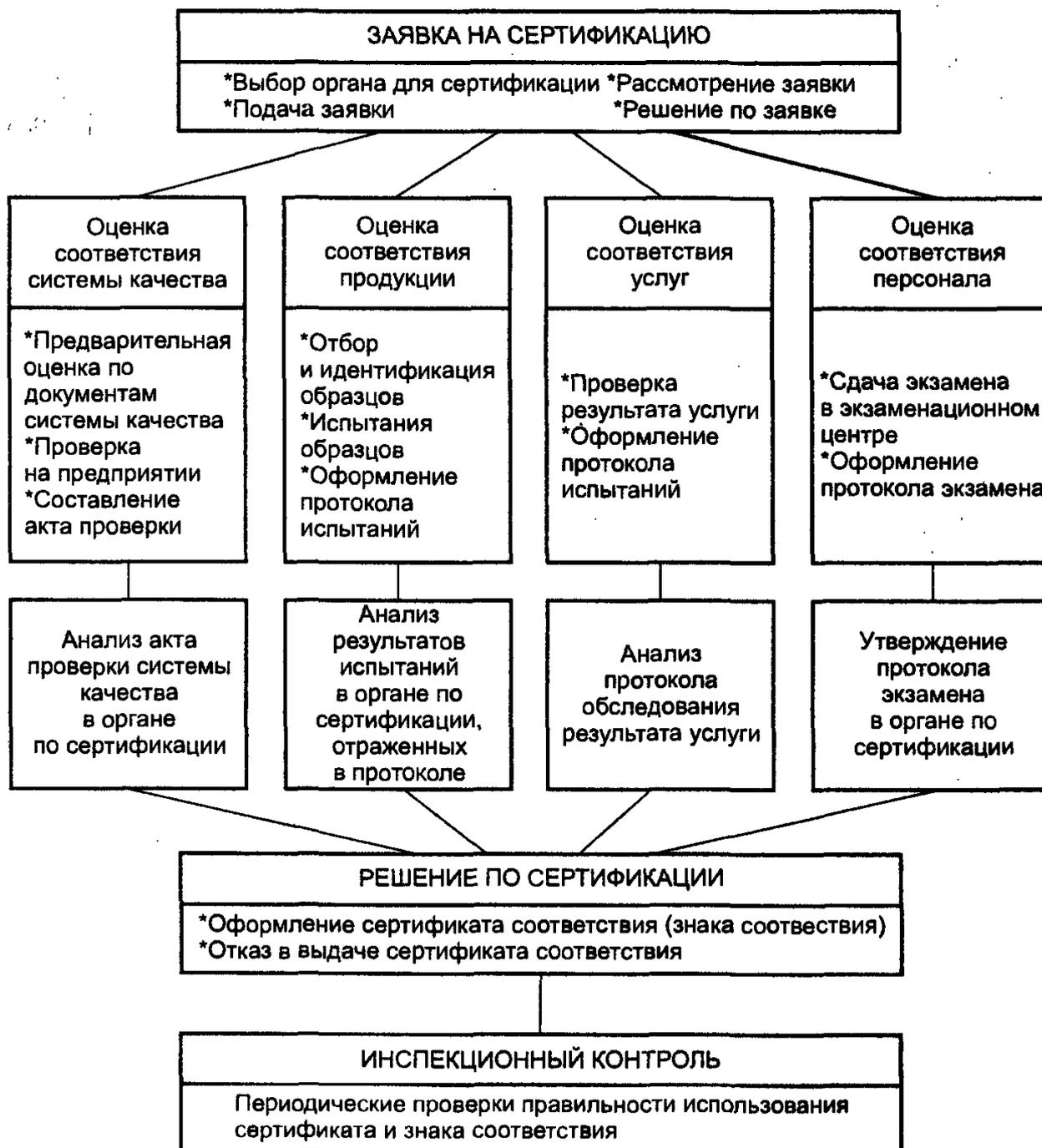
Если орган по сертификации аккредитован как ИЛ, то его именуют сертификационным центром. Так, в стране широко известна деятельность Российского центра испытаний и сертификации «Ростест — Москва».

### **Правила и порядок проведения сертификации**

Сертификация осуществляется в рамках определенной системы и по выбранной схеме. Порядок ее проведения устанавливается правилами конкретной системы, но основные этапы процесса сертификации неизменны независимо от вида и объекта сертификации. Обобщенная

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

схема процесса сертификации по наиболее часто применяемым схемам представлена на рис. 5.12.



**Рис. 5.12.** Основные этапы процесса сертификации

В ней можно выделить пять основных этапов:

1. Заявка на сертификацию.
2. Оценка соответствия объекта сертификации установленным требованиям.

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

3. Анализ результатов оценки соответствия.
4. Решение по сертификации.
5. Инспекционный контроль за сертифицированным объектом.

*Этап заявки* на сертификацию заключается в выборе заявителем органа по сертификации, способного провести оценку соответствия интересующего его объекта. Это определяется областью аккредитации органа по сертификации. Если данную работу могут провести несколько органов по сертификации, то заявитель может обратиться в любой из них. Заявка направляется по установленной в системе сертификации форме. Орган по сертификации рассматривает ее и сообщает заявителю решение.

*Этап оценки соответствия* имеет особенности в зависимости от объекта сертификации. Применительно к продукции он состоит из отбора и идентификации образцов изделий и их испытаний. Образцы должны быть такими же, как и продукция, поставляемая потребителю. Образцы выбираются случайным образом по установленным правилам из готовой продукции. Отобранные образцы изолируют от основной продукции, упаковывают, пломбируют или опечатывают на месте отбора. Отбор образцов для испытаний осуществляет, как правило, испытательная лаборатория или по ее поручению другая компетентная организация. В случае проведения испытаний в двух и более испытательных лабораториях отбор образцов может быть осуществлен органом по сертификации (при необходимости с участием испытательных лабораторий).

*Этап анализа практической оценки соответствия объекта сертификации установленным требованиям* заключается в рассмотрении результатов испытаний, экзамена или проверки системы качества в органе по сертификации.

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

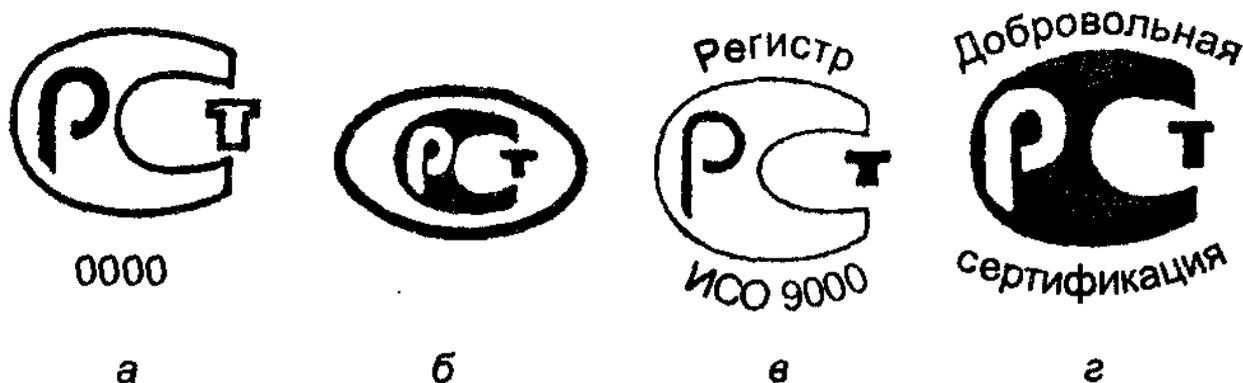
При сертификации продукции заявитель представляет в орган документы, указанные в решении по заявке, и протокол испытаний образцов продукции из испытательной лаборатории. Эксперты органа по сертификации проверяют соответствие результатов испытаний, отраженных в протоколе, действующей нормативной документации.

*Решение по сертификации* сопровождается выдачей сертификата соответствия заявителю или отказом в нем.

Продукция, на которую выдан сертификат, маркируется знаком соответствия, принятым в системе. На рис. 5.13 дано изображение знаков соответствия в системе ГОСТ Р.

Сам знак представляет сочетание РСТ и означает аббревиатуру названия стандарта - Российский Стандарт. Он указывает на национальную принадлежность знака соответствия.

Под знаком соответствия при обязательной сертификации (рис. 5.13, а) проставляется буквенно-цифровой код ОС — две буквы и две цифры.



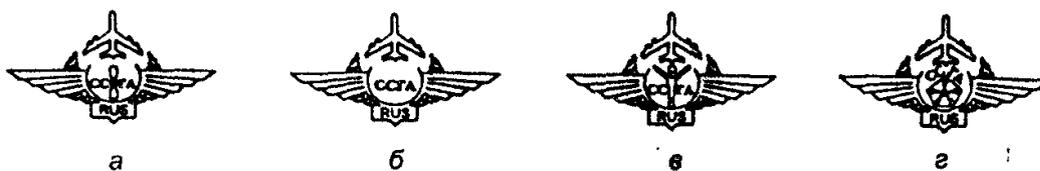
**Рис. 5.13.** Знаки соответствия в системе ГОСТ Р: а — при обязательной сертификации; б — требованиям государственных стандартов; в — системы сертификации систем качества; г — при добровольной сертификации

Часто буквенные индексы кода (полностью или частично) отражают начальные буквы наименования сертифицируемого объекта: У О, У И, УП — услуги общественного питания; ЛТ — текстиль; БП — посуда; Г1П, ПО, ПР — пищевые продукты и продовольственное сырье; ЛД — товары

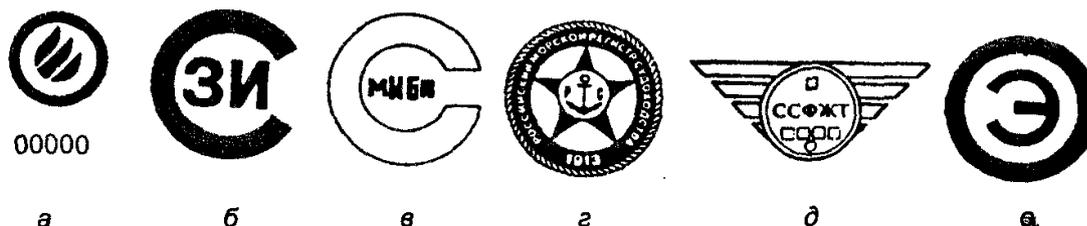
Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

детского ассортимента; ЛК — коженно-обувные изделия. Иногда буквенный индекс не является аббревиатурой наименования объекта: МЕ — электрооборудование; АЮ, АЯ — расширенная область аккредитации. Например, под кодом АЯ46 значится Российский центр испытаний и сертификации — «Ростест — Москва».

Примеры знаков соответствия систем обязательной сертификации ряда федеральных органов исполнительной власти приведены на рис. 5.14 и 5.15.



**Рис. 5.14.** Знаки соответствия системы сертификации на воздушном транспорте Российской Федерации РОСС RU.0001.01АТ01 (Департамент воздушного транспорта Минтранса России):  
а — для продукции; б — для предприятия (организации); в — для персонала;  
г — для систем качества



**Рис. 5.15.** Знаки соответствия систем обязательной сертификации ряда федеральных органов исполнительной власти: а — продукции и услуг в области пожарной безопасности РОСС RU.0001.01ББ00; б — средств защиты информации по требованиям безопасности информации РОСС RU.10001.01БИ00; в — медицинских иммунобиологических препаратов РОСС RU.10001.01ИП00; г — морских гражданских судов РОСС RU.10001.01МФ00; д — на федеральном железнодорожном транспорте РФ РОСС RU.10001.01ЖТ00; е — по экологическим требованиям РОСС RU.10001.01ЭТ00

На рис. 5.16 приведены примеры знаков соответствия систем добровольной сертификации.

Маркирование продукции знаком соответствия осуществляет изготовитель (продавец). Изготовителю (продавцу) право маркирования знаком соответствия предоставляется лицензией, выданной ОС.

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

Знак соответствия ставится на изделие и (или) тару, сопроводительную техническую документацию. Знак соответствия наносят на тару при невозможности нанесения его непосредственно на продукцию (например, для газообразных, жидких и сыпучих материалов и веществ).



**Рис. 5.16.** Знаки соответствия систем добровольной сертификации: а — АОЗТ Мосэкспертиза (система МЭКС); б — средств и систем в сфере информатизации; в — средств измерений; г — морской техники «Артур»; д — продукции машиностроения и приборостроения «Абрис»; е — сборочно-сварочных работ

*Инспекционный контроль за сертифицированным объектом* проводится органом, выдавшим сертификат, если это предусмотрено схемой сертификации. Он проводится в течение всего срока действия сертификата — обычно один раз в год в форме периодических проверок. В комиссии органа по сертификации при инспекционном контроле могут участвовать специалисты территориальных органов Госстандарта России, представители обществ потребителей и других заинтересованных организаций.

Инспекционный контроль включает в себя анализ информации о сертифицированном объекте и проведение выборочных проверок образцов продукции, услуг или элементов системы качества. При контроле сертифицированного специалиста проверяется соответствие его работы принятым критериям.

**Аккредитация органов по сертификации и испытательных  
(измерительных) лабораторий**

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

По закону «О техническом регулировании» аккредитация органов по сертификации и испытательных лабораторий (центров) осуществляется в целях:

- ✓ подтверждения компетентности органов по сертификации и испытательных лабораторий (центров), выполняющих работы по подтверждению соответствия;
- ✓ обеспечения доверия изготовителей, продавцов и приобретателей к деятельности органов по сертификации и аккредитованных испытательных лабораторий (центров);
- ✓ создания условий для признания результатов деятельности органов по сертификации и аккредитованных испытательных лабораторий (центров).

Аккредитация этих органов осуществляется на основе принципов:

- ✚ добровольности;
- ✚ открытости и доступности правил аккредитации;
- ✚ компетентности и независимости органов, осуществляющих аккредитацию;
- ✚ недопустимости ограничения конкуренции и создания препятствий пользованию услугами органов по сертификации и аккредитованных испытательных лабораторий (центров);
- ✚ обеспечения равных условий лицам, претендующим на получение аккредитации;
- ✚ недопустимости совмещения полномочий по аккредитации и подтверждению соответствия;
- ✚ недопустимости установления пределов действия документов об аккредитации на отдельных территориях.

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

В зарубежных странах аккредитация является самостоятельным видом деятельности, регламентируемым соответствующими нормативными документами, выполнение требований которых служит гарантией единства и сопоставимости оценок компетентности аккредитованной организации. А это обеспечивает доверие к результатам испытаний и сертификации..

Госстандартом РФ выработаны принципы организации системы аккредитации в РФ, которые нашли отражение в основополагающих стандартах ГОСТ Р серии 51000, гармонизованных с руководствами ИСО/МЭК, европейскими стандартами серии EN 45000, положениями Международной конференции по аккредитации испытательных лабораторий (ИЛАК). Общее руководство и координацию деятельности по аккредитации осуществляет специально созданное самостоятельное подразделение Госстандарта — отдел по аккредитации, который сертификацией не занимается. .

*Российская система аккредитации (РОСА)* представляет собой совокупность организаций, участвующих в деятельности по аккредитации, аккредитованных органов по сертификации, испытательных лабораторий, других субъектов, а также установленных норм, правил, процедур, которые определяют действие этой системы (рис. 5.17).

Объектами аккредитации являются организации, осуществляющие деятельность в области оценки соответствия: испытательные лаборатории, органы по сертификации, контролирующие организации; метрологические службы юридических лиц; организации, осуществляющие специальную подготовку экспертов.

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

Система аккредитации устанавливает требования к объектам аккредитации, аккредитующему органу; правила и процедуры системы, причем аккредитующий орган в каждом конкретном случае имеет право устанавливать дополнительные критерии в соответствии с особенностями объекта аккредитации.

Участниками российской системы аккредитации являются: Совет по аккредитации и РФ (Совет), аккредитующие органы и технические центры по видам деятельности, объекты аккредитации и аккредитованные организации, эксперты по аккредитации. Рассмотрим их функции.



Рис. 5.17. Российская система аккредитации (РОСА) по ГОСТ Р 51000.1-95

Совет решает вопросы, относящиеся к принципам проведения единой технической политики в области аккредитации; исследованиям по аккредитации; координации деятельности аккредитованных органов, экономическим аспектам аккредитации; международному сотрудничеству

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

в области аккредитации; анализу итогов деятельности по аккредитации; ведению объединенного реестра аккредитованных объектов и экспертов по аккредитации. *Рабочие органы Совета* — технический секретариат, рабочие группы (из числа членов Совета) и комиссия по апелляциям.

*Аккредитующий орган* проводит аккредитацию организаций, осуществляющих деятельность в законодательно регулируемой (обязательной) сфере. Аккредитацию в добровольной сфере имеет право осуществлять юридическое лицо, отвечающее требованиям к аккредитующим органам.

Госстандарт помимо выполнения им функций аккредитующего органа разрабатывает общие процедуры аккредитации, требования к аккредитующим органам, объектам аккредитации и экспертам, к документам по аккредитации и взаимодействует с международными, региональными и зарубежными организациями по аккредитации.

Основные функции аккредитующего органа связаны с реализацией единой политики по аккредитации в России. Важнейшей функцией аккредитующего органа является разработка правил по признанию других систем аккредитации, в том числе зарубежных.

Требования к аккредитующему органу регламентируются ГОСТ Р 51000.2-95.

*Технический центр* выполняет работу, которую поручает ему аккредитующий орган. Это может быть: предварительное рассмотрение заявок на аккредитацию, проведение экспертизы документов, подготовка программ аттестации заявителей и инспекционного контроля аккредитованных организаций, рассмотрение результатов аттестации и инспекционного контроля и подготовка по ним проекта решения и др.

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

Система аккредитации предусматривает повторную аккредитацию, доаккредитацию, аккредитацию, на компетентность и аккредитацию с целью предоставления полномочий на право проведения работ по сертификации.

*Повторная аккредитация* проводится не реже, чем раз в пять лет. Продление действия аттестата аккредитации возможно и без повторной аккредитации. Решение об этом принимает аккредитующий орган по результатам инспекционного контроля.

*Доаккредитация* — это аккредитация в дополнительной области деятельности. Этой процедуре подвергается аккредитованная организация, которая претендует на расширение своей области деятельности. Программа и процедура доаккредитации определяются аккредитующим органом.

*Аккредитация на компетентность*, или универсальная аккредитация проводится аккредитующим органом, деятельность которого полностью соответствует международным требованиям, изложенным в Руководстве ИСО/МЭК 61. Предполагается, что аккредитация на компетентность обеспечит доверие к аккредитованному органу (или лаборатории) со стороны заявителей.

*Аккредитация с целью предоставления полномочий на право проведения работ по сертификации в системе* сертификации проводится организацией, получившей свои полномочия соответствующим законодательным актом. Предоставление полномочий необходимо для создания уверенности в том, что испытания, проводимые данной лабораторией, и решения, принимаемые органом по сертификации, достоверны, будут признаваемы заинтересованными сторонами и не вызовут сомнений по отношению к системе сертификации.

## **2. Развитие сертификации на международном, региональном и национальном уровнях**

### **Международная сертификация**

Вопросами сертификации в настоящее время занимаются такие организации, как: Международная организация по стандартизации (ИСО), в частности ее Комитет по оценке соответствия ИСО/КАСКО, Международная электротехническая комиссия (МЭК) и работающая в тесном контакте с ней Международная комиссия по сертификации соответствия электрооборудования (СИН); Генеральное соглашение по тарифам и торговле (ГАТТ); Всемирная торговая организация (ВТО); Европейская экономическая комиссия ООН (ЕЭК ООН); Международный торговый центр (МТЦ); Конференции ООН по торговле и развитию (ЮНКТАД);

Международная конференция по аккредитации испытательных лабораторий (ИЛАК) и др.

*Международная организация по стандартизации (ИСО)* своими разработками содействует гармонизации процедуры сертификации, что, в свою очередь, делает возможным взаимное признание результатов сертификации даже при различиях в национальных законодательных положениях. ИСО содействует в методическом плане также созданию систем сертификации в тех странах, где они пока отсутствуют. В области сертификации ИСО сотрудничает с МЭК, о чем говорят многие совместные руководства. Основополагающим руководством в области сертификации считается руководство ИСО/МЭК 28 «Общие правила типовой системы сертификации продукции третьей стороной», содержащее рекомендации по созданию национальных систем сертификации.

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

ИСО совместно с МЭК разработали ряд руководств, регламентирующих деятельность в области сертификации: руководство ИСО/МЭК-2 «Общие термины и определения в области стандартизации и смежных видах деятельности», руководство ИСО/МЭК-7 «Требования к стандартам, применяемым при сертификации изделий», руководство ИСО/МЭК-16 «Свод правил по системам сертификации третьей стороной на основе соответствующих стандартов», руководство ИСО/МЭК-22 «Информация о заявлении изготовителя о соответствии стандартам или другим техническим условиям» и ряд других руководств (всего свыше 20).

По заказу Международной конференции по аккредитации испытательных лабораторий (ИЛАК) ИСО/МЭК разработано руководство 43 «Квалификационные испытания лабораторий», которое применяется как основополагающий методический документ всеми странами при решении таких вопросов, как оценка уровня работы испытательной лаборатории; определение технической компетентности и области деятельности: оценка эффективности применяемых методов испытаний, аккредитация лаборатории и пр.

*Международная электротехническая комиссия (МЭК)* в отличие от ИСО, занимающейся исключительно методологическими проблемами, разработала международные системы сертификации и разрабатывает стандарты, в частности по безопасности, которые применяются как нормативная база при испытаниях и сертификации соответствующей продукции.

Этой организацией в 1985 г. создана Международная система МЭК (МЭКСЭ) сертификации электрооборудования на соответствие стандартам безопасности, объединяющая 34 страны (в том числе Россию).

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

В рамках Системы сертификации ГОСТ Р действует национальная система сертификации электрооборудования на соответствие стандартам безопасности — ССЭСБ.

ССЭСБ гармонизована с международной системой сертификации МЭКСЭ, а центральный орган этой системы признан членом Комитета сертификационных органов МЭКСЭ.

В 1980 г. в МЭК была создана система сертификации изделий электронной техники с целью содействия международной торговле посредством установления единых требований к этой продукции.

Россия участвует в Системе сертификации изделий электронной техники МЭК как правопреемница СССР, который присоединился к Системе в 1982 г. В соответствии с правилами системы в России существуют Национальная организация по сертификации, Национальный орган по стандартизации и Национальная служба надзора, которые входят в структуру Госстандарта России.

Аккредитованными испытательными центрами по правилам Системы МЭК являются НИИ Электростандарт, а также две испытательные лаборатории по электронным компонентам.

*Европейская экономическая комиссия ООН* приняла рекомендации «*Признание результатов испытаний*», направленные на содействие двусторонним и многосторонним соглашениям о взаимном признании. Этот документ сыграл положительную роль в совершенствовании практики аккредитации испытательных лабораторий.

Важным достижением в работе ЕЭК по сертификации считается принятие (1988 г.) Рекомендаций «*Разработка и содействие заключению международных соглашений по сертификации*». Согласно этому документу правительства стран — членов ЕЭК должны содействовать

заключению дву- и многосторонних соглашений о взаимном признании систем сертификации.

В рамках ЕЭК ООН действует *система омологации (сертификации) оборудования дорожных транспортных средств* на соответствие установленным правилам. Россия участвует в этой системе. В 1992 г. в России введена в действие Система сертификации механических транспортных средств и прицепов в рамках системы ГОСТ Р. В этой системе аккредитовано 19 органов по сертификации (4 по автотехнике и 15 по запасным частям) и 27 испытательных центров (6 по автотехнике и 21 по запасным частям).

*Международная конференция* по аккредитации испытательных лабораторий (ИЛАК) была впервые созвана в 1977 г. (Копенгаген, Дания).

Целью работы конференции является значительное сокращение технических барьеров в торговле путем аккредитации испытательных лабораторий на основе согласованных на международном уровне принципов и процедур, что является важнейшим шагом для установления взаимного доверия к результатам испытаний.

В рамках ИЛАК предусматривается два вида международных соглашений:

- ❖ соглашение по взаимному признанию протоколов испытаний, сертификатов без аккредитации лабораторий;
- ❖ соглашение по взаимному признанию национальных систем аккредитации испытательных лабораторий (с распространением признания и на сертификаты).

ИЛАК не является международной организацией со всеми соответствующими характеристиками — уставом, правилами процедуры, постоянным секретариатом, бюджетом и т. п., а представляет собой

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

международный форум, в работе которого принимают участие специалисты отдельных стран и международные организации, поставившие своей целью обмен информацией и опытом по юридическим и техническим аспектам, возникающим при взаимном признании результатов испытаний продукции, являющейся предметом международной торговли.

Рабочими органами ИЛАК являются комитеты по: проведению конференций; прикладному применению аккредитации в торговле; практике аккредитации; практической работе лабораторий; а также редакционный комитет. Для решения конкретных проблем создаются рабочие органы — целевые группы, которые тесно сотрудничают с ИСО и МЭК.

Задачами ИЛАК являются: обмен информацией и опытом по системам аккредитации испытательных лабораторий и оценке качества результатов испытаний; содействие взаимному признанию результатов испытаний, проводимых национальными аккредитованными лабораториями, путем заключения двусторонних и многосторонних соглашений по признанию систем аккредитации лабораторий; сотрудничество с заинтересованными международными организациями по вопросам, касающимся аккредитации испытательных лабораторий.

Важным направлением работы ИЛАК является разработка рекомендаций по качеству испытаний, проводимых испытательными лабораториями.

Наиболее авторитетными международными системами аккредитации в рамках ИЛАК являются: Система аккредитации МЭКСЭ, Федерация ассоциаций по маслам, семенам и жирам (FOSFA International),

Международная организация по текстильным изделиям из шерсти (Interwoollabs), Судовой Регистр Ллойда.

### **Региональная сертификация**

*Сертификация в ЕС.* В 1985 г. была принята Директива Совета ЕС о технической гармонизации, в которой разграничивается роль основных требований и стандартов. Основные требования обязательны в отличие от требований стандартов. Причем если стандарт гармонизован, то продукция, изготовленная по этому стандарту, считается соответствующей основным требованиям.

В 1988 г. в Брюсселе на симпозиуме западноевропейских стран разработаны рекомендации по созданию единых для ЕС принципов сертификации и испытаний. Установлены более высокие ступени в развитии подходов ЕС к вопросам, касающимся сертификации и испытаний продукции:

- ❖ предлагается предприятиям стран ЕС внедрить системы управления качеством на базе стандартов EN 29001, EN 29002 и EN 29003;
- ❖ утверждаются единые для Сообщества критерии оценки компетентности и независимости испытательных лабораторий, органов по аккредитации и сертификации.

Созданный Комиссией ЕС банк данных «Сертификат» содержит информацию о всех существующих в Европе системах сертификации, методиках испытаний, лабораториях и испытательных центрах и т. п.

В 1989 г. в ЕС была принята *Глобальная концепция* гармонизации правил по оценке соответствия. Согласно директивам соответствие может быть оценено самим изготовителем, в результате чего заявлением-декларацией он подтверждает соответствие товара требованиям

директивы и удостоверяет это путем маркировки товара знаком (рис. 5.18).

В Европе функционируют две региональные организации по аккредитации: *Европейское сотрудничество по аккредитации органов по сертификации продукции, систем качества, персонала* (EAC) и *Европейское сотрудничество по аккредитации лабораторий (испытательных и калибровочных), а также органов по обучению персонала и контролирующих организации* (HAL). Общая цель этих организаций — способствовать доверию рынка к сертификатам, выдаваемым сертификационными органами, которые аккредитованы этими организациями. Деятельность EAL и EAC базируется на правилах и процедурах, соответствующих европейским стандартам EN 45000, что также способствует созданию условий для взаимного признания результатов испытаний и сертификации.



**Рис. 5.18.** Знак соответствия Директиве ЕС

С целью установления взаимопонимания и взаимного доверия между европейскими организациями и странами в 1990 г. на основе Меморандума о взаимопонимании Комиссией ЕС, Секретариатом ЕАСТ и СЕН/СЕНЭЛЕК была учреждена *Европейская организация по испытаниям и сертификации* (ЕОИС), которая в 1993 г. приобрела статус Международной независимой некоммерческой ассоциации. В ЕОИС входят национальные комитеты по оценке соответствия 18 европейских стран и 8 европейских организаций. В структуре ЕОИС действуют; специализированные комитеты; отраслевые комитеты; группы управления договорами; административная инфраструктура поддержки.

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

*Сертификация в СНГ.* Деятельность по сертификации в странах СНГ основывается на *Соглашении о проведении согласованной политики в области стандартизации, метрологии и сертификации*, подписанном в 1992 г. На основании положений Соглашения страны содружества — участницы Соглашения формируют национальные системы сертификации с учетом руководств ИСО/МЭК и накопленного опыта в данной области.

Подписавшие Соглашение государства договорились о взаимном признании органов по сертификации, испытательных лабораторий, результатов испытаний и сертификации, сертификатов и знаков соответствия на взаимопоставляемую продукцию. Сертификационные испытания могут проводиться в аккредитованной лаборатории любой страны.

Нормативной базой сертификации признаны международные, межгосударственные или национальные стандарты, признанные в государствах — участниках Соглашения.

Поскольку российская Система ГОСТ Р в большей степени гармонизована с международными правилами, страны СНГ взяли за основу составления методических документов по сертификации российские правила и другие разработки.

Знаки соответствия национальных систем сертификации стран СНГ приведены на рис. 5.19.

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

АЗЕРБАЙДЖАН



АРМЕНИЯ



ГРУЗИЯ



БЕЛАРУСЬ



ТУРКМЕНИСТАН



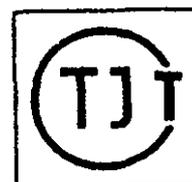
УЗБЕКИСТАН



КЫРГЫЗСТАН



ТАДЖИКИСТАН



КАЗАХСТАН



МОЛДОВА



УКРАИНА



Рис. 5.19. Знаки соответствия национальных систем сертификации стран СНГ

АЗЕРБАЙДЖАН



АРМЕНИЯ



ГРУЗИЯ



БЕЛАРУСЬ



ТУРКМЕНИСТАН



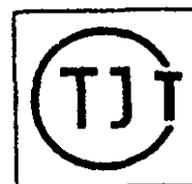
УЗБЕКИСТАН



КЫРГЫЗСТАН



ТАДЖИКИСТАН



КАЗАХСТАН



МОЛДОВА



УКРАИНА



Рис. 5.19. Знаки соответствия национальных систем сертификации стран СНГ

Важное значение для стран-участниц имеет договоренность о *Евро-Азиатской региональной организации по аккредитации* по образцу и подобию Европейской организации по аккредитации лабораторий (EAL).

### **Национальные организации по сертификации в зарубежных странах**

В целях расширения внешней торговли и упрочения своих позиций на внешнем рынке в работе международных организаций участвуют национальные организации многих стран.

**Сертификация в США.** В США действуют законы по безопасности различных видов продукции, которые и служат правовой основой сертификации соответствия. Согласно этим законам обязательной сертификации подлежит продукция, на которую принят государственный стандарт, а также закупаемая государством на внутреннем и внешнем

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

рынках. Обязательная сертификация контролируется государственными органами.

Добровольная сертификация проводится по заявлению потребителей или изготовителей продукции на соответствие предлагаемым ими нормативным документам.

В США действуют три основные категории программ (систем) сертификации, которые утверждает Федеральное правительство:

- *1-я категория* — сертификация товаров и услуг на безопасность.

Все эти программы обязательны;

- *2-я категория* — программы по проверке образцов продукции и производств, заменяющие сплошной контроль. Используются при обязательной и добровольной сертификации для товаров, которые потребляются в государственных учреждениях; .

- *3-я категория* — программы оценки качества и условий производства до поступления продукции в торговлю. Используются для обязательной и добровольной сертификации.

Кроме утвержденных правительством в США есть программы сертификации, которые организуются в частном секторе. Их услугами пользуются не только фирмы США, но и экспортеры из других стран.

Нормативной базой сертификации являются стандарты, которые разрабатываются: *Американским обществом по испытаниям материалов (ASTM)* — для широкого диапазона потребительских товаров; *Национальной ассоциацией изготовителей электрооборудования (NEMA)* — для электротехнических товаров и электрооборудования; *Комиссией по безопасности товаров широкого потребления (CPSC)* — для товаров широкого потребления; *Федеральным агентством по защите окружающей среды (EPA)* — для сертификации различных производств, двигателей

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

внутреннего сгорания, наземного, водного и воздушного транспорта и т. п.; *Национальным институтом стандартов и технологий (NIST)* — правительственным органом по стандартизации, который разрабатывает обязательные стандарты.

Общее руководство сертификацией в стране осуществляет Сертификационный комитет, действующий в составе NIST, который также координирует работы по стандартизации и представляет США в ИСО, МЭК и других международных организациях.

**Сертификация в Германии.** Правовой базой сертификации в Германии служат законы в области охраны здоровья и жизни населения, защиты окружающей среды, безопасности труда, экономии ресурсов, защиты интересов потребителей. С 1990 г. в стране действует закон об ответственности за изготовление недоброкачественной продукции, который гармонизован с законодательством стран — членов ЕС и служит законодательной базой для сертификации в рамках единого рынка. В общенациональную систему сертификации Германии входят следующие системы:

- А — система сертификации соответствия регламентам;
- А1 — система сертификации соответствия стандартам DIN охватывает все виды изделий, на которые установлены требования в стандартах DIN. Руководит ею Германский институт стандартизации. Изделия, соответствующие требованиям стандартов DIN, маркируются знаком **DIN GEPRUFT**;
- А2 — система сертификации VDE. Это система Союза электротехников (VDE), поддерживаемая Институтом сертификации и испытаний (PZI). Изделия маркируются знаком **VDE**;

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

- АЗ система сертификации DVGW. Это система сертификации Ассоциации фирм по газо- и водоснабжению. На поставляемое на рынок Германии газовое оборудование должно иметь знак соответствия **DVCJW**;
- В — система сертификации Германского института гарантии качества и маркировки RAL. Область распространения этой системы - сельскохозяйственные товары и строительные материалы. Знак соответствия — RAL;
- С — система сертификации на знак **GS**, которая подтверждает соответствие изделий требованиям Закона о безопасности приборов;
- D — система надзора за соответствием строительных конструкций федеральным нормам;
- E — система сертификации средств измерений и эталонов. Федеральным органом в области метрологии является Федеральный физико-технический институт;
- F — система сертификации соответствия разделу 24 Германского промышленного законодательства. Эта система занимается сертификацией паровых котлов, баллонов высокого давления, средств транспортировки горючих жидкостей, взрывозащищенного электрооборудования, подъемных устройств.

Практическую работу по сертификации систем качества в Германии ведут ряд организаций, в том числе *Общество по сертификации систем качества (DQS)*.

**Сертификация в Англии.** В Англии подтверждение соответствия изделия требованиям Британского стандарта и присвоение знака соответствия предоставлено Британскому институту стандартов. Примером негосударственной организации в Англии является *Британский*

*Ллойд*, сертификаты которого признаются судовладельцами во всех странах мира.

**Сертификация во Франции.** За сертификацию отвечает *Французская ассоциация по стандартизации (APNOR)*.

Организационно сертификация построена по отраслевому принципу и постоянно взаимодействует с системой стандартизации как в плане соответствия требованиям национальных стандартов, так и в плане разработки новых требований и норм.

Кроме APNOR сертификацией управляют органы государственного и отраслевого уровня: *Французский центр внешней торговли (CNCE)*, *Центр информации о нормах и технических регламентах (CINR)*, *Союз электротехников (UTE)*.

Оценка соответствия во Франции имеет несколько форм: подтверждение соответствия европейским директивам; заявление-декларация изготовителя о соответствии продукта европейскому стандарту; добровольная сертификация на соответствие национальным стандартам Франции; контроль безопасности продукции, находящейся в продаже.

Национальной системой является система сертификации на соответствие государственному стандарту, что удостоверяется знаком *NF*, который применяется для всех видов товаров. Но для электротоваров есть свои знаки, например, для бытовых электроприборов — *NF ELECTRICITE*.

Сертификация на знак *ЛТ<sup>7</sup>* имеет добровольный характер. Исключение составляет продукция медицинского направления (материалы, лекарства, оборудование), где испытания, в том числе и клинические, обязательны. Такие товары маркируются знаком *NF-MEDICAL*,

**Сертификация в Японии.** В Японии действуют три формы сертификации: обязательная сертификация, подтверждающая соответствие законодательным требованиям; добровольная сертификация на соответствие национальным стандартам, которую проводят органы, уполномоченные правительством; добровольная сертификация, которую проводят частные органы по сертификации.

В законах Японии вводятся категории по некоторым видам продукции, характеризующие степень их опасности для пользователя. Например, для электротехнических изделий установлены категории А и Б. Для категорий используют разные схемы сертификации и знаки соответствия.

Для более опасных товаров (категория А) предусмотрена сертификация третьей стороной, а для изделий категории Б — заявление-декларация изготовителя.

Для проведения сертификации систем качества в Японии создана *Японская ассоциация по сертификации систем качества (JAB)*.

Аккредитация органов по сертификации и организаций, занимающихся подготовкой аудиторов, осуществляется аудиторами JAB, назначаемыми ее генеральным директором. По линии JAB аккредитованы такие крупные центры, как Центр сертификации систем качества Японской ассоциации по стандартизации (JSA-Q), Центр по контролю газового оборудования (JIA-QA), Центр сертификации систем качества Ассоциации по безопасности сосудов, работающих под давлением (КНК-QA) и др.

При сертификации аудиторов JAB выдает сертификаты трех категорий: главного аудитора, аудитора и помощника аудитора.

## ЛЕКЦИЯ ТЕМА №2.1.1 «КЛАССИФИКАЦИЯ И ОСНОВНЫЕ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ»

### ВОПРОСЫ

1. Классификация электроизмерительных приборов и технические требования, предъявляемые к ним.
2. Основные системы электроизмерительных приборов:
  - Приборы электромагнитной системы;
  - Приборы электродинамической системы;
  - Приборы магнитоэлектрической системы;
  - Приборы индукционной системы.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Электротехника и электроника: учебное пособие для вузов/ Под ред. В.В. Кононенко. – Ростов н/Д: Феникс, 2008. – 778 с.

### **1. Классификация электроизмерительных приборов и технические требования, предъявляемые к ним**

Электроизмерительные приборы классифицируют по различным признакам.

По роду *измеряемой величины* электроизмерительные приборы подразделяют на амперметры, вольтметры, ваттметры, счетчики электрической энергии, фазометры, частотомеры, омметры и т. д. Условное обозначение по роду измерительной величины (табл. 1) наносится на лицевую сторону прибора. На шкалах электроизмерительных приборов указывают также условные обозначения, отражающие род измеряемого тока, класс точности прибора, испытательного напряжения изоляции, рабочего положения прибора и т. д. (табл. 2).

Таблица 1.

*Классификация электроизмерительных приборов по роду измеряемой величины.*

Наименование прибора	Условное обозначение
Амперметр	A
Вольтметр	V
Вольтамперметр	VA

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

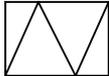
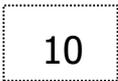
Ваттметр	W
Варметр	var
Микроамперметр	$\mu A$
Миллиамперметр	mA
Милливольтметр	mV
Омметр	$\Omega$
Мегаомметр	M $\Omega$
Частотомер	Hz
Волномер	$\lambda$
Фазометр: измеряющий сдвиг фаз	$\varphi$
измеряющий коэффициент мощности	cos $\varphi$
Счетчик ампер-часов	Ah
Счетчик ватт-часов	Wh
Счетчик вольт-ампер-часов реактивный	varh
<i>Вольтметр с цифровым отчетом</i>	
<i>Вольтметр с непрерывной регистрацией</i>	
Амперметр, подвижная часть которого отклоняется в обе стороны от нулевой стрелки	
Гальванометр	
Осцилограф	

Таблица 2.

*Условные обозначения на измерительных приборах.*

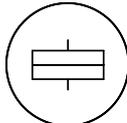
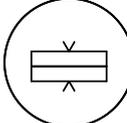
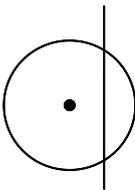
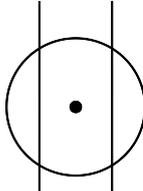
Значение условного обозначения	Условное обозначение
Прибор постоянного тока	-
Прибор постоянного и переменного тока	≡
Прибор переменного тока	~
Прибор трехфазного тока	≡
Рабочее положение шкалы горизонтальное	□
Рабочее положение шкалы вертикальное	⊥
Рабочее положение шкалы под углом 60 градусов к горизонту	∠60°С
Класс точности 0,5	0,5
Измерительная цепь изолированная от корпуса и испытана напряжением 3 кВ	
Прибор испытанию прочности изоляции не подлежит	
Осторожно! Прочность изоляции измерительной цепи по отношению к корпусу не соответствует нормам (знак выполняется красным цветом)	
Защита от внешних магнитных полей 3 мТл	
Защита от внешних электрических полей 10кВ/м	
Направление ориентации прибора в магнитном поле Земли.	

Измерительные приборы бывают аналоговыми и цифровыми. *Аналоговыми* называют измерительные приборы, показания которых являются непрерывной функцией измеряемой величины. *Цифровыми* называют измерительные приборы, показания которых выражены в цифровой форме.

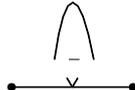
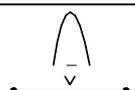
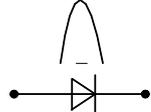
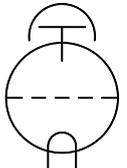
В зависимости от вида получаемой информации измерительные приборы подразделяют на показывающие, интегрирующие, суммирующие (табл. 3).

Таблица 3.

Условные обозначения на измерительных приборах.

Система прибора 1	Условное обозначение 2
Магнитоэлектрическая:	
с подвижной рамкой и механической противодействующей силой	
с подвижными рамками без механической противодействующей силы (логометр)	
Электромагнитная:	
с механической противодействующей силой	
без механической противодействующей силы	
Электродинамическая (без экрана):	
с механической противодействующей силой	
без механической противодействующей силы	
Ферродинамическая:	
с механической противодействующей силой	
без механической противодействующей силы	
Индукционная:	
с механической противодействующей силой	
без механической противодействующей силы	

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

1	2
Электростатическая:	
Тепловая:	
Вибрационная:	
Термоэлектрическая:	
с контактным термообразователем	
с изолированным термообразователем	
Выпрямительная:	
Электронная (ламповая):	
Фотоэлектрическая:	

Наибольшее распространение в электротехнической практике получили *показывающие приборы*, т.е. приборы непосредственной оценки, или прямого отсчета. Приборы этого типа независимо от принципа действия и назначения состоят из двух основных частей: измерительной цепи и измерительного механизма. Простейшая измерительная цепь, например, вольтметра, представляет собой катушку с последовательно подсоединенным добавочным сопротивлением. При постоянном сопротивлении такой цепи через катушку проходит ток, пропорциональный измеряемому напряжению.

В простейшем амперметре измерительная цепь состоит из измерительной катушки, последовательно подключенной к электрической сети, в которой необходимо измерить ток.

Измерительный механизм предназначен для преобразования подводимой к нему электрической энергии в механическую энергию перемещения подвижной части прибора и связанной с ней стрелкой или другим указательным устройством, каждому положению которого

соответствует определенное значение измеряемой величины. Одинаковый по конструкции измерительный механизм в сочетании с различными измерительными цепями можно применять для измерения различных электротехнических величин (тестер).

К электроизмерительным приборам предъявляются следующие основные требования:

- 1) погрешность прибора не должна превышать указанного на лицевой стороне предела (класса точности) и не должна изменяться с течением времени;
- 2) шкала прибора должна быть проградуирована в единицах СИ;
- 3) прибор должен быть снабжен успокоительной системой;
- 4) магнитные и электрические поля, температура окружающей среды не должны оказывать заметного влияния на показания прибора;
- 5) прибор должен потреблять минимальное количество энергии и должен выдерживать установленную соответствующим ГОСТом перегрузку.

## ***2. ОСНОВНЫЕ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ***

### ***2.1. Приборы электромагнитной системы***

Принцип действия приборов электромагнитной системы основан на механизме втягивания подвижного ферромагнитного сердечника внутрь неподвижной катушки под действием ее магнитного поля, создаваемого в катушке проходящим через нее измеряемым током.

Наиболее широко распространены электромагнитные приборы с плоской катушкой (рис. 1).

Прибор состоит из прямоугольной неподвижной катушки 4, через которую проходит измеряемый ток. Катушка имеет узкую щель, в которую может входить сердечник, выполненный в виде тонкого лепестка 3 из магнитомягкой стали и закрепленной эксцентрично на оси 7 прибора. К этой же оси прикреплены указательная стрелка 2, спиральная пружина 5 и балансировочные грузы 6 и (или) может крепиться поршень воздушного успокоителя. Концы оси прибора удерживаются в подшипниках. Ток  $I$ , проходя через витки катушки, создает магнитный поток, который, намагничивая стальной сердечник, втягивает его в катушку, причем тем сильнее, чем больше магнитная индукция поля катушки. При втягивании стального сердечника ось прибора отклоняется и стрелка отклоняется на некоторый угол  $\alpha$ .

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

Электрическая сила, действующая на стальной сердечник и вызывающая его перемещение, может быть выражена через соответствующее этому перемещению изменение энергии магнитного поля:

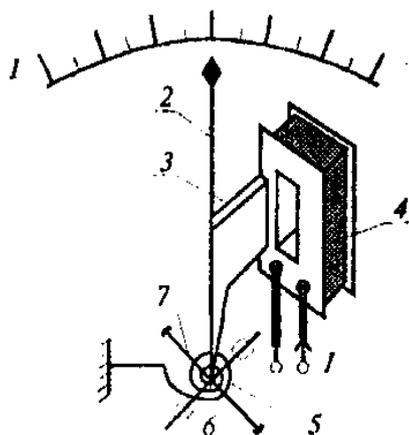


Рис. 1. Прибор электромагнитной системы.

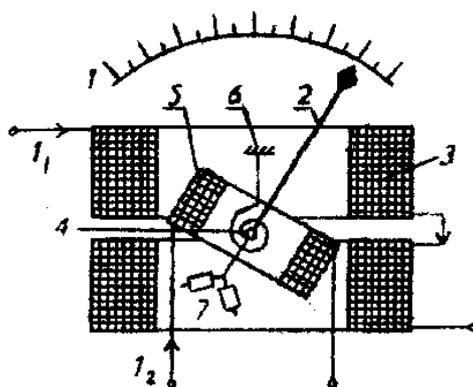


Рис. 2. Прибор электродинамической системы.

$$F_{\text{ЭМ}} = \frac{dW_M}{dX}.$$

При повороте подвижной части прибора на угол  $d\alpha$  при плече  $r$  за счет приложенной силы  $F_{\hat{Y}}$  переменная  $dX = rd\alpha$ . Тогда вращающий момент

$$M_{BP} = F_{\hat{Y}} \cdot r = \frac{dW_M}{d\alpha}.$$

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

Так как энергия магнитного поля катушки электромагнитного прибора  $W_M = L \cdot I^2 / 2$ , то при повороте подвижной части прибора и, естественно, ферромагнитного сердечника изменяется индуктивность  $L$ , а значит, и энергия магнитного поля. Поэтому вращающий момент электромагнитного прибора

$$M_{BP} = \frac{dW_M}{d\alpha} = \frac{1}{2} \cdot I^2 \cdot \frac{dL}{d\alpha}.$$

Противодействующий момент, уравнивающий вращающий момент, пропорционален углу перемещения подвижной части электромагнитного прибора  $\alpha$ , т. е.  $M_{ПР} = K\alpha$ . При установившемся состоянии подвижной части прибора, когда вращающий момент равен противодействующему, имеем  $M_{BP} = M_{ПР}$ , или

$$\frac{1}{2} \cdot I^2 \cdot \frac{dL}{d\alpha} = K\alpha,$$

откуда получаем зависимость, описывающую угол перемещения подвижной части электромагнитного прибора:

$$\alpha = \frac{1}{2} \cdot I^2 \cdot \frac{dL}{d\alpha} \cdot \frac{1}{k}. \quad (2)$$

Из выражения (2) видно, что угол перемещения подвижной части прибора, пропорционален квадрату измеряемого тока и изменению индуктивности прибора при повороте его подвижной части, т.е.  $dL/d\alpha$ .

При изменении направления тока в катушке электромагнитного прибора меняются одновременно на противоположные магнитные полюсы ферромагнитного сердечника, вследствие чего направление вращающего момента подвижной части прибора не меняется. Поэтому приборы электромагнитной системы пригодны для измерений в цепях как постоянного, так и переменного токов.

Основные достоинства приборов электромагнитной системы - простота и надежность устройства, высокая перегрузочная способность (сечение провода для катушки может быть взято с запасом), дешевизна и возможность использования для измерений в цепях постоянного и переменного токов.

К недостаткам приборов этой системы можно отнести невысокий класс точности измерений, который обычно не выше 1,0 из-за влияния гистерезиса; относительно большое собственное потребление мощности (в катушках амперметров - до 1 Вт. а в вольтметрах с потреблением мощности в добавочных сопротивлениях - до 6 Вт); неравномерность шкалы (особенно сильно она сжата в начале); низкая чувствительность, из-за чего эти приборы непригодны для измерения малых токов и напряжений; зависимость показаний от внешних магнитных полей, так как собственное поле катушки расположено в воздушной среде и поэтому

его индукция незначительна; ограниченность диапазона частот (не выше 8000 Гц).

Необходимо отметить, что приборы электромагнитной системы из-за дешевизны, простоты устройства и большой перегрузочной способности широко используются в промышленных электротехнических устройствах низкой частоты в виде амперметров и вольтметров.

## 2.2. Приборы электродинамической системы

Принцип действия приборов электродинамической системы основан на взаимодействии проводников с токами. Известно, что два проводника с токами взаимно отталкиваются, если токи в них имеют одинаковое направление, и взаимно притягиваются при различном направлении токов.

Прибор этой системы (рис. 2) состоит из двух катушек: неподвижной 3, состоящей из двух секций, которые соединены между собой последовательно, и подвижной 5, закрепленной на оси 4 и вращающейся на ней внутри неподвижной катушки. Ток к подвижной катушке подводят через закрепленные на оси спиральные пружинки 6, которые одновременно создают противодействующий момент  $M_{\text{пр}}$ , пропорциональный углу закручивания  $\alpha$ . При этом пружина электрически изолирована от оси. На оси подвижной катушки закреплены также указательная стрелка 2 и крыло воздушного успокоителя (на рис. не показан). Для повышения класса точности прибора и его чувствительности обмотку подвижной катушки выполняют из тонкой изолированной проволоки на ток не более 0,5 А.

При прохождении токов по катушкам электродинамического прибора ток подвижной катушки  $I_2$  взаимодействует с магнитным потоком  $\Phi_1$ , созданным током  $I_1$  неподвижной катушки, т.е. создается вращающий момент  $M_{\text{вр}}$ . Его определяют через изменение энергии магнитного поля при повороте его подвижной части, то есть согласно выражению  $M_{\text{вр}} = dW_M / d\alpha$ . При перемещении подвижной катушки изменяются энергия магнитного поля и, следовательно, взаимная индуктивность  $M$  катушек. Энергия магнитного поля взаимной индуктивности

$$W_M = M \cdot I_1 \cdot I_2. \quad (3)$$

Подставляя в выражение вращающего момента значение  $W_M$  из (3) и считая токи подвижной  $I_2$  и неподвижной  $I_1$  катушек неизменными, получают общее выражение вращающего момента для электродинамических приборов:

$$M_{\text{вр}} = I_1 \cdot I_2 \cdot dM / d\alpha. \quad (4)$$

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

Противодействующий момент, уравнивающий вращающий момент, пропорционален углу перемещения подвижной части прибора:  $M_{\text{пр}} = K\alpha$ . При установившемся состоянии подвижной части прибора, когда вращающий момент равен противодействующему, имеем  $M_{\text{вр}} = M_{\text{пр}}$ , или  $I_1 \cdot I_2 \cdot dM / d\alpha = K\alpha$ . Из этого выражения находят зависимость для угла перемещения подвижной части прибора:

$$\alpha = \frac{I_1 \cdot I_2}{K} \cdot \frac{dM}{d\alpha}. \quad (5)$$

Из (5) следует, что угол поворота подвижной части электродинамического прибора пропорционален произведению токов в его катушках и изменению их взаимной индуктивности при повороте подвижной части прибора  $dM / d\alpha$ . На характер изменения взаимной индуктивности можно воздействовать путем подбора формы катушек и их начального взаимного положения.

При использовании электродинамического прибора в качестве амперметра на ток свыше 0,5 А подвижную и неподвижную катушки соединяют параллельно (рис. 3).

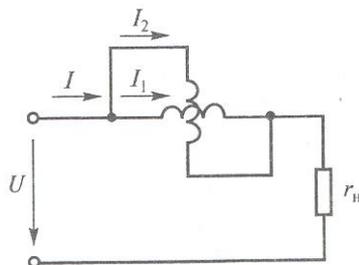


Рис. 3. Схема соединения катушек амперметра при токе более 0,5 А  
При этом:

$$I_1 = K_1 I; \quad I_2 = K_2 I \quad \text{и}$$

$$\alpha_1 = \frac{K_1 K_2}{K} I^2 dM / d\alpha = C_1 I^2 dM / d\alpha,$$

где  $C_1 = \frac{K_1 K_2}{K}$ .

Следовательно, в амперметре электродинамической системы шкала неравномерная (квадратичная), причем в ее начале деления сильно сжаты. Для получения более равномерной шкалы катушкам придают специальную форму.

В вольтметрах электродинамической системы катушки в большинстве случаев соединяют между собой последовательно и снабжают добавочным сопротивлением.

В вольтметрах электродинамической системы шкала прибора, как и в амперметрах этой системы, квадратичная.

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

В отличие от амперметров и вольтметров ваттметры электродинамической системы имеют практически равномерную шкалу.

Так как при одновременном изменении тока в обеих катушках электродинамических приборов направление вращающего момента не изменяется, то эти приборы пригодны для измерений в цепях как постоянного, так и переменного тока.

В цепях переменного тока приборы электродинамической системы применяют в основном для измерения мощности. Они имеют высокую точность, что обусловлено отсутствием ферромагнитных сердечников, и могут использоваться для измерений в цепях постоянного и переменного тока. При измерениях в цепях переменного тока электродинамические приборы являются самыми точными. Их выполняют в основном в виде переносных приборов, имеющих классы точности 0,1; 0,2; 0,5. Высокая точность приборов обусловлена тем, что для создания вращающего момента подвижной части приборов используют магнитные потоки, действующие в воздухе, что исключает возможность возникновения погрешностей из-за вихревых токов, гистерезиса и т. д.

Недостатками приборов электродинамической системы являются зависимость их показаний от внешних магнитных полей из-за незначительного собственного магнитного поля и слабая перегрузочная способность из-за того, что подвод тока к подвижной катушке осуществляется через тонкие спиральные пружинки. Кроме того, эти приборы потребляют довольно значительную мощность, так как для создания достаточного вращающего момента приходится из-за слабости собственного магнитного поля заметно увеличивать число витков неподвижной и подвижной катушек.

Для устранения влияния посторонних магнитных полей на показания приборов и увеличения их вращающего момента электродинамические приборы снабжают ферромагнитными сердечниками, усиливающими собственные магнитные поля катушек. Наличие ферромагнитных сердечников усиливает магнитные поля катушек и, следовательно, вращающий момент подвижной части прибора. Сердечники выполняются из изолированных друг от друга пластин магнитомягких сталей и пермаллоя, что уменьшает погрешности от вихревых токов и надежно защищает приборы от влияния посторонних магнитных полей.

Электродинамические приборы, катушки которых имеют ферромагнитные сердечники, получили название *ферродинамических*. Эти приборы в отличие от электродинамических обладают меньшей точностью из-за влияния гистерезиса и вихревых токов, их высший класс точности 1,5. Ферродинамические приборы применяют главным образом

для измерений в цепях переменного тока в качестве щитовых и самопишущих приборов (благодаря их большому вращающему моменту) в диапазоне частот от 10 до 1500 Гц.

### **2.3. Приборы магнитоэлектрической системы**

Магнитоэлектрическая система измерительных приборов (рис. 4) отличается тем, что в ней используется взаимодействие поля постоянного магнита 1 с токовым контуром катушки 2, внутри которой располагается неподвижный магнитный сердечник 3.

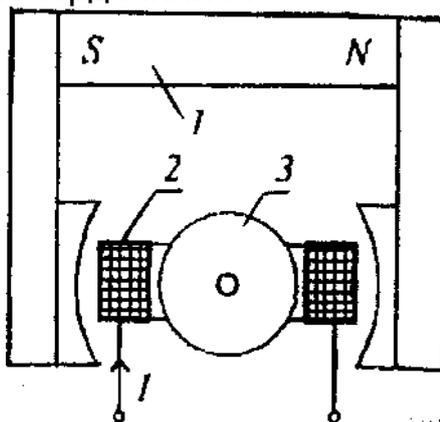


Рис. 4. Магнитоэлектрическая система измерительных приборов

Измерительный механизм такого прибора так же, как и в предыдущем случае, включает в себя ось, установленную в подшипниковых опорах и имеющую противодействующие пружины, указательную стрелку с балансировочными грузами и циферблат. Рамка с катушкой 2 жестко соединена со стрелкой прибора. Ток в рамку поступает через две спиральные пружины. Один конец спиральки закреплен неподвижно на корпусе прибора, а другой - на оси. Конечно, спиральки изолированы специальными прокладками и от оси, и от корпуса. Пружинки выполнены из специальной фосфористой бронзы. Они хорошо проводят электрический ток и обладают упругими свойствами. Их механические параметры не должны изменяться со временем под влиянием нагрева.

Направление силы, с которой магнит действует на рамку с током, может быть найдено по правилу левой руки.

Магнитоэлектрические приборы пригодны только для измерения токов постоянного направления. Переменный ток низкой частоты вызывает колебания стрелки вправо и влево, а при частоте 50 Гц стрелка прибора не успевает перемещаться вслед за изменением тока и останавливается вблизи нулевой отметки.

В магнитоэлектрическом приборе сильное магнитное поле, поэтому даже небольшой ток создает значительную движущую силу. Это означает, что прибор обладает высокой чувствительностью, позволяет измерять очень маленькие токи.

Сила, действующая на стрелку, пропорциональна току, поэтому и угол поворота стрелки прямо пропорционален току - шкала прибора получается равномерной. Это важное преимущество, так как с равномерной шкалой работать очень удобно. Поскольку магнитная система прибора имеет свое сильное магнитное поле, влияние внешних магнитных полей на работу прибора пренебрежительно мало.

К недостаткам приборов данной системы можно отнести: измерение токов и напряжений только постоянной величины и изменение магнитного поля постоянного магнита с течением времени.

## 2.4. Приборы индукционной системы

Работа приборов индукционной системы основана на использовании явления возникновения вращающегося (или бегущего) магнитного поля, т. е. на способности этих полей создавать вращающий момент, действующий на подвижное металлическое тело, помещенное в такое поле.

Индукционные приборы применяют для измерения тока, напряжения, мощности и энергии в цепях переменного тока. Поэтому принцип действия индукционных приборов рассмотрим на примере работы счетчика электрической энергии однофазного переменного тока (рис. 5).

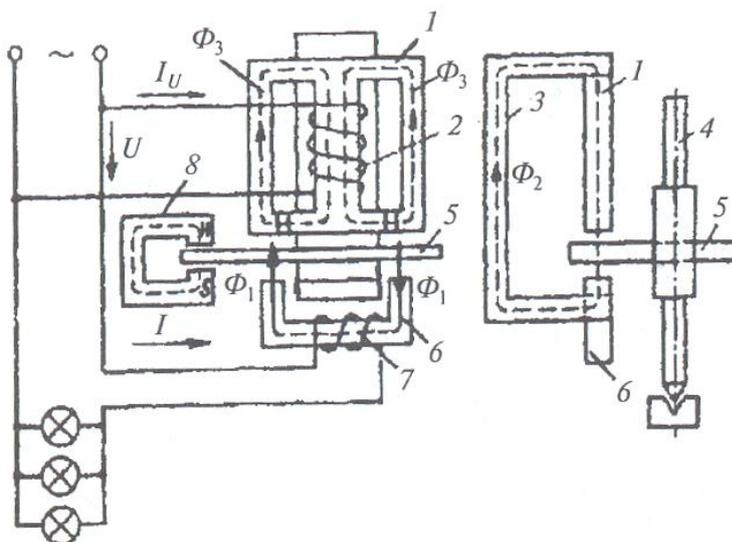


Рис. 5. Магнитоэлектрическая система счетчика электрической энергии однофазного переменного тока

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

В индукционном сердечнике бегущее магнитное поле, создается токами его катушек, индуцирует в алюминиевом подвижном диске вихревые токи. Взаимодействие бегущего магнитного поля с вихревыми токами создает вращающий момент, заставляющий диск вращаться в ту же сторону, в которую вращается поле. Противодействующий момент создается в результате взаимодействия постоянного магнита 8 с наводимыми им во вращающемся алюминиевом диске вихревыми токами. Подвижная часть прибора представляет собой алюминиевый диск 5, укрепленный на оси 4. Неподвижная часть счетчика состоит из двух электромагнитов с сердечниками 1 и 6 и обмотками (намагничивающими катушками) 2 и 7 соответственно. Сердечник 1 является трехстержневым, а катушка 2 состоит из большого числа витков изолированного проводника малого сечения. Эта катушка включается параллельно измеряемой цепи и называется обмоткой напряжения. Ток  $I_U$ , проходящий через катушку напряжения, и магнитный поток этой катушки  $\Phi_U$  пропорциональны приложенному к цепи напряжению  $U$ . Так как индуктивность катушки 2 достаточно велика, то ток  $I_U$  отстает по фазе от

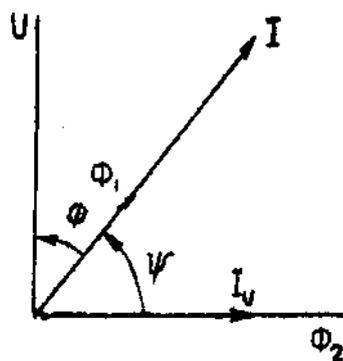


Рис. 6. Векторная диаграмма работы однофазного счетчика напряжения  $U$  на угол  $\pi/2$  (рис.6).

Сердечник 6 имеет П-образную форму. Катушка 7 состоит из небольшого числа витков изолированного провода достаточно большого сечения. Эту катушку включают последовательно с измеряемой цепью и называют *токовой обмоткой прибора*. Ток  $I$  проходящий через катушку 7 и являющийся током нагрузки, создает поток  $\Phi_1$  пропорциональный току  $I$ , причем поток  $\Phi_1$  отстает по фазе от тока  $I$  на некоторый угол, называемый *углом потерь*. Угол потерь весьма мал, так как поток  $\Phi_1$  значительное расстояние проходит через воздух. Токи  $I_U$  и  $I$  и соответственно создаваемые ими магнитные потоки  $\Phi_U$  и  $\Phi_1$  совпадают по фазе (см. рис. 6). Поток  $\Phi_1$ , дважды пересекает алюминиевый диск 5. Ток

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

$I$  и напряжение  $U$  сдвинуты по фазе на угол  $\varphi$ , значение которого зависит от характера нагрузки.

Катушка 2 расположена на среднем стержне сердечника 1, поэтому магнитный поток этой катушки  $\Phi_U$  разветвляется на потоки  $\Phi_2$  и  $\Phi_3$ , один из которых  $\Phi_2$ , проходя по среднему стержню сердечника и участку 3 магнитной цепи, огибает диск и пересекает его. Потоки  $\Phi_3$  не пересекают диска прибора, так как замыкаются по боковым стержням сердечника 1. Следовательно, поток  $\Phi_3$  используют в сердечнике для создания необходимого угла сдвига фаз  $\psi$  между рабочими потоками  $\Phi_1$  и  $\Phi_2$ .

Вращающий момент диска, создаваемый магнитными потоками  $\Phi_1$  и  $\Phi_2$ , пропорционален произведению максимальных значений этих потоков и синусу угла сдвига фаз между ними:

$$M_{BP} = C_1 \Phi_{1m} \Phi_{2m} \sin \psi, \quad (6)$$

где  $C_1$  - коэффициент пропорциональности, зависящий от частоты переменного тока.

Так как можно считать, что магнитный поток  $\Phi_2$  пропорционален напряжению  $U$ , т.е.  $\Phi_2 = C_U U$ , и поток  $\Phi_1$  пропорционален току нагрузки  $I$ , т.е.  $\Phi_1 = C_I I$ , а синус угла сдвига фаз между этими потоками  $\cos \varphi$  (рис. 6), то формулу (6) можно заменить выражением

$$M_{BP} = C_1 C_U C_I U I \cos \varphi = CP, \quad (7)$$

где  $\cos \varphi$  - коэффициент мощности потребителя;  $P$  - активная мощность;  $C_I$  и  $C_U$  - коэффициенты пропорциональности.

Вихревые токи, возникающие в диске при вращении его в поле постоянных магнитов, пропорциональны частоте вращения диска  $n_d$  (об/мин), поэтому противодействующий момент  $M_{ПР} = C_d n_d$ .

При вращении диска с равномерной скоростью его вращающий и противодействующий моменты равны, т.е.  $M_{BP} = M_{ПР}$  или  $CP = C_d n_d$ , откуда частота вращения диска

$$n_d = CP / C_d.$$

Если диск за время  $t$  сделал  $n$  оборотов, то энергия  $A$ , полученная из сети потребителем за это время

$$A = \frac{C_d}{C} n, \quad (8)$$

так как

$$n = \int_0^n n_d dt = \frac{C}{C_d} \int_0^i P dt = \frac{C}{C_d} A.$$

Таким образом, согласно (8), электроэнергия, учитываемая счетчиком, пропорциональна частоте вращения диска. Величина  $A/n = C_d/C$  получила название постоянной счетчика и представляет собой энергию, приходящуюся на один оборот диска.

Счетчик электроэнергии имеет счетный механизм, который связан червячной передачей с осью диска. По показаниям счетного механизма определяют количество электроэнергии, которое израсходовал потребитель.

К достоинствам индукционных счетчиков следует отнести их большую надежность в работе, значительную перегрузочную способность по току ( $\sim 300\%$ ), незначительную чувствительность к внешним магнитным полям и большое значение вращающего момента.

Так как в уравнение (7) входит коэффициент  $C_1$ , зависящий от частоты сети  $f$ , индукционные приборы пригодны для переменного тока одной определенной частоты, что является в какой-то степени недостатком таких приборов. Другим недостатком можно считать зависимость показаний прибора от температуры окружающей среды: с повышением температуры окружающей среды увеличивается сопротивление прибора и уменьшаются вихревые токи, что приводит к уменьшению вращающего момента (примерно на  $0,4\%$  при нагревании на  $1\text{ }^\circ\text{C}$ ).

## ЛЕКЦИЯ ТЕМА №2.2.1 «МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН»

### ВОПРОСЫ

1. Измерение тока, напряжения, трансформаторы тока и напряжения.
2. Измерение мощности и энергии в электрических цепях.
3. Измерение сопротивлений.
4. Понятие о цифровых электроизмерительных приборах.

### ЛИТЕРАТУРА

2. Электротехника и электроника: учебное пособие для вузов/ Под ред. В.В. Кононенко. – Ростов н/Д: Феникс, 2008. – 778 с.

1. Измерение тока, напряжения, трансформаторы тока и напряжения

### Измерение тока

Приборы, предназначенные для измерения тока, получили название амперметров. Приборы, рассмотренные в разделе 3.5, могут служить для

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

измерения и тока, и напряжения. При этом отличаются способы включения их в электрическую цепь и значение сопротивления измерительной цепи прибора. Амперметр включают в цепь таким образом, чтобы через него проходил весь измеряемый ток, т.е. последовательно. Сопротивление амперметра должно быть малым, чтобы в нем не происходило заметного падения напряжения.

Для измерения постоянного тока используют преимущественно амперметры магнитоэлектрической системы и реже приборы электромагнитной системы, а для измерения переменного тока частотой 50 Гц в основном применяют амперметры электромагнитной системы.

Непосредственное включение амперметра в цепь измеряемого тока не всегда возможно, так как в некоторых случаях измеряемый ток во много раз превосходит необходимый для полного отклонения подвижной системы прибора. В этих случаях при измерении постоянного тока параллельно амперметру включают шунт, через который проходит большая часть измеряемого тока (рис. 7).

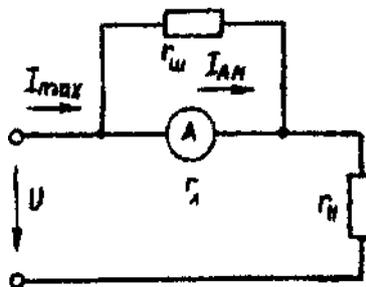


Рис. 7. Схема включения амперметра при большом значении измеряемого тока

Согласно первому закону Кирхгофа, максимальное значение измеряемого амперметром тока при наличии шунта

$$I_{\max} = I_{АН} + I_{Ш},$$

где  $I_{\max}$  - максимальное значение тока в цепи;  $I_{АН}$  - номинальное (предельное) значение тока амперметра в отсутствие шунта;  $I_{Ш}$  - ток, проходящий через шунт.

Так как амперметр и шунт включены параллельно, то токи между шунтом и амперметром распределяются обратно пропорционально их сопротивлениям:

$$I_{АН} / I_{Ш} = r_{Ш} / r_A,$$

откуда находим сопротивление шунта:

$$r_{Ш} = I_{АН} r_A / I_{Ш} = I_{АН} r_A / (I_{\max} - I_{АН}) = r_A (n - 1),$$

где  $r_A$  - внутреннее сопротивление амперметра;  $n = I_{\max}/I_{AN}$  - коэффициент, доказывающий, во сколько раз расширяются пределы измерения.

Так как  $I_{\max}/I_{AN} = I/I_A$ , то ток в цепи при заданной нагрузке

$$I = n \cdot I_A,$$

где  $I_A$  - показание амперметра. Если шкалу амперметра отградуировать с учетом шунта, то можно определять значение измеряемого тока  $I$  непосредственно по показаниям прибора.

При измерении переменных токов шунты не применяют. Это объясняется тем, что распределение токов между шунтом и амперметром определяется не только их активным сопротивлением, но и реактивным сопротивлением прибора, которое зависит от частоты. Поэтому для расширения пределов измерения амперметров в цепях переменного тока используют измерительные трансформаторы тока. Их мы рассмотрим чуть позже.

## 1.2. Измерение напряжения

Электроизмерительные приборы, предназначенные для измерения напряжения, называют вольтметрами. Их включают параллельно участку (элементу) электрической цепи, на котором измеряется напряжение. Вольтметр должен иметь очень большое сопротивление по сравнению с сопротивлением элемента цепи, на котором измеряется напряжение. Это необходимо для уменьшения погрешности измерения и для того, чтобы не было изменения режима работы цепи. В самом деле, чем больше сопротивление вольтметра, тем меньший ток проходит через него и тем меньше расходуется в нем энергии, а, следовательно, тем меньшее влияние оказывает включение прибора на режим работы цепи.

Для расширения пределов измерений вольтметров в цепях постоянного тока с напряжением до 1000 - 4500 В служат добавочные резисторы, включаемые последовательно с прибором (рис. 8). В цепях переменного тока напряжением свыше 1000В для расширения пределов измерений используют измерительные трансформаторы напряжения.

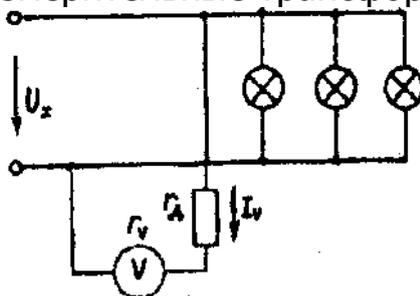


Рис. 8. Схема включения ваттметра с добавочным резистором

При включении последовательно с вольтметром добавочного резистора сопротивление последнего определяют из следующих соображений: допустим, вольтметром с сопротивлением  $r_V$ , рассчитанным на номинальное напряжение  $U_{НОМ}$ , необходимо измерить напряжение  $U_{xmax}$ , которое в  $n$  раз больше  $U_{НОМ}$ . В этом случае необходимо соблюдать условие, при котором ток, проходящий через вольтметр, был бы одинаковым при обоих напряжениях, т.е.

$$I_V = U_{НОМ} / r_V = U_{xmax} / (r_V + r_D) = U_{НОМ} n / (r_V + r_D),$$

откуда

$$r_D = r_V (n - 1)$$

и фактически измеряемое напряжение

$$U_x = n U_V,$$

где  $U_V$  – показание вольтметра

Шкалу вольтметров в большинстве случаев градуируют с учетом добавочного сопротивления  $r_D$ . При этом вольтметр может быть выполнен на несколько пределов измерения, для чего он снабжается несколькими добавочными сопротивлениями и соответствующим переключателем шкалы на лицевой стороне прибора.

Для измерения напряжения в цепях постоянного тока применяют магнитоэлектрические вольтметры, а в цепях переменного тока – электромагнитные и электродинамические. При измерении малых переменных напряжений используют выпрямительные и электронные милливольтметры, причем при повышенных частотах преимущественно электронные.

### 1.3. Трансформаторы тока и напряжения

Как уже было отмечено, измерение напряжений сверх 1000 В и токов выше 5 А в цепях переменного тока производится с помощью специальных измерительных трансформаторов напряжения и тока по схемам рис. 9: а – измерение напряжений; б – измерение тока.

Измеряемое напряжение при использовании трансформатора TV

$$U_1 = K_{UD} U_V,$$

где  $U_1$  – показание вольтметра PV;  $K_{UD}$  – действительный коэффициент трансформации трансформатора напряжения.

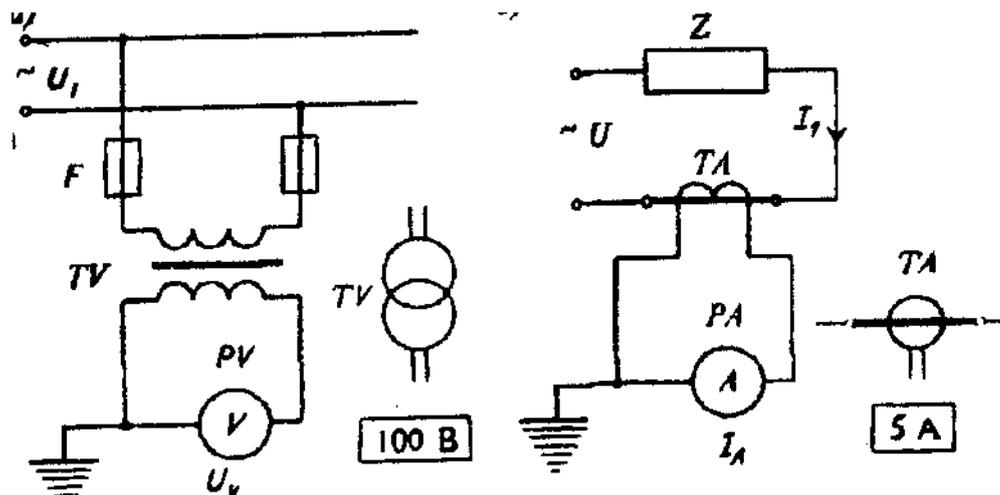


Рис. 9. Схема измерений напряжения свыше 1000 В и тока более а -  
измерение напряжений; б - измерение токов.

Измеряемый ток при использовании трансформатора тока ТА

$$I_1 = k_{ИД} I_A,$$

где  $I_A$  - показание амперметра РА;  $k_{ИД}$  - действительный коэффициент трансформации трансформатора тока, который совпадает с номинальным  $k_{ИН}$  только при номинальной нагрузке потребителя на сеть, ГОСТ 7746-55 устанавливает допустимые погрешности трансформаторов  $f_T$  (%) по классам:

тока -  $0,2 \pm 0,2-0,5$ ;  $0,5 \pm 0,5-1,0$ ;  $1,0 \pm 1,0-2,0$ ;  $3,0 \pm 3,0$ ;  
 $10,0 \pm 10,0$ ;  
напряжения -  $0,2 \pm 0,2-0,5$ ;  $0,5 \pm 0,5-1,0$ ;  $1,0 \pm 1,0-2,0$ ;  $3,0 \pm 3,0$ .

## 2. Измерение мощности и энергии в электрических цепях

В цепи постоянного тока мощность может быть измерена с помощью амперметра и вольтметра, так как  $P=I \times U$ . Однако более точно ее можно измерить электродинамическим ваттметром (рис. 10). Он состоит из катушки с малым сопротивлением, включенной, как амперметр, последовательно и называемой токовой обмоткой, и подвижной катушки с большим сопротивлением, включаемой параллельно и называемой обмоткой напряжения.

Вращающий момент ваттметра пропорционален произведению токов в катушках:

$$M_{BP} = K \cdot I \cdot I_U,$$

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

где  $I$  - ток в неподвижной катушке, практически равный току нагрузки;  $I_U = U/r_U$  - ток в подвижной катушке, т.е. в обмотке напряжения;  $r_U$  - сопротивление цепи подвижной катушки. Следовательно,

$$M_{BP} = K \cdot I \cdot U / r_U = C \cdot U \cdot I = C \cdot P,$$

где  $C$  - коэффициент пропорциональности.

Таким образом, вращающий момент ваттметра пропорционален мощности и его шкала может быть отградуирована непосредственно в ваттах или киловаттах.

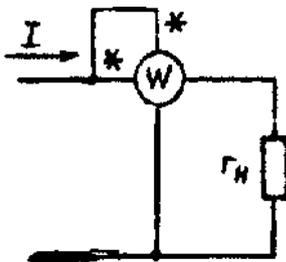


Рис. 10. Измерение мощности в цепях постоянного тока с помощью электродинамического ваттметра

Для измерения активной мощности в цепях переменного тока применяют ваттметры электродинамической системы. Их включают так же, как и при измерениях в цепи постоянного тока. Так как ток  $I_U$  в подвижной катушке пропорционален напряжению  $U$  и практически совпадает с ним по фазе (сопротивление цепи обмотки напряжения ваттметра практически можно считать активным), а ток  $I$  в неподвижной катушке (токовой обмотке) равен току нагрузки, то вращающий момент ваттметра

$$M_{BP} = C \cdot U \cdot I \cdot \cos \varphi = C \cdot P,$$

где  $C$  - коэффициент пропорциональности.

Итак, вращающий момент ваттметра пропорционален измеряемой активной мощности  $P$ , а противодействующий момент МПР пропорционален углу поворота  $\alpha$  подвижной катушки (или стрелки прибора). Поэтому отклонение стрелки прибора пропорционально измеряемой мощности  $P$  и, следовательно, шкалу ваттметра градуируют в ваттах или киловаттах.

Зажимы токовой обмотки и обмотки напряжения ваттметра помеченные звездочками и называемые генераторными, следует подключать в электрическую цепь со стороны источника питания.

В зависимости от характера нагрузки и схемы трехфазной цепи применяется несколько способов измерения мощности.

При симметричной нагрузке активную мощность в трехфазной цепи можно измерить путем замера мощности в одной фазе с помощью ваттметра (рис. 11).

После измерения показания ваттметра  $P_W$ , умножают на 3:

$$P = 3 \cdot P_W,$$

В трехпроводной трехфазной цепи как при симметричной, так и несимметричной нагрузке и любом способе соединения потребителей активную мощность можно измерить с помощью двух ваттметров (рис. 12). Покажем, что алгебраическая сумма показаний ваттметров в этом случае равна активной мощности  $P$  в трехпроводной трехфазной цепи.

Мгновенное значение мощности, измеряемое первым ваттметром,  $p_1 = u_{AB} \cdot i_A$ . Мгновенная мощность, измеряемая вторым ваттметром,  $p_2 = u_{CB} \cdot i_C$ . Сумма мгновенных значений мощностей, измеряемых двумя ваттметрами:

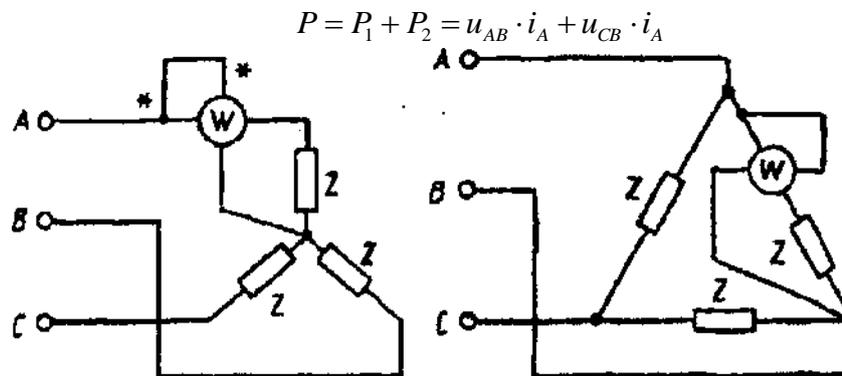


Рис. 11. Схемы измерения активной мощности в трехфазной цепи при симметричной нагрузке: а - при соединении потребителей "звездой"; б - при соединении потребителей "треугольником".

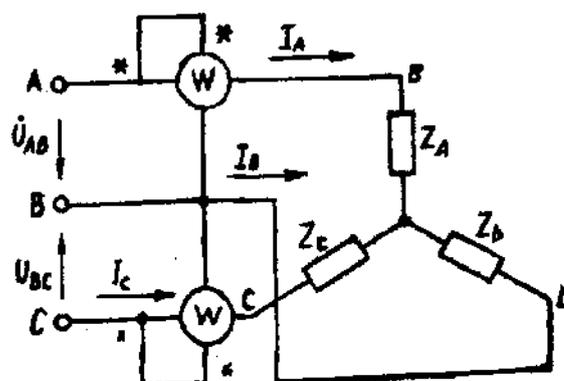


Рис. 12. Схема измерения активной мощности в трехфазной цепи с помощью двух ваттметров.

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

Если линейные напряжения  $u_{AB}$  и  $u_{CB}$ , на которые подключены обмотки напряжения ваттметров, выразить через фазные напряжения

$$u_{AB} = u_A - u_B; \quad u_{CB} = u_C - u_B,$$

$$\text{то } p = u_A i_A - u_B i_A + u_C i_C - u_B i_C$$

$$\text{или } p = u_A i_A + u_C i_C - u_B (i_A + i_C)$$

Так как в трехпроводной трехфазной цепи  $i_A + i_B + i_C = 0$ , то  $i_A + i_C = -i_B$ , а окончательное выражение мощности, измеряемой двумя ваттметрами,

$$P = u_A i_A + u_B i_B + u_C i_C$$

Из этого следует, что суммарная мгновенная мощность, измеряемая двумя ваттметрами, равна активной мощности в трехфазной цепи при соединении потребителей звездой. Подобные же рассуждения можно повторить и для соединения потребителей треугольником, получив при этом одинаковый конечный результат.

Активная мощность трехфазной системы, выраженная через действующие значения напряжений и токов и замеренная по способу двух ваттметров, равна:

$$P = P_{W1} + P_{W2}$$

Измерять активную мощность в четырехпроводной трехфазной цепи при несимметричной нагрузке можно тремя ваттметрами (рис. 13).

Так как в этом случае каждый из ваттметров измеряет активную мощность одной фазы, то мощность в четырехпроводной трехфазной цепи

$$P = P_A + P_B + P_C$$

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

Реактивную мощность в трехпроводной трехфазной цепи при симметричной нагрузке можно измерить одним ваттметром (рис. 14), причем токовая обмотка включается в линейный провод А, а обмотка напряжения - на линейное напряжение UBC (т.е. на "чужое" напряжение).

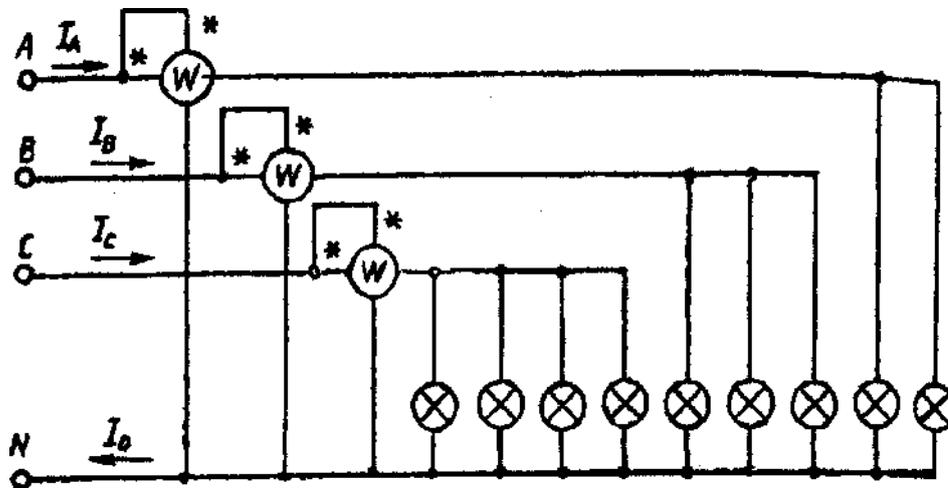


Рис. 13. Измерение активной мощности тремя ваттметрами

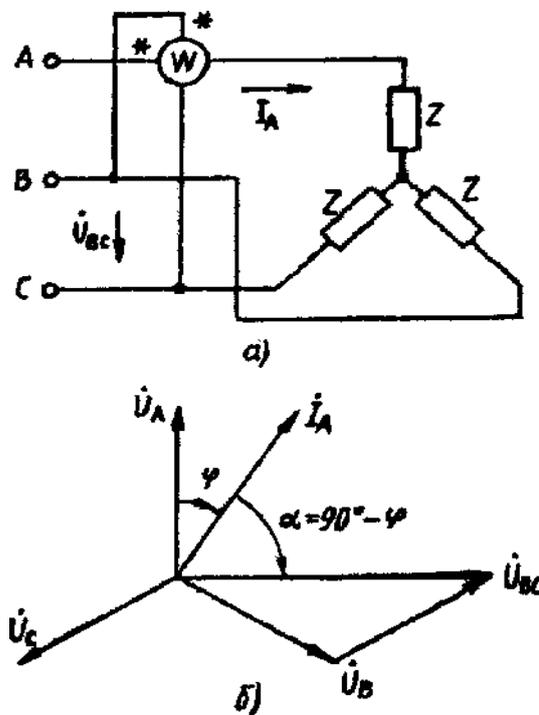


Рис. 14. Измерение реактивной мощности в трехфазной цепи:  
а - электрическая схема; б - векторная диаграмма.

Из векторной диаграммы (рис. 14 б ) видно, что сдвиг фаз между током  $I_A$  и напряжением UBC составляет  $\alpha = 90^\circ - \varphi$ . Тогда показания ваттметра

$$P_w = U_{BC} I_A \cos(90^\circ - \varphi) = U_{ЛЛ} I_{ЛЛ} \sin \varphi$$

Для вычисления реактивной мощности трехфазной трехпроводной цепи при симметричной нагрузке необходимо показания ваттметра умножить на  $\sqrt{3}$ :

$$Q = \sqrt{3} P_w .$$

### 2.1. Измерение энергии в цепях переменного тока

В цепях переменного тока для измерения активной энергии служат однофазные и трехфазные счетчики индукционной системы. Для измерения активной энергии в однофазных и трехфазных цепях однофазные счетчики включают по схемам, аналогичным схемам включения ваттметров (см. рис. 10 и 12). В трехпроводных трехфазных цепях для измерения активной энергии применяют двухэлементные объединяющие измерительные системы двух однофазных счетчиков (рис. 15).

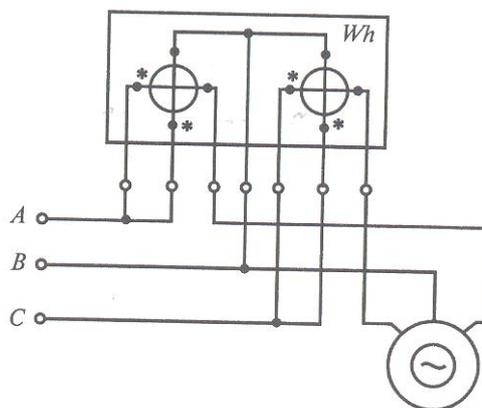


Рис. 3.15. Измерение активной энергии в трехпроводной трехфазной цепи

Для измерения активной энергии в четырехпроводных цепях трехфазного тока применяют трехэлементные счетчики.

Реактивную энергию  $WP$  как при симметричной, так и при несимметричной нагрузке в трехфазной цепи измеряют трехфазными индукционными счетчиками реактивной энергии. При симметричной нагрузке в трехпроводной трехфазной цепи реактивную мощность можно измерить с помощью двух однофазных счетчиков. Для этого их включают в цепь, как и ваттметры, по схеме рис. 12. Реактивная энергия равна разности показаний счетчиков, умноженной на  $\sqrt{3}$ .

### 3. Измерение сопротивлений

Метод определения сопротивлений с помощью амперметра и вольтметра является косвенным, так как в этом случае по показаниям приборов  $I$  и  $U$ , пользуясь законом Ома, находят искомое сопротивление:

$$R_x = \frac{U}{I}$$

При измерении сопротивления этим методом приборы могут быть включены двумя способами (рис. 16), причем и в том и в другом случае результаты не будут точными, если не ввести соответствующие поправки.

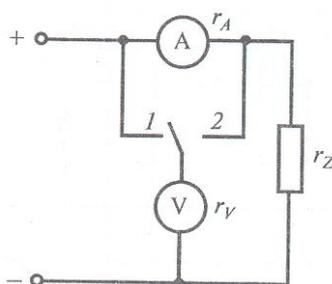


Рис. 16. Схема измерения сопротивлений методом амперметра-вольтметра

Когда на схеме рис. 16 переключатель находится в положении 1, ошибка в определении сопротивления  $r_x$  обуславливается тем, что вольтметр измеряет не только напряжение на сопротивлении, но и потерю напряжения в сопротивлении амперметра  $r_A$ . Когда измеряемое сопротивление значительно больше сопротивления амперметра ( $r_x \gg r_A$ ), тогда падением напряжения в сопротивлении  $r_A$  можно пренебречь и вычислять искомое сопротивление непосредственно по показаниям приборов. Если же сопротивления  $r_x$  и  $r_A$  соизмеримы по значению, то для получения более точного результата необходимо пользоваться формулой

$$r_x = \frac{U - I r_A}{I} = \frac{U}{I} - r_A$$

Когда на схеме рис. 16 переключатель находится в положении 2, ошибка в определении сопротивления  $r_x$  обуславливается тем, что амперметр показывает сумму двух токов, один из которых ( $I_x$ ) проходит через неизвестное сопротивление  $r_x$ , другой ( $I_U$ ) - через вольтметр:

$$I = I_x + I_U$$

Если при этом измеряемое сопротивление значительно меньше сопротивления вольтметра ( $r_x \ll r_A$ ), то током  $I_U$ , проходящим через вольтметр, можно пренебречь и искомое сопротивление можно вычислить

непосредственно по показаниям приборов. Если же эти сопротивления соизмеримы по значению, то для получения более точного значения  $r_x$  пользуются формулой

$$r_A = \frac{U}{I - U / r_U}$$

Рассмотренный косвенный метод измерения сопротивлений не всегда удобен, так как требует затрат времени на дополнительные вычисления. Кроме того, он отличается невысокой точностью из-за влияния внутренних сопротивлений приборов.

Для непосредственного измерения сопротивлений служат специальные приборы - омметры, которые представляют собой комбинацию магнитоэлектрического миллиамперметра и специальной измерительной схемы. Шкалу такого прибора градуируют в омах. На схеме рис. 17 последовательно с миллиамперметром включены резистор с сопротивлением  $r_x$  регулируемый добавочный резистор с сопротивлением  $r_P$  и источник питания. В этом случае шкала прибора обратная, так как с увеличением измеряемого сопротивления ток в приборе уменьшается:

$$I_x = \frac{U}{r_x + r_A},$$

где  $U$  - рабочее напряжение омметра. При неизменном  $U$  показание прибора зависит только от измеряемого сопротивления  $r_x$ , так как значению  $r_x$  соответствует определенное значение тока  $I_x$ . Это позволяет шкалу миллиамперметра отградуировать в омах.

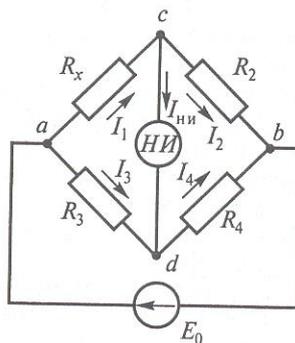


Рис. 17. Схема измерения сопротивления мостовым методом

Показания омметров зависят от значения ЭДС источника питания, которая с течением времени уменьшается, что является существенным недостатком этих приборов. Для того чтобы при изменении ЭДС источника рабочее напряжение  $U$  оставалось постоянным, омметры снабжают специальным добавочным сопротивлением  $r_P$ , с помощью которого регулируют прибор перед измерением (регулировка нуля).

На практике чаще всего применяют омметры, показания которых не зависят от ЭДС источника питания. В качестве таких омметров используют

магнитоэлектрические логометры - приборы, у которых отсутствует механическое устройство для создания противодействующего момента. Магнитоэлектрический логометр состоит из двух катушек, закрепленных на одной оси под углом  $90^\circ$  и жестко связанных друг с другом.

В цепях переменного тока применяют логометры электромагнитной и электродинамической систем. Логометры электромагнитной системы используют для измерения частоты, емкости, индуктивности и других величин. Электродинамические логометры применяют для измерения различных величин в цепях переменного тока. В частности, их широко используют в качестве фазометров.

Мостовой метод (рис. 18) позволяет наиболее точно измерять сопротивления.

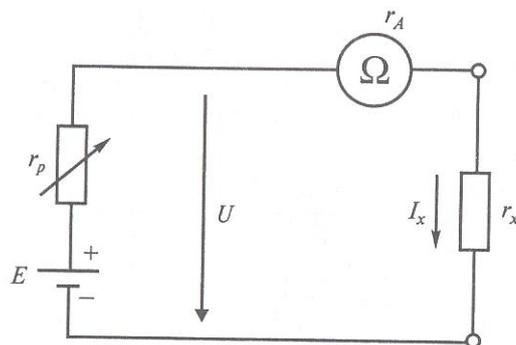


Рис. 18. Схема измерения сопротивлений с помощью миллиамперметра (омметра)

В одно из плеч моста включают резистор с сопротивлением  $r_x$ , а в другие три плеча - регулируемые и известные по значению сопротивления  $r_1, r_2, r_3$ . К точкам моста а и b подключен источник питания постоянного тока, а в диагональ моста между точками с и d - магнитоэлектрический гальванометр Г. При измерении сопротивления  $r_x$  значения трех других сопротивлений изменяют таким образом, чтобы наступило равновесие моста, при котором ток в цепи гальванометра становится равным 0. Равновесие моста наступает при условии, когда разность потенциалов между точками с и d равна 0. Поэтому при равновесном состоянии моста как через плечи ac и cb проходят одинаковые токи:  $I_1 = I_2$ , так и через плечи ad и db:  $r_3 = r_4$ . Исходя из этого, для схемы рис. 17 можно записать

$$I_1 r_1 = I_3 r_3, \quad I_2 r_2 = I_4 r_4$$

Разделив эти уравнения друг на друга, получим

$$r_2 \cdot r_3 = r_1 \cdot r_x \quad \text{откуда} \quad r_x = r_2 r_3 / r_1$$

Наряду с уравновешенными мостами для измерения сопротивлений широко применяются неуравновешенные мосты, позволяющие более быстро проводить измерение сопротивлений (но менее точно, так как их

показания зависят от стабильности напряжения источника питания). Значение измеряемого сопротивления в этих мостах определяют непосредственно по показаниям прибора. В неуравновешенных мостах часто используют в качестве измерительного прибора магнитоэлектрические логометры, позволяющие повысить точность измерения.

Уравновешивание мостов можно производить вручную или автоматически. Автоматическое уравновешивание применяют в тех случаях, когда необходимо следить за изменением измеряемого сопротивления и управлять его значением.

#### 4. Понятие о цифровых электроизмерительных приборах

Цифровые электроизмерительные приборы (рис. 19) состоят из входного усилительного устройства ВУУ, аналого-цифрового преобразователя АЦП, который служит для преобразования непрерывного сигнала  $Y$  в цифровой код  $Y'$ , генератора импульсов ГИ, цифровых счетчика и индикатора ЦСИ, управляющего устройства УУ с коммутационными и логическими блоками. Они предназначены для измерения и быстрого отсчета электрических величин и параметров с высокой точностью и надежностью. В них входной сигнал усиливается и преобразуется в дискретный выходной сигнал  $A$  в цифровой форме.

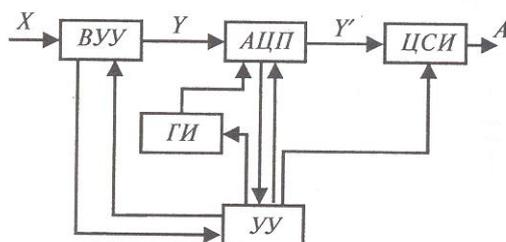


Рис. 19. Блок-схема цифрового электроизмерительного прибора

Цифровые измерительные приборы (ЦИП) используются с 1960 г. как при научных и иных исследованиях, так и в обычной производственной практике. ЦИП имеют, кроме высокой точности, возможность запоминать, передавать на расстояние и вводить в ЭВМ измерительные значения, а также свободны от утомительного отсчета и многих проблем технического обслуживания.

ЦИП по виду измеряемых величин делятся на вольтметры, омметры, мосты, измерители частоты и интервалов времени, комбинированные и специализированные приборы. Последние служат для измерения температуры, массы грузов, скорости перемещения материалов и т. п. Комбинированные ЦИП позволяют измерять напряжение постоянного и

переменного тока, сопротивление постоянному току, емкость и индуктивность. Основой таких приборов являются цифровой вольтметр постоянного тока и ряд преобразователей электрических величин в напряжение постоянного тока.

Промышленность выпускает ряд типов ЦИП. Для примера приведем цифровой вольтметр типа Щ1513, который предназначен для измерения напряжения постоянного тока 0 - 1000 В со временем преобразования 0,02 с. Другой ЦИП переменного тока типа Ф219 служит для измерения средневывпрямленных значений переменных напряжений 0,2 - 1000 В при классах точности 0,4/0,25 и 1,0/0,5 со временем преобразования 120 мс.

## **ЛЕКЦИЯ по теме № 2.3.1. Измерение температуры**

### **ВОПРОСЫ**

1. Основные понятия. Температурные шкалы. Классификация средств измерения температуры.
2. Термометры расширения:
  - Жидкостные термометры;
  - Дилатометрические термометры;
  - Биметаллические термометры.
3. Манометрические термометры:
  - ✚ Газовые манометрические термометры;
  - ✚ Жидкостные манометрические термометры;
  - ✚ Конденсационные манометрические термометры.

### **ЛИТЕРАТУРА**

1. Чистофорова Н.В., Колмогоров А.Г. Технические измерения и приборы. Ч.1. Измерение теплоэнергетических параметров. Учебное пособие. 2008. с. 36-49.

### **1. Основные понятия. Температурные шкалы. Классификация средств измерения температуры**

#### **Основные понятия**

Измерение температур наряду с измерениями других величин имеет весьма важное значение в науке и технике. Современное промышленное производство немислимо без температурного контроля. Достаточно указать на такие отрасли промышленности, как черная и цветная металлургия, химическая и нефтеперерабатывающая промышленность, во многих технологических процессах которых температурный контроль имеет решающее значение.

**Температурой** называют величину, характеризующую тепловое состояние тела. Согласно кинетической теории температурой называют физическую величину, количественно характеризующую меру средней кинетической энергии теплового движения молекул какого-либо тела или вещества.

Из определения температуры следует, что она не может быть измерена непосредственно и судить о ней можно по изменению других физических свойств тел (объема, давления, электрического сопротивления, термо- ЭДС, интенсивности излучения и т.д.). Эти свойства тел называют термометрическими, а вещества, характеризующиеся такими свойствами, также называются термометрическими. По этой причине невозможно создать эталон температуры, подобно тому, как создаются эталоны других величин.

Средство измерения температуры называют **термометром**.

### **Температурные шкалы**

С момента изобретения термометра Г.Галилеем в 1595г. предлагалось много различных температурных шкал.

В системе СИ основной единицей является Кельвин, который является единицей измерения в так называемой **абсолютной**

**термодинамической шкале.** Градус Кельвина определяется как  $1/273,16$  часть температуры тройной точки воды. Последняя есть температура равновесного состояния водяного пара, жидкой воды и льда. Для воспроизведения Кельвина интервал между абсолютным нулем температуры и температурой тройной точки воды делится на 273,16 части.

Привычная нам **десятичная температурная шкала** была предложена А. Цельсием в 1742 году, в которой расстояние по шкале между точкой таяния льда и точкой кипения воды делилось на 100 частей. Градус Цельсия узаконен в системе СИ как производная единица, определяемая по формуле:

$$T(^{\circ}\text{C})=T(\text{K})- 273,16. \quad (2.1)$$

Во многих странах Западного полушария и в первую очередь в США общепринятой является **шкала Фаренгейта**. В качестве нижней опорной точки ( $0^{\circ}\text{F}$ ) изобретатель шкалы использовал температуру замерзания солевого раствора, самую низкую воспроизводимую в то время, а в качестве верхней точки - температуру тела человека ( $96^{\circ}\text{F}$  - в старину было принято считать дюжинами). Сам изобретатель определял вторую эталонную точку как температуру под мышкой здорового англичанина. Согласно этой шкалы, разность температур между таянием льда и кипением воды делится на 180 частей, а температуре таяния льда приписана температура  $32^{\circ}\text{F}$ .

Перевод  $^{\circ}\text{C}$  в  $^{\circ}\text{F}$  легко можно сделать по формуле:

$$T(^{\circ}\text{C})= \frac{5}{9}(T(^{\circ}\text{F}) - 32). \quad (2.2)$$

В абсолютной термодинамической шкале температура в Кельвинах через температуру в градусах Фаренгейта выразится как:

$$T(K) - 255,38 + \frac{5}{9}T(^{\circ}F). \quad (2.3)$$

Довольно редко, но все еще встречаются термометры, отградуированные в градусах Реомюра. **Шкала Реомюра** строится таким образом, что разность температур плавления льда и кипения воды делится на 80 частей. Причиной этого является тот факт, что спирт с водой (основная термометрическая жидкость) расширяется между точками замерзания воды и точкой кипения на 8% своего объема. Размер градуса в шкале Реомюра можно воспроизвести изменением объема водно-спиртовой жидкости на  $0,08/80 = 0,001$  первоначального объема. Соответственно, температурные интервалы в шкале Кельвина и Реомюра относятся как 100/80 или как 5/4, т. е.

$$T(^{\circ}C) = \frac{5}{4} T(^{\circ}R). \quad (2.4)$$

В системе СИ, как уже упоминалось, основной величиной принята термодинамическая температура, а единица в разных температурных диапазонах определяется по так называемым **реперным точкам** - фиксированным значениям температур, соответствующих либо тройным точкам, либо плавлению, либо затвердеванию чистых веществ, в основном, чистых металлов. Вещества с фиксированными температурными характеристиками делятся на определяющие реперные температурные точки и вторичные. Такое подразделение делается по той причине, что у некоторых веществ температуры плавления или отвердевания хорошо воспроизводятся, а для некоторых при воспроизведении наблюдаются заметные расхождения.

Для обеспечения единства измерений температуры в качестве международного стандарта в 1968 году принята **Международная практическая температурная шкала** МПТШ-68. В 1990 году в

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

соответствии с решением XVIII Генеральной конференции по мерам и весам введена **Международная температурная шкала (МТШ-90)**. МТШ-90, по сути, является практической температурной шкалой и заменяет собой предыдущую шкалу МПТШ-68. Основные изменения в шкале связаны с изменением температур реперных точек, расширением диапазона определения шкалы, введением новых интерполяционных приборов и новых методик построения интерполяционных зависимостей для платиновых термометров сопротивления. Шкала считается очень близко аппроксимирующей термодинамическую шкалу температур, поэтому слово «практическая» было опущено в ее названии. Перечень основных фиксированных точек МТШ-90 приведен в табл. 2.1.

Перечень основных реперных точек МТШ-90

Реперная точка	Температура, К	Температура, °С
Тройная точка водорода	13,8033	-259,3467
Точка кипения равновесного водорода	≈20,3	≈ -252,85
Тройная точка неона	24,5561	-248,5939
Тройная точка кислорода	54,3584	-218,7916
Тройная точка аргона	83,8058	-189,3442
Тройная точка ртути	234,3156	-38,8344
<b>Тройная точка воды</b>	<b>273,16</b>	<b>0,01</b>
Точка плавления галлия	302,9146	29,7646
Точка затвердевания индия	429,7485	156,5985
Точка затвердевания олова	505,078	231,928
Точка затвердевания цинка	692,677	419,527
Точка затвердевания алюминия	933,473	660,323
Точка затвердевания серебра	1234,93	961,78

Вторичные точки шкалы МТШ-90 определены точками затвердевания и кипения следующих веществ: Hg, H<sub>2</sub>O, Na, Bi, Cd, Pb, Sb, Ni, Co, Pd, Pt, Rh, Ir, W и ряда других. Вторичные точки, в основном, используются в

области высоких температур, что дает возможность продлить температурную шкалу до точки плавления вольфрама - до 3414 К.

Международная температурная шкала постоянно развивается и дополняется. Так, в октябре 2000 года Международный комитет по мерам и весам утвердил новую предварительную низкотемпературную международную шкалу ПНТШ-2000 (PLTS-2000), которая расширяет диапазон МТШ-90 в низкотемпературной области. Шкала начинается с температуры 0,902 мК, соответствующей твердому состоянию  $^3\text{He}$  и доходит до температуры 1 К, таким образом перекрывая диапазон МТШ-90 в интервале 0,65 -1 К. Шкала основана на измерении давления при плавлении  $^3\text{He}$ . В июне 2005 года консультативный комитет по термометрии выпустил Техническое приложение к МТШ-90, которое получило статус обязательного приложения к тексту шкалы. Дополнение касается определения температуры тройной точки воды и основано на результатах анализа расхождений значений температур ампул тройной точки воды, использующих воду разного изотопного состава.

В качестве эталонного термометра в интервале температур от 13,81 до 903,89 К принимается платиновый термопреобразователь сопротивления. Этот интервал разбит на 5 подинтервалов, для каждого из которых определены интерполяционные формулы в виде полиномов до четвертой степени.

В интервале температур от 903,89 до 1337,58 К используется эталонный платина - платинородиевый термоэлектрический термометр. Интерполяционной формулой, связывающей термо-ЭДС с температурой, здесь является полином второй степени.

Для температур выше 1337,58 К МТШ-90 воспроизводится с помощью квазимонохроматического пирометра с использованием закона излучения Планка.

### Классификация средств измерения температуры

Все типы термометров принято разбивать на два класса в зависимости от методики измерений (рис. 2.1). Традиционный и наиболее массовый вид термометров - **контактные термометры**, отличительной особенностью которых является необходимость теплового контакта между датчиком термометра и средой, температура которой измеряется. Вторую группу составляют **бесконтактные термометры**, для измерения которыми нет необходимости в тепловом контакте среды и прибора, а достаточно измерений собственного теплового или оптического излучения.

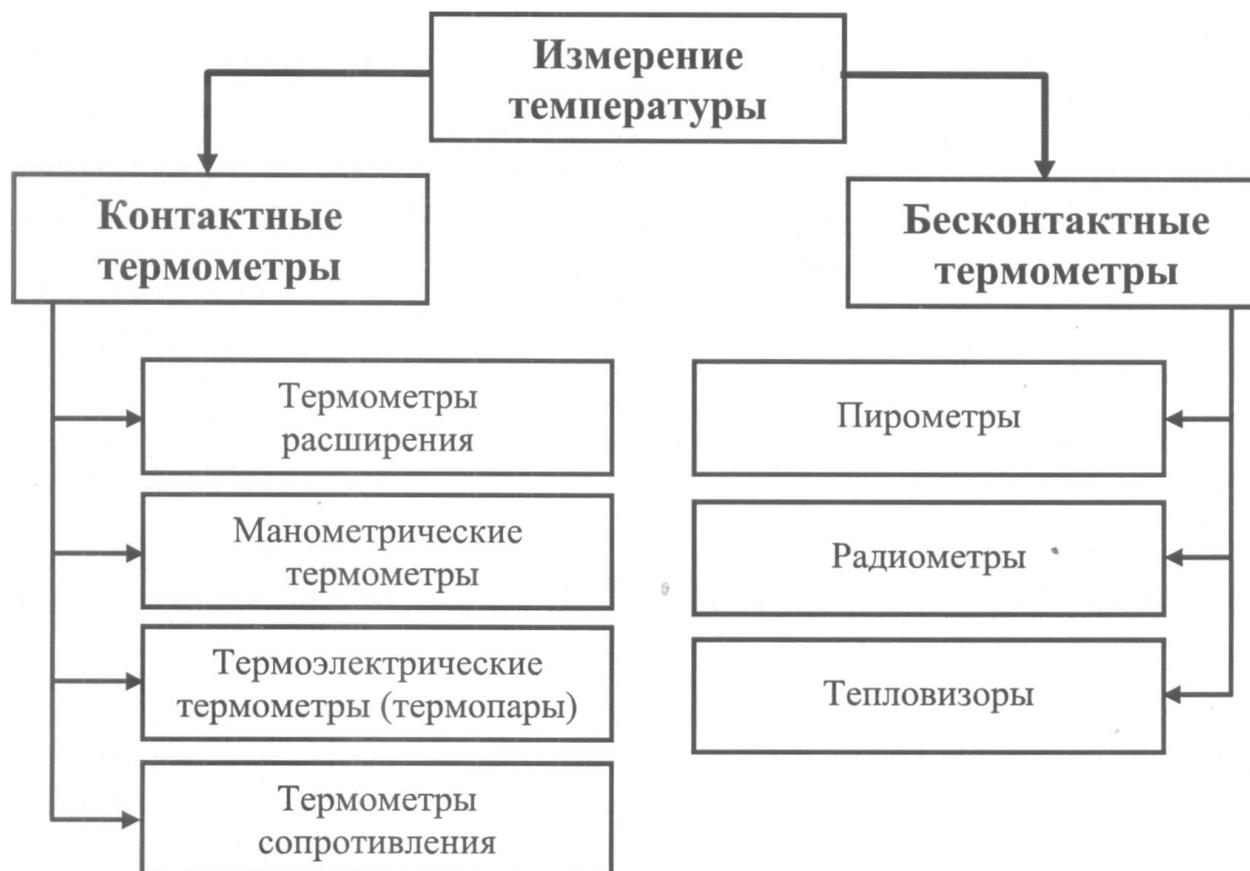


Рис.2.1. Классификация средств измерения температуры

Контактные приборы и методы по принципу действия разделяются на:

а) **термометры расширения**, принцип действия которых основан на зависимости объемного расширения жидкости и линейных размеров твердых тел от температуры;

б) **манометрические термометры**, принцип действия которых основан на изменении давления рабочего (термометрического) вещества в зависимости от температуры;

в) **термоэлектрические термометры (термопары)**, принцип действия которых основан на использовании зависимости термоэлектродвижущей силы от температуры;

г) **термометры сопротивления**, принцип действия которых основан на зависимости электрического сопротивления чувствительного элемента (проводника или полупроводника) от температуры.

Бесконтактные методы, в основе которых лежит регистрация собственного теплового или оптического излучения, можно представить следующими направлениями:

а) **пирометрия** - измерение температуры самосветящихся объектов: пламени, плазмы, астрофизических объектов;

б) **радиометрия** - измерение температуры по собственному тепловому излучению тел. Для невысоких и комнатных температур это излучение находится в инфракрасном диапазоне длин волн;

в) **тепловидение** - радиометрическое измерение температуры с пространственным разрешением и с преобразованием температурного поля в телевизионное изображение, иногда с цветовым контрастом. Позволяет измерять градиенты температуры, температуру среды в

замкнутых объемах, например, температуру жидкостей в резервуарах и трубах.

## **2. Термометры расширения**

### **Жидкостные термометры**

Действие стеклянных жидкостных термометров основано на различии коэффициентов теплового расширения термометрического вещества и оболочки, в которой она находится (термометрического стекла или реже кварца). Стеклянные жидкостные термометры отличаются высокой точностью,

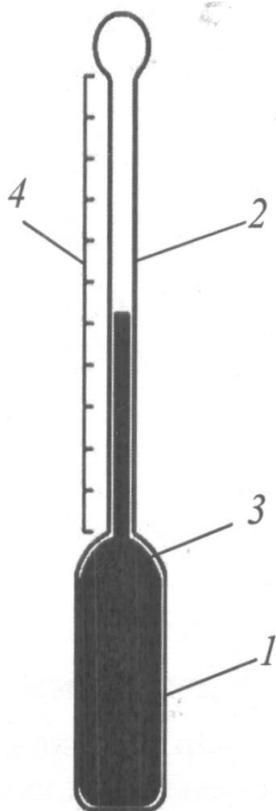


Рис.2.2. Стекланный жидкостный термометр:  
1 - резервуар; 2 – капилляр;  
3 – термометрическая жид-  
кость; 4 – шкала.

простотой устройства и дешевизной, однако они хрупки, непригодны для ремонта, и не могут передавать показания на расстояние (за исключением электро-контактных ртутных термометров).

Основными элементами конструкции термометра (рис. 2.2) является резервуар 1 с припаянным к нему капилляром 2, заполненные частично термометрической жидкостью 3, и шкала 4.

В качестве термометрической жидкости в большинстве случаев используется химически чистая ртуть. Ртуть не смачивает стекло, легко получается в чистом виде, находится в жидком состоянии в широком

диапазоне температур (от - 38,84 до 356,58 °С). Кроме нее используется: толуол, этиловый спирт, керосин, петролейный эфир, пентан.

Конструктивно различают палочные термометры и термометры с вложенной шкалой. У палочных термометров шкала наносится на поверхность толстостенного капилляра. У термометров с вложенной шкалой капилляр и шкальная пластинка с нанесенной шкалой заключены в защитную оболочку, припаянную к резервуару.

Показания стеклянного термометра зависят не только от температуры резервуара, но и от температуры столбика жидкости в капилляре, поэтому лабораторные приборы градуируются при полном погружении термометра в измеряемую среду до отсчитываемой температурной отметки. Если глубина их погружения не соответствует условиям градуировки, то в показания следует вносить поправку:

$$\Delta t = n\gamma(t - t_{BC}), \quad (2.5)$$

где  $n$  - число градусов в выступающем столбике;  $\gamma$  - температурный коэффициент расширения термометрической жидкости в стекле  $K^{-1}$ ;  $t$  - температура, показываемая термометром, °С;  $t_{BC}$  - средняя температура выступающего столбика, измеренная вспомогательным термометром, °С. Технические термометры градуируются при частичном погружении на определенную глубину и при определенной температуре выступающего столбика.

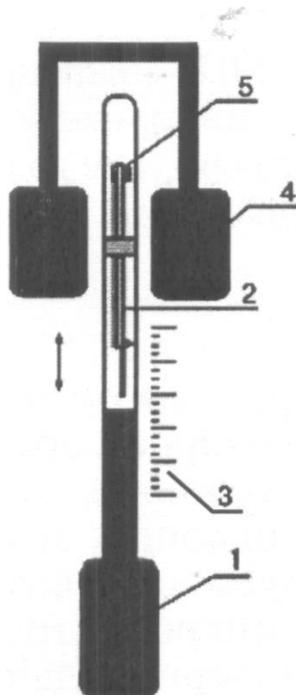


Рис. 2.3. Электроконтактный жидкостный термометр:  
1 - резервуар со ртутью; 2 - подвижный контакт; 3 - шкала; 4 - вращающаяся  
головка с магнитами; 5 - винтовая пара

Выпускаются термометры для измерения температур от  $-100^{\circ}$  до  $600^{\circ}$  С. Для защиты от механических повреждений термометры помещают в защитную арматуру.

Выпускаются также ртутные электроконтактные термометры (рис. 2.3), предназначенные для сигнализации или поддержания определенной температуры (с заданным постоянным контактом или с подвижным контактом). Ртуть 1, расширяясь, касается поверхностью контактного проводника 2, положение которого фиксируется специальным устройством 5. Положение проводника можно изменять вращением магнита 4, расположенного снаружи корпуса термометра.

### **Дилатометрические термометры**

Дилатометрические термометры - средство измерения температуры, использующее преобразование ее изменения в разность удлинений двух твердых тел, обусловленную различием их температурных

коэффициентов линейного расширения. Принцип действия дилатометрических датчиков температуры поясняется схемой, приведенной на рис. 2.4.

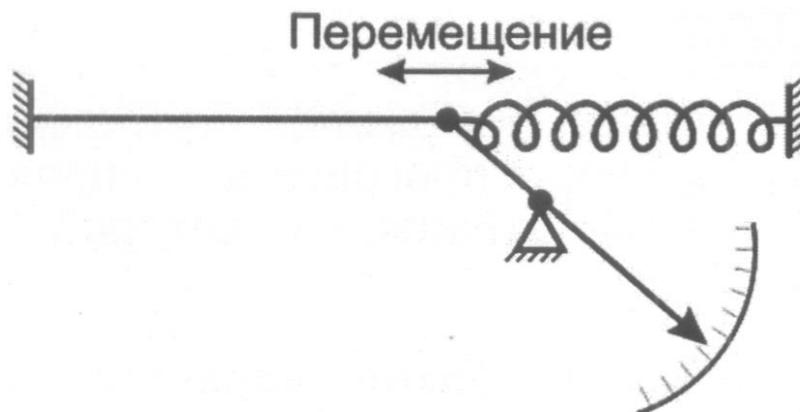


Рис. 2.4. Схема измерения дилатометрическим термометром

Изменение длины твердого тела от температуры может быть аппроксимировано линейной зависимостью:

$$l_k = l_n (1 + \alpha t), \quad (2.6)$$

где  $\alpha$  - средний коэффициент линейного расширения в сравнительно нешироком диапазоне температур;  $l_k$ ,  $l_n$  - длины термометров при конечной и начальной температурах.

Если в начале рабочего диапазона  $t_n$  длина обоих твердых тел одинакова и равна  $l_n$ , то возникающая в конце диапазона  $t_k$  разность удлинений тел  $\Delta l$  будет равна  $\Delta l = l_n (\alpha_1 - \alpha_2) (t_k - t_n)$ .  $\Delta l$  тем больше, чем больше  $(\alpha_1 - \alpha_2)$ .

Диапазон измерения термометров от -30 до 1000°C, погрешность 1,5 - 2,5%. Они обладают высокой надежностью и используются в релейных схемах.

### Биметаллические термометры

Разновидностью дилатометрических термометров являются датчики температуры с биметаллическими пластинами. Используя тот же принцип

работы - тепловое расширение тел при нагревании - в биметаллических датчиках измеряется не удлинение, а изгиб пластины, состоящей из двух

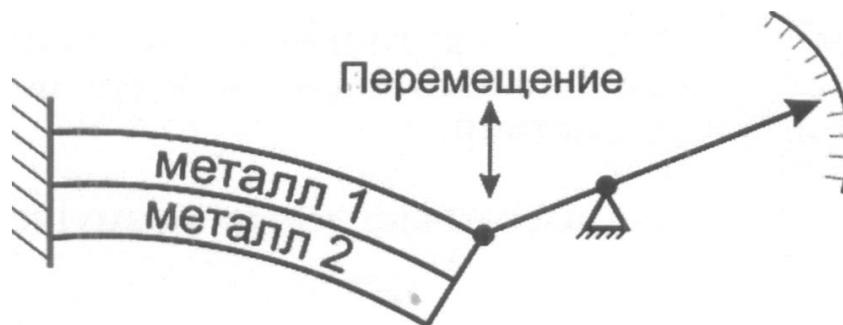


Рис. 2.5. Схема измерения биметаллическим термометром

металлов с разными температурными коэффициентами расширения. Схема такого датчика, получившего широкое применение в различных системах регулирования температуры, приведена на рис. 2.5.

При изменении температуры такой пластины она изгибается в сторону материала с меньшим коэффициентом линейного расширения (на рисунке - металл 2). Для закрепленной с одного конца биметаллической пластины длиной  $l$  и толщиной  $s$  перемещение  $A$  ее ненагруженного конца при изменении температуры пластины от  $t_1$  до  $t_2$  определится выражением:

$$A = \frac{\gamma \cdot l^2}{s} (t_2 - t_1), \quad (2.7)$$

где  $\gamma$  - удельный изгиб пластины, зависящий в основном от разности коэффициентов линейного расширения использованных металлов.

Из (2.7) следует, что перемещение ненагруженного конца пластины не зависит от ее ширины. Зависимость перемещения незакрепленного конца биметаллической пластины от температуры справедлива в том интервале температур, в котором оба используемых металла обладают упругой деформацией. Подбором специальных сплавов удастся создать биметаллический термометр с рабочим диапазоном температур от -100 до

600°C. Для увеличения длины пластины при сохранении малых габаритов чувствительного элемента его выполняют в виде спирали. В этом случае изменение температуры от  $t_1$  до  $t_2$  вызывает поворот ненагруженного конца спирали на угол  $\varphi$ :

$$\varphi = \frac{360}{\pi} \frac{\gamma \cdot l^2}{s} (t_2 - t_1). \quad (2.8)$$

Наибольшее распространение биметаллические термометры получили для работы при комнатной температуре - как для непосредственного ее измерения, так и для автоматического регулирования (в этом случае чувствительный элемент приводит в действие систему управления контактами реле).

Основная погрешность биметаллических термометров составляет 1-3% диапазона измерения, градуировочная характеристика близка к линейной. Однако чувствительные элементы термометров не взаимозаменяемы и приборы требуют индивидуальной градуировки. Она может осуществляться в термостатах путем сравнения с показаниями соответствующего образцового средства измерений.

### 3. Манометрические термометры

Принцип действия манометрических термометров основан на зависимости давления рабочего вещества в замкнутом объеме (термосистеме) от температуры.

В зависимости от агрегатного состояния рабочего вещества в термосистеме манометрические термометры подразделяют на **газовые, жидкостные и конденсационные (парожидкостные)**.

Манометрические термометры могут быть использованы для измерения температур от -150 до 600°C. Диапазон измерения определяется наполнителем термосистемы. Термометры со специальными

наполнителями (расплавленными металлами) пригодны для измерения температуры от 100 до 1000°C.

эксплуатации

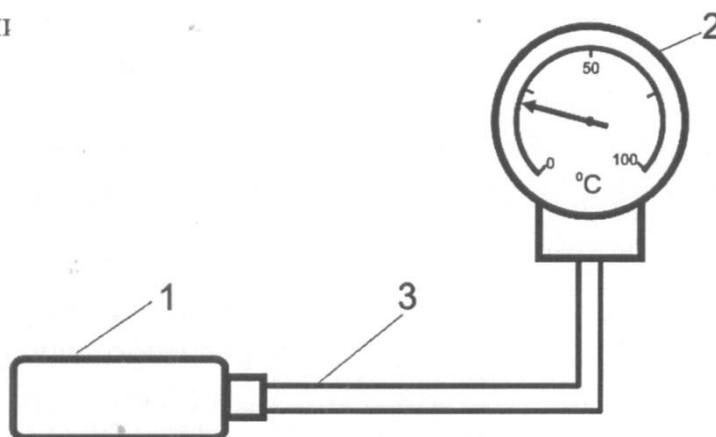


Рис. 2.6. Манометрический термометр:

1 - термобаллон; 2 - манометрическая часть; 3 - капиллярная трубка

Термосистема термометра (рис.2.6) состоит из термобаллона 1, капиллярной трубки 3 и манометрической части 2. Вся система прибора (термобаллон, капиллярная трубка, манометрическая пружина) заполнена рабочим веществом. Термобаллон погружается в объект измерения. При изменении температуры рабочего вещества в термобаллоне изменяется давление в замкнутой системе, которое через капиллярную трубку передается на манометрическую часть, представляющую собой манометр с трубчатой пружиной, являющийся измерительным прибором манометрического термометра. Термобаллон представляет собой цилиндр, изготовленный из латуни или специальных сталей, стойких к химическому воздействию измеряемой среды. Геометрические размеры термобаллона зависят от типа термометров и от задач измерения. Диаметр термобаллона находится в пределах от 5 до 30 мм, а его длина 60-500 мм. Капилляр, соединяющий термобаллон с манометрической трубкой, представляет собой медную или стальную трубку с внутренним диаметром 0,1-0,5 мм. Длина капилляра может быть

до 60 м. Медные капилляры имеют стальную защитную оболочку, предохраняющую их от повреждения при монтаже и эксплуатации.

По устройству манометрические термометры всех типов аналогичны. В зависимости от конструкции измерительной системы они бывают показывающими, самопишущими, бесшкальными со встроенными преобразователями для дистанционной передачи показаний.

Манометрические термометры - достаточно простые устройства, позволяющие осуществлять автоматическую регистрацию измерений и передачу показаний на расстояние. Выпускаются термометры с унифицированным пневматическим и электрическим сигналами. Достоинство этих термометров - возможность их использования на взрывоопасных объектах. К недостаткам относят необходимость частой поверки из-за возможной разгерметизации прибора и сложность ремонта, а также довольно большие размеры термобаллона.

### **Газовые манометрические термометры**

Они предназначены для измерения температуры от -50 до 600°С. Термометрическим веществом здесь служит гелий или азот. Принцип работы газовых манометрических термометров основан на использовании закона Шарля:

$$P_t = P_0(1 + \beta(t - t_0)), \quad (2.9)$$

где  $t_0$  и  $t$  - начальная и конечная температуры;  $P_0$  и  $P_t$  - давление газа при температурах  $t_0$  и  $t$  соответственно;  $\beta$  - термический коэффициент давления газа ( $\beta = 1/273,15$  или  $0,00366 \text{ K}^{-1}$ ).

Для реальных систем эта линейная связь строго не сохраняется, т.к. с изменением температуры изменяется объем термобаллона и с

изменением давления - объем манометрической пружины, а также происходит массо-обмен между термобаллоном и капилляром. Но, поскольку эти изменения невелики, то можно считать, что шкала газовых манометрических термометров равномерна.

Подставляя в формулу (2.9) вместо  $P_t$  и  $t$  соответственно  $P_H$  и  $t_w$  а также  $P_K$ ,  $t_K$ , получим выражение для величины рабочего давления газового манометрического термометра:

$$\Delta P = P_K - P_H = \frac{P_H \cdot \beta \cdot (t_K - t_H)}{1 + \beta_H}, \quad (2.10)$$

где  $P_H$  и  $P_K$  - давления в термосистеме, соответствующее начальному  $t_H$  и конечному  $t_K$  значениям температуры по шкале прибора.

По этой формуле может быть рассчитано начальное давление заполнения системы  $P_H$  для заданного диапазона измерения температур.  $P_H$  в зависимости от диапазона шкалы может быть в пределах от 1 до 3 МПа. Чем больше  $P_H$ , тем больше  $\Delta P$  и тем меньше влияние барометрического давления на показания прибора.

Объем термобаллона  $V_T$  в газовых манометрических термометрах не зависит ни от рабочего давления, ни от пределов измерения температур.

Но если при измерении температура, окружающая капилляр и манометрическую пружину, отличается от градуировочной температуры, то возникает дополнительная погрешность. Чтобы ее уменьшить, стремятся уменьшить отношение  $(V_{II} - V_K) / V_T$  (где  $V_{II}$  и  $V_K$  - внутренний объем пружины и капилляра), увеличивая размер термобаллона. Поэтому для газовых манометрических термометров характерен большой размер термобаллона ( $d =$

20-30 мм,  $l = 250-500$  мм) и как следствие этого - их значительная инерционность.

### **Жидкостные манометрические термометры**

В приборах этого типа всю систему термометра заполняют термометрической жидкостью под некоторым начальным давлением. В качестве термометрического вещества в данных термометрах используется ртуть под давлением 10-15 МПа при комнатной температуре или толуол, ксилол, пропиловый спирт, силиконовые жидкости при  $P=0,5-5$  МПа. При ртутном заполнении диапазон измерений  $-30 - 600^{\circ}\text{C}$ , а для органических жидкостей  $-150-300^{\circ}\text{C}$ . Так как жидкость практически несжимаема, объем термобаллона в жидкостных термометрах должен быть согласован со свойствами манометрической пружины.

При измерении температуры от  $t_0$  до  $t$  из термобаллона вытесняется жидкость объемом

$$\Delta V = V_0(\beta_{\text{ж}} - 3\alpha)(t - t_0), \quad (2.11)$$

где  $\beta_{\text{ж}}$  - температурный коэффициент объемного расширения жидкости;  $\alpha$  - коэффициент линейного расширения материала термобаллона;  $V_0$  - объем жидкости в термобаллоне при температуре  $t_0$ .

Как следует из уравнения (2.11), изменение объема жидкости при нагревании является линейной функцией температуры, поэтому жидкостные термометры, как и газовые, имеют равномерную шкалу.

Благодаря большой теплопроводности жидкости термобаллон термометра сравнительно быстро принимает температуру измеряемой среды. Однако по этой же причине погрешности от колебания температуры окружающей среды у жидкостных термометров больше, чем у газовых. При значительной длине капилляра для жидкостных термометров применяют компенсационные устройства в виде биметаллического компенсатора.

Из-за значительного давления в системе, которое предохраняет жидкость от закипания, погрешность от изменения барометрического давления в этих термометрах отсутствует.

Манометрическим жидкостным термометрам свойственна гидростатическая погрешность, вызванная различным положением манометра относительно термобаллона. Эта погрешность устраняется после монтажа прибора путем смещения указателя прибора на нужное значение по шкале.

### **Конденсационные манометрические термометры**

В качестве манометрического вещества в этих термометрах используются легкокипящие жидкости (пропан, этиловый эфир, ацетон, толуол, хлористый метил и т.д.). Диапазон измерения  $-50-350^{\circ}\text{C}$ . Специально изготовленные термометры применяются для измерения сверхнизких температур от  $0,8\text{ K}$ .

Термобаллон термометра заполнен конденсатом примерно на 70-75% объема, а над конденсатом находится насыщенный пар этой же жидкости. Капилляр опущен в термобаллон так, что его конец находится в жидкости и в том случае, когда при максимальной температуре в термобаллоне остается часть жидкости.

Принцип работы конденсационных термометров основан на зависимости давления  $P$  насыщенного пара низкокипящих жидкостей от температуры:

$$\frac{dP}{dt} = \frac{\lambda}{t(V_{\text{п}} - V_{\text{ж}})}, \quad (2.12)$$

где  $\lambda$  - скрытая теплота испарения;  $V_{\text{п}}$ ,  $V_{\text{ж}}$  - удельные объемы пара и жидкости.

Давление в термосистеме конденсационного термометра равно давлению насыщенного пара при температуре рабочей жидкости, которая в свою очередь равна температуре измеряемой среды. Зависимость  $P$  насыщенного пара от температуры однозначна (до критической температуры), но нелинейна, из-за чего шкалы конденсационных термометров имеют значительную неравномерность. Для получения равномерной шкалы конденсационные термометры снабжают специальным линеаризующим устройством. Рабочее давление  $P$  зависит только от пределов измерения и закона изменения давления насыщенного пара от температуры. Таким образом, давление в термосистеме зависит только от измеряемой температуры  $t$ , изменение температуры окружающей среды не оказывает влияния на показание прибора.

Поскольку термобаллон может быть выполнен малых размеров, то конденсационные термометры менее инерционны, чем другие манометрические термометры. Кроме того, эти термометры более чувствительны, т.к. давление насыщенного пара резко меняется с температурой.

Конденсационным термометрам присущи гидростатическая погрешность и погрешность от изменения барометрического давления. Первая компенсируется аналогично жидкостным термометром, а вторая значительна лишь на начальном участке шкалы, когда давление в термосистеме невелико.

## **ЛЕКЦИЯ по теме № 2.3.2. Измерение температуры**

### **ВОПРОСЫ**

1. Термоэлектрические термометры:
  - Основные понятия и определения;

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

- Принцип действия;
- Включение измерительного прибора в цепь термопары;
- Удлиняющие (компенсационные) термоэлектродные провода;
- Поправка на температуру свободных концов термопары;
- Термоэлектродные материалы и типы термопар;
- Конструкция термопары;
- Основные источники погрешности при измерении температуры с помощью термопар;
- Средства измерения сигналов термопар.

2. Термопреобразователи сопротивления:

- ✚ Принцип действия;
- ✚ Типы термопреобразователей сопротивления;
- ✚ Конструкция термопреобразователей сопротивления;
- ✚ Вторичные приборы, работающие в комплексе с термопреобразователями сопротивления;

ЛИТЕРАТУРА

1. Чистофорова Н.В., Колмогоров А.Г. Технические измерения и приборы. Ч.1. Измерение теплоэнергетических параметров. Учебное пособие. 2008. с. 49-91.

## 1. Термоэлектрические термометры

### Основные понятия и определения

Измерение температуры термоэлектрическими термометрами (термоэлектрическими преобразователями, ТЭП) основано на использовании открытого в 1821 году немецким физиком Т.Зеебеком **термоэлектрического эффекта**, заключающегося в генерировании термоэлектродвижущей силы (термо-ЭДС), возникающей из-за разности

температур между двумя соединениями различных металлов или сплавов, образующих часть одной и той же цепи.

В простейшем случае, если цепь состоит из 2-х разнородных материалов, то она носит название **термопары**.

Под **термоэлектрическим термометром** принято понимать комплект, состоящий из:

- 1) термопары, осуществляющей преобразование температуры в электрическое напряжение;
- 2) линий связи (удлиняющих проводов);
- 3) вторичного прибора для измерения термо-ЭДС.

### Принцип действия

Термопара представляет собой цепь, состоящую из двух соединенных между собой разнородных проводников А и В (рис.2.7). Эти проводники называются **термоэлектродами**, места соединения термоэлектродов - **спаями**. Спай с температурой  $t$ , погружаемый в измеряемую среду, называется **рабочим (измерительным) спаем** термопары, второй спай с температурой  $t_0$  носит название **свободного (соединительного)**.

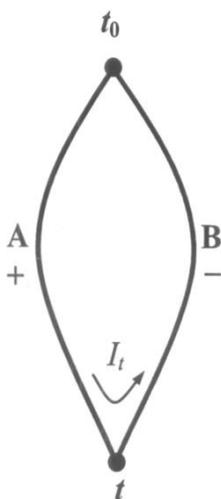


Рис. 2.7. Схема контура термопары

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

Зеебеком было установлено, что если температуры  $t_0$  и  $t$  не равны, то в такой цепи будет протекать электрический ток  $I_t$ . Направление тока зависит от разности температур спаев. При размыкании такой цепи на концах может быть измерена термо-ЭДС. Этот эффект обладает и обратным действием, т.е. если через такую цепь пропустить электрический ток, то в зависимости от направления тока один из спаев будет нагреваться, а другой охлаждаться (эффект Пельтье).

Возникновение термотоков объясняется следующим: при соединении одинаково нагретых концов двух проводников из разнородных материалов, из которых в первом количество свободных электронов в единице объема больше, чем во втором, последние будут диффундировать из первого проводника во второй в большем числе, чем обратно. Таким образом, первый проводник станет заряжаться положительно, а второй - отрицательно. Образующееся при этом в месте соединения проводников электрическое поле будет противодействовать этой диффузии, в результате чего наступит состояние подвижного равновесия, при котором между свободными концами указанных проводников появится некоторая разность потенциалов (термо-ЭДС). С увеличением температуры проводников значение этой термо-ЭДС также увеличивается. Кроме того, термо-ЭДС возникает и между концами однородного проводника, имеющими разные температуры. В этом случае до наступления состояния подвижного равновесия положительно заряжается более нагретый конец проводника как обладающий большей концентрацией свободных электронов по сравнению с концом, менее нагретым. Возрастание разности температур между концами проводника приводит к увеличению возникающей в нем термо-ЭДС.

Так два этих фактора - контактная разность потенциалов и диффузия электронов - являются слагаемыми результирующей термо-ЭДС цепи, значение которой зависит от природы термоэлектродов и разности температур спаев ТЭП.

В замкнутой цепи, состоящей из двух разнородных проводников, при равенстве температур спаев ( $t = t_0$ ) термоток  $I_t$  равен нулю. Таким образом, если спаи имеют одну и ту же температуру ( $t_0$ ), то контактные ЭДС в каждом спае равны между собой и направлены навстречу друг другу. Результирующая термо-ЭДС контура в этом случае будет равна:

$$E_{AB}(t_0, t_0) = e_{AB}(t_0) - e_{AB}(t_0) = 0$$

или с учетом того, что  $e_{AB}(t_0) = -e_{BA}(t_0)$ ,

$$E_{AB}(t_0, t_0) = e_{AB}(t_0) + e_{AB}(t_0) = 0,$$

т.е. результирующая термо-ЭДС контура равна арифметической сумме контактных термо-ЭДС (очередность записи термоэлектродов соответствует направлению обхода контура).

Для замкнутой цепи

$$E_{AB}(t, t_0) = e_{AB}(t) + e_{AB}(t_0) \text{ или } E_{AB}(t, t_0) = e_{AB}(t) - e_{AB}(t_0). \quad (2.13)$$

Уравнение (2.13) называют основным уравнением ТЭП. Из него следует, что возникающая в контуре термо-ЭДС зависит от разности функций температур  $t$  и  $t_0$ . Если сделать температуру свободных концов постоянной  $t_0 = const$ , то

$$e_{AB}(t_0) = C = const \text{ и } E_{AB}(t, t_0) = e_{AB}(t) - C = f(t).$$

При известной зависимости  $E(t, t_0) = f(t)$  путем измерения термо-ЭДС может быть найдена температура  $t$ , если  $t_0 = const$ .

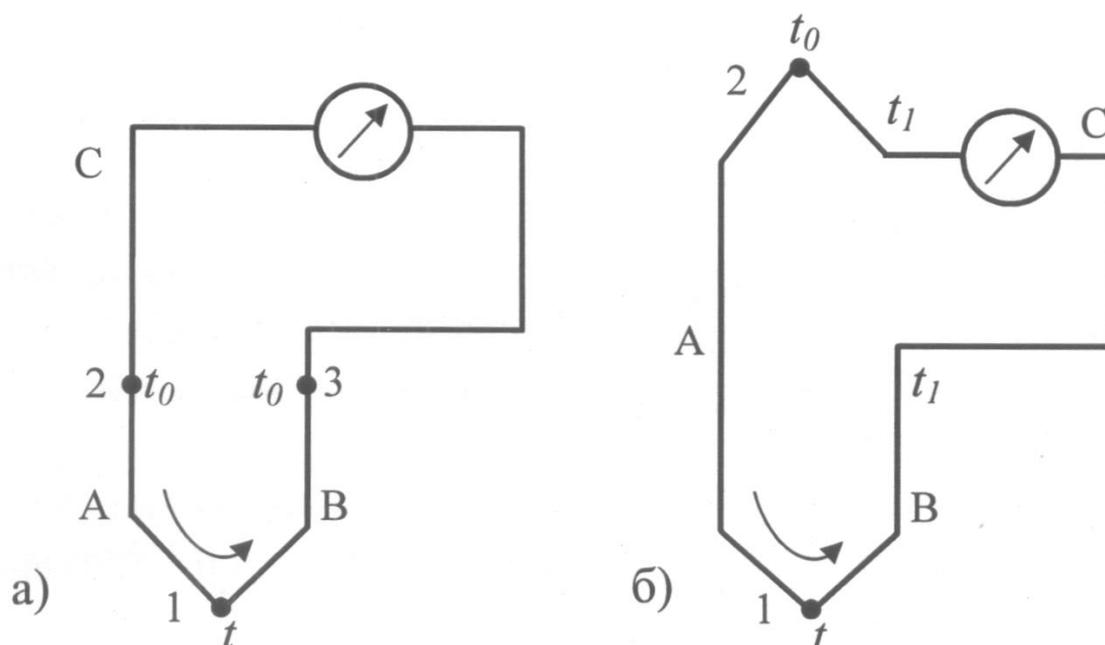
В настоящее время нет приемлемой теории, способной предсказать зависимость  $E(t, t_0) = f(t)$  в явном виде, что затрудняет градуировку ТЭП.

При измерении температуры  $t$  для различных ТЭП эта зависимость определяется экспериментально путем градуировки и построения зависимости термо-ЭДС от измеряемой температуры. При градуировке температура  $t_0 = \text{const}$ . Ее значение в РФ стандартизировано,  $t_0 = 0^\circ\text{C}$ . На практике для различных ТЭП обычно используют стандартные градуировочные таблицы (см. Приложение 3).

### Включение измерительного прибора в цепь термопары

Для измерения термо-ЭДС, развиваемой термопарой, в цепь включают измерительный прибор по одной из двух схем (рис. 2.8).

Обе схемы можно представить как включение в цепь третьего проводника  $C$ , т.к. схема измерительного прибора подразумевает замыкание цепи термопары посредством последовательного включения третьего проводника (как правило, медного) из которого выполнена измерительная рамка прибора, подгоночные сопротивления и т.д. В этом случае в местах присоединения проводника  $C$  образуются дополнительные спаи, развивающие собственные термо-ЭДС, которые должны вносить погрешность в суммарную термо-ЭДС термопары.



Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

Рис. 2.8. Подключение измерительного прибора в цепь термопары: а) цепь с третьим проводником С, включенным в спай термопары;  
б) цепь с третьим проводником С, включенным в электрод термопары

При первом соединении (рис. 2.8, а) - один спай рабочий (точка 1), два свободных (точки 2 и 3). При втором включении (рис. 2.8, б) - один спай рабочий (точка 1), один свободный (точка 2) и два нейтральных при постоянной температуре  $t_1$ .

Покажем, что термо-ЭДС, развиваемая в обоих случаях, одинакова.

$$E_{ABC}(t, t_0, t_0) = e_{AB}(t) + e_{BC}(t_0) + e_{CA}(t_0).$$

Если  $t = t_0$ , то

$$E_{ABC}(t_0, t_0, t_0) = e_{AB}(t_0) + e_{BC}(t_0) + e_{CA}(t_0).$$

Тогда

$$-e_{AB}(t_0) = e_{BC}(t_0) + e_{CA}(t_0)$$

или

$$E_{ABC}(t, t_0, t_0) = e_{AB}(t) - e_{AB}(t_0) = E_{AB}(t, t_0).$$

Для цепи (рис. 2.8,б) получим

$$E_{ABC}(t, t_1, t_0) = e_{AB}(t) + e_{BC}(t_1) + e_{CB}(t_0) + e_{BA}(t_0),$$

т.к.  $e_{BC}(t_1) = -e_{CB}(t_1)$ ,  $e_{AB}(t_0) - e_{BA}(t_0)$ , то

$$E_{ABC}(t, t_1, t_0) = e_{AB}(t) - e_{AB}(t_0) = E_{AB}(t, t_0). \quad (2.14)$$

Уравнение (2.14) совпадает с основным уравнением ТЭП (2.13), следовательно, термо-ЭДС ТЭП не изменится от введения в цепь третьего проводника при равенстве температур его концов. Этот вывод может быть отнесен к любому числу проводников и измерительных приборов. Чаще всего измерительный прибор присоединяют к термопаре по схеме, приведенной на рис. 2.8, а.

**Удлиняющие (компенсационные) термоэлектродные провода**

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

Как было сказано выше, в комплект термоэлектрического термометра, помимо термопары и измерительного прибора ИП входят удлиняющие провода, которыми соединяются клеммы термопары и зажимы измерительного прибора. Причем длина этих проводов в каждом случае индивидуальна и зависит от взаимного расположения термопары и измерительного прибора. В этом случае в измерительной цепи появляются два дополнительных проводника: F и D (рис. 2.9).

При прокладке соединительной линии между термопарой и измерительным прибором свободные концы термометра, находящиеся на зажимах в его головке, будут расположены около нагретых поверхностей, т.е. в зоне переменной температуры  $t_1$ . Чтобы отнести эти концы в зону с постоянной и более низкой температурой  $t_0$ , применяются так называемые

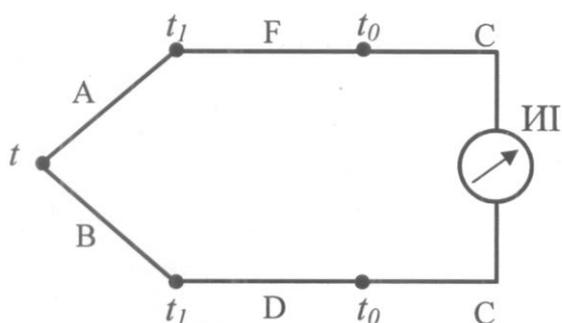


Рис. 2.9. Измерительная схема термоэлектрического термометра с удлиняющими проводами F и D.

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

мые термоэлектродные удлиняющие (компенсационные) провода, состоящие из двух жил, изготовленных из металлов или сплавов, имеющих одинаковые или схожие термоэлектрические свойства с термоэлектродами термометра.

Посредством удлиняющих проводов производится «наращивание» термоэлектродов термометра, позволяющее отнести свободные концы от места его установки в более благоприятные условия.

Для термометров из неблагородных металлов удлиняющие провода изготавливаются чаще всего из тех же материалов, что и термоэлектроды, тогда как для термометров из благородных металлов в целях удешевления удлиняющие провода выполняются из материалов, развивающих в паре между собой примерно ту же термо-ЭДС, что и термометр, для которого они предназначены. Во избежание неправильного подключения компенсационного провода, изоляция его жил имеет определенную расцветку, в зависимости от используемого материала. В табл. 2.2 приведены характеристики основных типов компенсационных проводов.

Таблица 2.2

**Характеристики компенсационных проводов и их применимость**

Тип термопары	Компенсационный провод		
	Тип	Материал провода	Расцветка изоляции (соответственно)
Хромель–копелевая	ХК	хромель – копель	фиолетовый – желтый
Хромель–алюмелевая	ХА	хромель – алюмель	фиолетовый – белый
	М	медь – константан	красный – коричневый
Платинородий–платиновая	П	медь – сплав ТП	красный – зеленый

Если термоэлектродные провода правильно выбраны и подключены к ТЭП, то места их подключения к измерительному прибору рассматривают как свободные концы. Термоэлектродные провода подбираются таким образом, что в паре они имеют характеристику, совпадающую с характеристикой используемого ТЭП в интервале температур от  $t_0 = 0^\circ\text{C}$  до  $t \approx 100\text{--}120^\circ\text{C}$ , т.е.

$$E_{FD}(t_1, t_0) = E_{AB}(t_1, t_0).$$

Тогда получим  $E = E_{AB}(t, t_1) + E_{FD}(t_1, t_0) = E_{AB}(t, t_0)$ , т.е. включение в цепь ТЭП термоэлектродных проводов не создает в цепи паразитных термо-ЭДС и не искажает результатов измерений.

Как правило, измерительный прибор располагается в помещении, где ведется наблюдение за температурой (помещение операторной), в котором температура более стабильна, чем в зоне, где находятся клеммы термопары. Но все-таки температура в этой зоне (комнатная температура) отличается от температуры градуировки термопары ( $0^\circ\text{C}$ ) и также, хоть и в малой степени, подвержена колебаниям. В этом случае суммарная термо-ЭДС термометра будет занижена (в случае, если температура в зоне свободных концов  $> 0^\circ\text{C}$ ) на величину термо-ЭДС между окружающей температурой и градуировочной.

В этой связи свободные концы термопары либо подлежат термостатированию, либо в показания термометра должна быть внесена поправка.

## **Поправка на температуру свободных концов термопары**

### ***Термостатирование.***

В лабораторных условиях температуру свободных концов обычно поддерживают равной  $0^\circ\text{C}$ . Для этой цели свободные концы

термоэлектрического термометра, спаянные с медными проводниками, погружают в стеклянные пробирки с небольшим количеством масла, помещенные, в свою очередь, в сосуд Дьюара, наполненный тающим льдом. При этом необходимо, чтобы свободные концы были погружены в лед на глубину не менее (100-150) мм. При этом способе компенсация температуры свободных концов не требуется.

Если при измерении температуры не требуется высокая точность и при этом температура в помещении, где производятся измерения, меняется незаметно, то свободные концы термометра могут находиться при этой температуре, однако в этом случае их следует погрузить в сосуд, заполненный маслом, температура которого должна контролироваться с помощью стеклянного термометра. Этот способ поддержания постоянства температуры свободных концов позволяет контролировать их температуру с погрешностью  $\pm (0,2-0,5) ^\circ\text{C}$ .

### ***Введение поправки***

Для большинства случаев измерения температуры в промышленных условиях термостатирование не является приемлемым вариантом ввиду громоздкости термостатирующих устройств и потребности в постоянном за ними наблюдении. В этом случае необходимо вводить поправку на температуру свободных концов. Она должна компенсировать разницу между градуировочной температурой  $t_0(0^\circ\text{C})$  и текущей температурой в помещении. Существует два способа введения поправки: ручной и автоматический.

**Ручной способ** требует наличия вспомогательного термометра (например, ртутного) для измерения температуры  $t'_0$  и градуировочной таблицы соответствующего ТЭП.

Алгоритм введения поправки следующий.

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

- 1) С помощью измерительного прибора определяется термо-ЭДС термопары  $E(t, t_0)$  при температуре свободных концов  $t_0$ .
- 2) По показаниям вспомогательного термометра определяется текущее значение  $t_0$ .
- 3) По градуировочной таблице находится значение термо-ЭДС  $E(t_0, t)$ , соответствующее величине поправки между  $|t_0 - t|$ .
- 4) Скорректированное значение термо-ЭДС определяется по формуле:

$$E(t, t_0) = E(t, t_0) \pm E(t_0, t_0). \quad (2.15)$$

Знак «+» берется, когда температура  $t_0 > 0$ , а «-», когда температура  $t_0 < 0$ .

В настоящее время широко применяется **автоматическое** введение поправки на температуру свободных концов ТЭП при помощи специальных компенсирующих устройств, что не требует обеспечения постоянства этой температуры. Эти устройства располагаются отдельно или встраиваются во вторичный прибор.

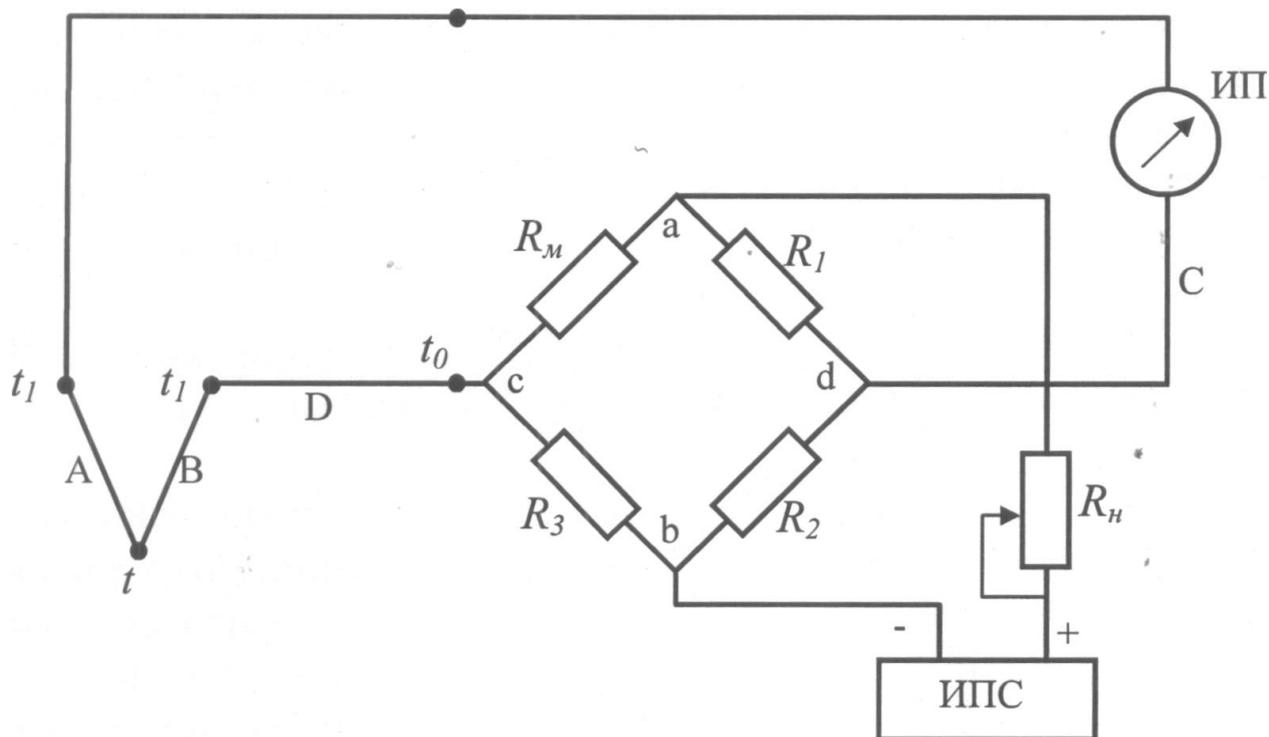


Рис.2.10. Схема автоматического введения поправки на температуру свободных концов термопары

Компенсирующий мост (рис.2.10) представляет собой неуравновешенный мост с постоянными манганиновыми резисторами  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$  и медным резистором  $R_M$ . Диагональ **ab** подключена к источнику питания ИПС через нагрузочное сопротивление  $R_H$ , предназначенное для изменения напряжения питания моста при переходе к преобразователям с различной градуировкой.

Измерительная диагональ **cd** включена в разрыв между удлинительным проводом **F** и соединительным проводом **C**. При  $t = 0^\circ\text{C}$  мост находится в равновесии, т.е.  $U_{CD} = 0$ . При повышении температуры свободных концов сопротивление резистора  $R_M$ , расположенного рядом с концами удлинительных проводов **F** и **D**, также возрастет, в результате чего в диагонали появится напряжение  $U_{CD}$ . Данное напряжение компенсирует недостающую термо-ЭДС на значение поправки

$$U_{CD} = E_{AB}(t'_0, t_0),$$

т.е. на выходе измерительного прибора термо-ЭДС равна

$$E_{AB}(t'_0, t_0) + U_{CD} = E_{AB}(t, t_0).$$

### **Термоэлектродные материалы и типы термопар**

Значение развиваемой термо-ЭДС зависит от материала термоэлектродов и температуры рабочего и свободного концов термометра. В качестве термоэлектродов преимущественно применяются те металлы и сплавы, которые развивают сравнительно большие термо-ЭДС. Применение термометров с более высокими значениями термо-ЭДС увеличивают надежность измерения температуры. Создаваемая термометрами термо-ЭДС сравнительно невелика - она составляет не более 8 мВ на каждые 100°C и при измерении высоких температур не превышает 70 мВ.

К термоэлектродным материалам, предназначенным для изготовления термоэлектрических термометров, предъявляют ряд требований:

- 1) жаростойкость и механическая прочность;
- 2) химическая инертность;
- 3) термоэлектрическая однородность;
- 4) стабильность и воспроизводимость термоэлектрической характеристики;
- 5) однозначная, желательно близкая к линейной, зависимость термо-ЭДС от температуры;
- 6) высокая чувствительность.

Ни один из существующих в настоящее время материалов не удовлетворяет всем требованиям, поэтому для различных пределов измерения используются термоэлектроды из различных материалов.

В качестве термоэлектродных материалов для изготовления термометров применяются, главным образом, чистые металлы и их сплавы.

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

Наибольшее распространение получили материалы: платина, платинородий, хромель, алюмель и копель. Для измерений в лабораторных установках находят также применение медь, железо, константан и др.

Межгосударственный стандарт ГОСТ 6616-94 «Преобразователи термоэлектрические. Общие технические условия» введён в действие в качестве государственного стандарта РФ с 1 января 1999 г. В стандарте нормализованы требования к двенадцати типам термоэлектрических преобразователей (табл. 2.3).

**Преобразователи термоэлектрические на основе благородных и тугоплавких металлов**

*Термопреобразователи вольфрамрений-вольфрамрениевые (ТВР)* имеют самый высокий предел длительного применения - 2200°C, но только в неокислительных средах, так как на воздухе уже при температуре 600°C происходит очень быстрое окисление и разрушение термоэлектродов. Термопара устойчива в аргоне, гелии, сухом водороде и азоте, а также в вакууме. Основной недостаток - плохая воспроизводимость термо-ЭДС, вынуждающая группировать термоэлектродные пары по группам с номинальными статическими характеристиками А-1, А-2, А-3.

*Термопреобразователи платинородий-платиновые (ТПП 10 и ТПП 13).* Чаще всего используются в металлургическом производстве и при термооб-

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

Химический состав основных типов ТЭП и пределы измеряемых температур

Тип термоэлектрического преобразователя	Обозначение градуировки (РФ)	Обозначение градуировки (МЭК)*	Химический состав термоэлектродов, масс. %		Пределы измерения температур, С		
			положительный	отрицательный	нижний	верхний	кратковременн
Хромель-алюмелевая	ТХА	К	Ni+9.5 Cr	Ni+1Si+2Al+2.5Mn	-200	1200	1300
Хромель-копелевая	ТХК	L	Ni+9.5 Cr	Cu+(42-44)Ni+0.5Mn+0.1Fe	-200	600	800
Хромель-константановая	ТХКн	E	Ni+9.5 Cr	Cu+(40-45)Ni+1.0Mn+0.7Fe	-200	700	900
Медь-копелевая	ТМК	M	Cu	Cu+(42-44)Ni+0.5Mn+0.1Fe	-200	100	-
Медь-константановая	ТМКн	T	Cu	Cu+(40-45)Ni+1.0Mn+0.7Fe	-200	350	400
Железо-константановая	ТЖК	J	Fe	Cu+(40-45)Ni+1.0Mn+0.7Fe	-200	750	900
Нихросил-нисилевая	ТНН	N	Ni+14.2Cr+1.4Si	Ni+4.4Si+0.1Mg	-270	1200	1300
Сильх-силиновая	ТСС	I	Ni+9Cr+ 0,9Si	Ni+(2-2,8)Si	0	800	-
Платинородий-платиновые	ТПП13	R	Pt+13Rh	Pt	0	1300	1600
	ТПП10	S	Pt+10Rh	Pt			
Платинородий-платинородиевая	ТПР	B	Pt+30Rh	Pt+6Rh	600	1700	-
Вольфрамрений-вольфрамрениевые	ТВР	A-1; A-2; A-3	W+5%Re	W+20%Re	0	2200	2500

\* МЭК – международный электротехнический комитет.

работке в диапазоне 1000-1600°C. Модификация ТПП 13 широко применяется на Западе. Термопары ТПП 10 используются также в качестве эталонных средств. По совокупности свойств платина и платинородиевые сплавы являются уникальными материалами для термопар. Их основное свойство - хорошее сопротивление газовой коррозии, особенно на воздухе при высоких температурах. Указанное свойство в сочетании с высокой температурой плавления и достаточно большой термо-ЭДС, хорошей совместимостью со многими изолирующими и защитными материалами, а также с хорошей технологичностью и воспроизводимостью метрологических характеристик, делает их незаменимыми при изготовлении электродов термопар для измерения высоких температур в окислительных средах. Эти сплавы устойчивы в аргоне и гелии, не растворяют азот и водород, не образуют нитридов и гидридов, не взаимодействуют с CO и CO<sub>2</sub>.

К недостаткам данных ТЭП можно отнести высокую чувствительность термоэлектродов к любым загрязнениям, появляющимся при изготовлении, монтаже или эксплуатации ТЭП, а также их высокую стоимость.

*Термопреобразователи платинородий-платинородиевые (ТПР).*

Особенностью ТЭП типа ТПР является очень малая термо-ЭДС, при 20°C - 0,002 мВ, при 120°C - 0,04 мВ, поэтому она не требует введения поправки на температуру холодного спая.

### **Преобразователи термоэлектрические на основе неблагородных металлов**

*Термопреобразователи хромель-копелевые (ТХК)* обладают наибольшей дифференциальной чувствительностью из всех промышленных ТЭП, применяются для точных измерений температуры, а также для измерений малых температурных разностей. ТХК свойственна исключительно высокая термоэлектрическая стабильность при нагревах до 600°C, обусловленная тем, что изменения термо-ЭДС хромелевого и копелевого термоэлектродов направлены в одну и ту же сторону и компенсируют друг друга. Технический ресурс термопар может составлять несколько десятков тысяч часов. К недостаткам ТХК можно отнести относительно высокую чувствительность к деформации.

*Термопреобразователи хромель-алюмелевые (ТХА)* являются самыми распространенными термопреобразователями в промышленности и научных исследованиях. ТХА предназначена для измерения температуры до 1200°C (длительно) и 1300°C (кратковременно) в окислительных и инертных средах. Термопреобразователь широко используется во всех отраслях промышленности: в печах, нагревательных устройствах, энергосиловом оборудовании. Номинальная статическая характеристика ТХА близка к линейной, дифференциальная термо-ЭДС около 40 мкВ/°C во всём диапазоне измеряемых температур. Главное преимущество ТХА по сравнению с другими термопарами из неблагородных металлов состоит в значительно большей стойкости к

окислению при высоких температурах. Технический ресурс термопар при температурах менее 850°C ограничивается только дрейфом термо-ЭДС, так как жаростойкость хромеля и алюмеля позволяет использовать их при этих температурах десятки тысяч часов. К недостаткам ТХА относятся присущие ей два вида нестабильности термо-ЭДС: обратимая циклическая нестабильность и необратимая нестабильность, накапливающаяся со временем.

На рис.2.11 приведены градуировочные зависимости стандартных, наиболее распространенных термопар.

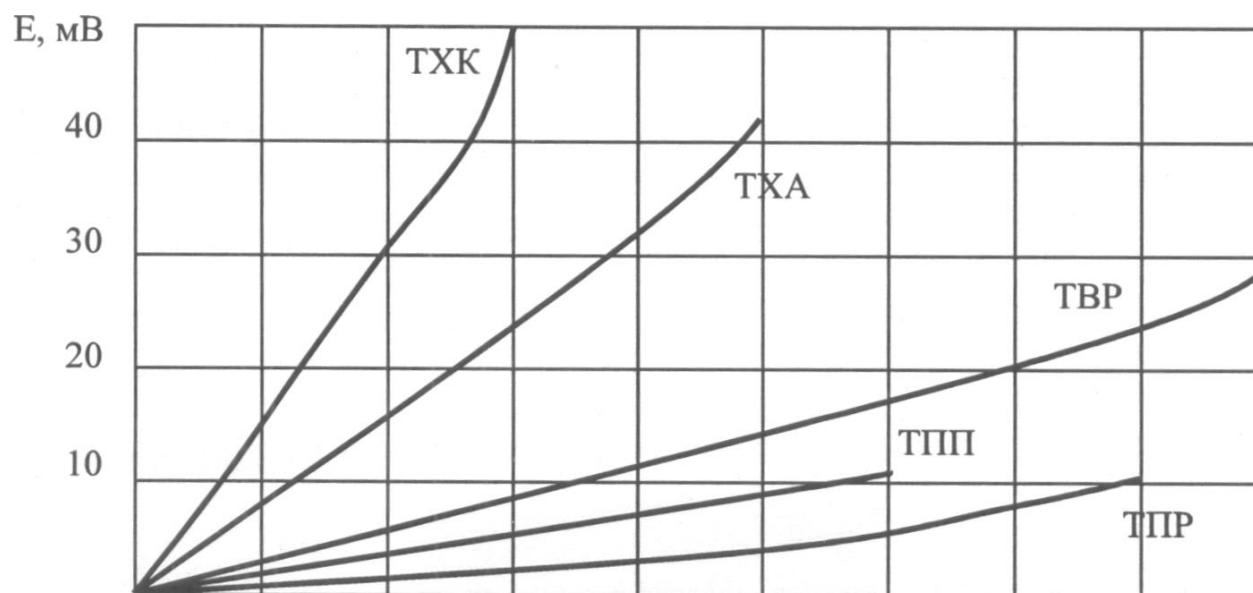


Рис. 2.11. Градуировочные зависимости основных типов термопар

### Конструкция термопары

Конструктивное выполнение термопар определяется условиями их применения.

По типу исполнения стандартные ТЭП делятся на:

- а) погружаемые и поверхностные;
- б) стационарные и переносные;
- в) одинарные, двойные и тройные;

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

г) однозонные и многозонные;

д) обыкновенные, водозащищенные, взрывобезопасные и т.д.

Возможны различные сочетания этих исполнений.

Конструктивно термоэлектрический преобразователь представляет собой две проволоки из разнородных материалов, нагреваемые концы которых скручиваются, а затем свариваются или спаиваются. Конструктивное оформление термопар разнообразно. На рис 2.12 представлена конструкция термопары, которая чаще всего используется для измерения температуры в трубопроводах и других аппаратах, находящихся под давлением.

Для защиты от механических повреждений и воздействия среды, температура которой измеряется, электроды ТЭП, армированные изоляцией, помещаются в специальную защитную арматуру. У рабочих преобразователей, применяемых для измерения температуры различных сред, арматура состоит из защитного чехла 1, неподвижного или передвижного штуцера 5 с сальниковым уплотнением (на рисунке не показано) и головки 7, прочно присоединенной к защитному чехлу. В головке, снабженной крышкой 8 и штуцером под кабель 9, помещена розетка 6 из изоляционного материала с клеммами для присоединения термоэлектродов 2 и проводов, соединяющих термопару с измерительным прибором или преобразователем.

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

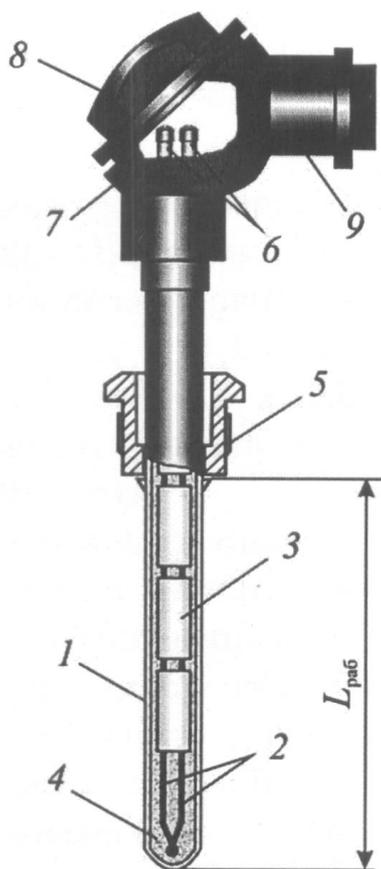


Рис. 2.12. Конструкция термопары:  
1 – защитный чехол; 2 – термоэлектроды;  
3 – изоляционные бусы; 4 – порошок;  
5 – штуцер; 6 – розетка с клеммами;  
7 – головка; 8 – крышка; 9 – штуцер под ка-  
бель

В качестве изоляции термоэлектродов термометра применяются одно- или двухканальные трубки или бусы 3 из фарфора (при температуре до 1300 °С) и окислов алюминия, магния или бериллия (свыше 1300 °С), надеваемые на термоэлектроды. Свободное пространство между термоэлектродами и защитным чехлом заполнено порошком окиси алюминия 4 для улучшения теплопередачи.

Длина монтажной (рабочей) части  $L_{\text{раб}}$ , погружаемой в среду, температуру которой измеряют, выполняется различной для каждого конкретного типа ТЭП.

Рабочий конец термопары можно выполнять путем сварки, пайки или скрутки. Наибольшее распространение получил способ изготовления с помощью сварки, а пайку применяют только в специальных случаях. Скрутку рабочего конца часто применяют для термоэлектрических

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

термометров вольфрамомолибденовой и вольфраммолибденовой групп. Сварку электродов ТЭП производят как с предварительной скруткой термоэлектродов, так и без скрутки. Еще одним вариантом изготовления спая рабочего конца является приварка электродов к дну защитного чехла.

Выпускаются **одинарные** (с одним чувствительным элементом) и **двойные** (с двумя чувствительными элементами) термоэлектрические преобразователи различных типов. Двойные термопары применяются для измерения температуры в одном и том же месте одновременно двумя вторичными приборами, установленными в разных пунктах наблюдения. Они содержат два одинаковых чувствительных элемента, заключенных в общую арматуру. Термоэлектроды их изолированы друг от друга и защитного чехла.

В настоящее время во всём мире широкое распространение получили термоэлектрические преобразователи, изготавливаемые из **термопарного кабеля** (рис. 2.13). Он представляет собой гибкую металлическую трубку с расположенными внутри неё одной или двумя парами термоэлектродов, расположенными параллельно друг другу. Пространство вокруг термоэлектродов заполнено сильно уплотнённой мелкодисперсной минеральной изоляцией.

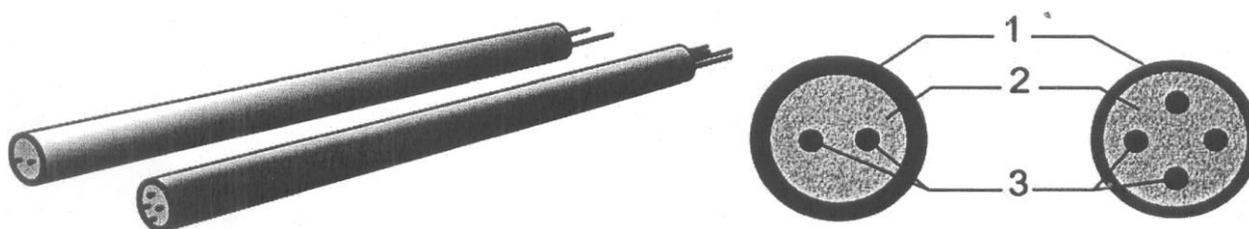


Рис. 2.13. Термопарный кабель с одной или двумя парами термоэлектродов: 1 - оболочка кабеля; 2 - минеральная изоляция (MgO); 3 - термоэлектроды

В РФ выпускают термопарный кабель с двумя типами термоэлектродов: КТМС-ХА и КТМС-ХК (кабель термопарный с минеральной изоляцией в стальной оболочке с хромель-алюмелевыми или хромель-копелевыми

термоэлектродами) диаметром от 0,9 до 7,2 мм с изоляцией из электротехнического периклаза. Оболочка кабеля изготовлена из жаростойкой стали или сплава. Термопарный кабель за счёт высокой плотности заполнения периклазом выдерживает изгиб на 180° вокруг цилиндра диаметром, равным пятикратному диаметру кабеля.

К достоинствам кабельных термопар можно отнести:

- более высокие термоэлектрическая стабильность и рабочий ресурс по сравнению с проволочными термопреобразователями (в 2-3 раза);
- возможность изгиба, монтажа в труднодоступных местах, в кабельных каналах, при этом длина ТП может достигать 60-100 метров. Термопары можно приваривать, припаивать или просто прижимать к поверхности для измерения её температуры;
- малый показатель тепловой инерции, позволяющий применять их для регистрации быстропротекающих процессов;
- универсальность применения для различных условий эксплуатации, хорошая технологичность, малая материалоемкость;
- способность выдерживать большие рабочие давления;
- возможность изготовления на их основе термопреобразователей в защитных чехлах блочно-модульного исполнения, обеспечивающих дополнительную защиту термоэлектродов от воздействия рабочей среды и создающих возможность оперативной замены чувствительного элемента.

### **Основные источники погрешности при измерении температуры с помощью термопар**

Среди источников погрешностей можно выделить как явления, специфичные только для термопар, так и общие (шумы и помехи), характерные для любых измерительных систем. Рассмотрим кратко эти явления и методы их нейтрализации.

### **Плохой контакт в месте спая и раскалибровка**

Для соединения разнородных металлов между собой чаще всего применяются пайка припоем и сварка. При температурах, близких к точке плавления припоя, возможно нарушение контакта и даже разрыв термопары (эту ситуацию можно выявить по изменению характеристик термопары). Термопары, соединенные с помощью сварки, выдерживают более высокие температуры, однако при сварке структура и химический состав проводников могут деградировать, что приводит к возникновению погрешностей.

Раскалибровка термопары (возникновение несоответствия рабочей характеристики термопары калибровочному полиному) также может являться результатом химического изменения материала термоэлектродов под действием высоких температур. Чтобы уменьшить такие погрешности, можно прибегнуть к повторной калибровке или замене термопары.

### **Шунтирование термопары и гальванический эффект**

При высоких температурах электрическое сопротивление материалов изоляционных оболочек термоэлектродов снижается и может стать меньше омического сопротивления самих электродов. Это эквивалентно включению в цепь термопары шунтирующего резистора и образованию нового паразитного спая, имеющего температуру, отличную от измеряемой.

Также при высоких температурах, особенно при измерении температуры жидкости, возможно образование (проникновение) электролита

внутри термопары и возникновение гальванического эффекта, также приводящего к ошибкам измерения.

### **Шумы и помехи**

Поскольку выходной сигнал термопары очень мал, необходимо принимать специальные меры для снижения уровня шумов (и соответственно погрешности измерения). Кратко остановимся на наиболее важных из них.

- 1) Соединительные проводники для подключения термопар должны быть изготовлены из материалов с коэффициентом Зеебека, максимально близким к материалам термопары.
- 2) Необходимо стремиться к максимальному сокращению длины соединительных проводников между термопарой и цифровым измерительным устройством. В случае большого удаления термопары от измерительного устройства следует использовать располагаемые в непосредственной близости от термопар специальные модули нормализации сигналов, превращающие термо-ЭДС в токовый сигнал (например, 4-20 мА) или непосредственно в цифровой отсчет. Кроме того, эти модули, как правило, обеспечивают гальваническую развязку сигналов и содержат устройства компенсации холодного спая. Дополнительные затраты окупаются надежностью, точностью и стабильностью работы системы.
- 3) Как можно шире использовать экранирование термопар и соединительных проводников для борьбы с помехами общего вида, особенно если проводники проходят рядом с источниками наводок и помех, а также при измерениях в электропроводящих средах.
- 4) Использовать фильтрацию сигналов для снижения уровня высокочастотных помех.

- 5) При многоканальных измерительных системах использовать метод временного отключения не используемых в данный момент групп каналов для предотвращения суммирования их шумов с сигналом измеряемого канала.
- 6) Использовать проводники, не отводящие тепло от измеряемой зоны.

### **Средства измерения сигналов термопар**

Для измерения термо-ЭДС, развиваемой термопарами, используются магнитоэлектрические милливольтметры, потенциометры и нормирующие преобразователи.

### **Магнитоэлектрический милливольтметр**

Простейшим прибором, которым измеряют термо-ЭДС термопар, является милливольтметр. Милливольтметры являются электроизмерительными приборами магнитоэлектрической системы (рис. 2.14).

В конструкции милливольтметров можно выделить магнитную и подвижную системы. Первая состоит из подковообразного магнита *1*, полюсных наконечников *2* и цилиндрического сердечника *3*. Наличие сердечника в междуполюсном пространстве магнита уменьшает магнитное сопротивление и формирует радиальный магнитный поток.

В кольцевом воздушном зазоре между полюсными наконечниками *2* и сердечником *3* вращается рамка *4*, изготовленная из изолированного медного провода и монтируемая на кернах, опирающихся на подпятники, либо на натянутых нитях.

Момент сил, противодействующий вращению рамки, создается специальной пружиной *5*, служащей одновременно тоководом к рамке. С помощью грузиков магнитная система уравнивается так, чтобы ее центр тяжести находился на оси рамки.

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

Рамка представляет собой прямоугольник длиной  $l$  и шириной  $2r$  и состоит из  $l$  витков тонкой медной проволоки, скрепленных между собой лаком. Благодаря сердечнику, расположенному внутри рамки, последняя оказывается под действием равномерного и радиального магнитного поля, из-за чего, независимо от угла поворота рамки, плоскость оказывается параллельной вектору магнитной индукции  $B$ . Таким образом, при протекании по рамке электрического тока  $I$  на подвижную систему действует магнитоэлектрический момент:

$$M = 2rlBI. \quad (2.16)$$

Противодействующий момент  $M_{пр}$ , создаваемый спиральной пружиной:

$$M_{пр} = W\varphi, \quad (2.17)$$

где  $W$ - удельный противодействующий момент,  $\varphi$  - угол поворота рамки.

При некотором угле поворота  $\varphi$  имеем  $M_{пр} = M$ , т.е.

$$W\varphi = 2rlBI \text{ или } \varphi = \frac{2rlBI}{W} = S_i I,$$

где  $S_i = \frac{2rlB}{W} = \frac{\varphi}{I}$  - чувствительность измеряемого механизма по току (рад/А).

Зависимость угла поворота рамки от напряжения  $U$ , подведенного к зажимам прибора с внутренним сопротивлением  $R_m$  равна

$$\varphi = S_i \frac{U}{R_m} = S_u U \quad (2.18)$$

где  $S_u = S_i / R_m = \varphi / U$  - чувствительность прибора по напряжению.

Измерение термо-ЭДС осуществляется по схеме, приведенной на рис.2.15.

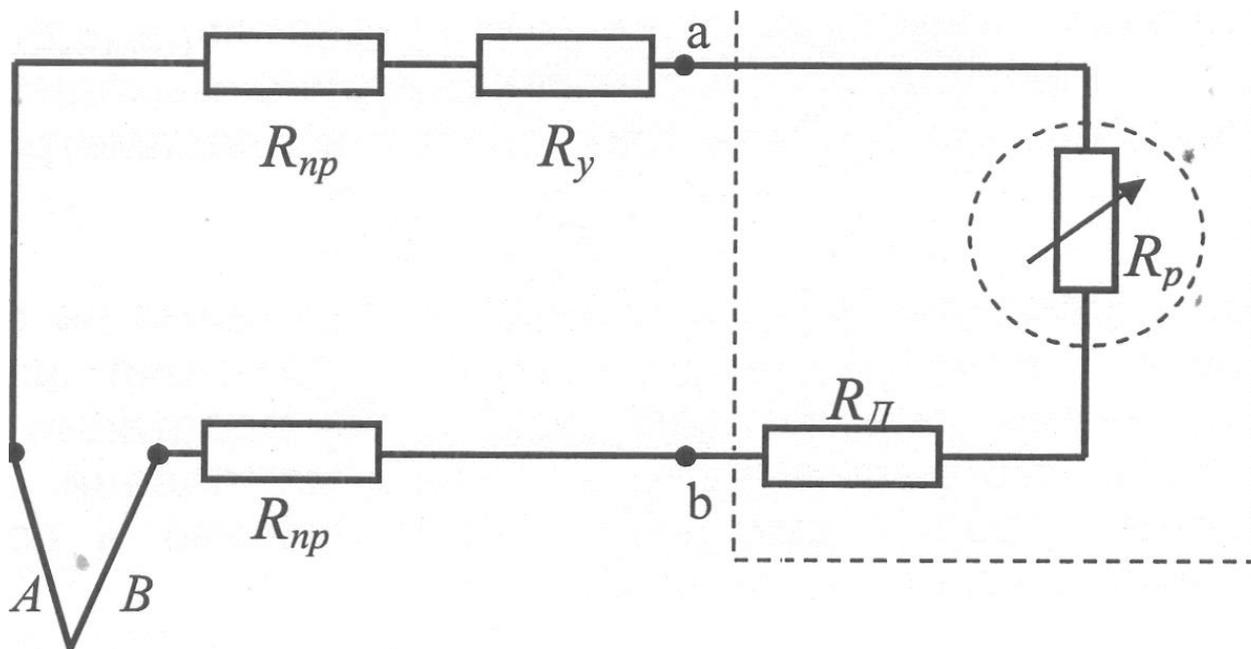


Рис.2.15. Схема измерения термо-ЭДС милливольтметром

Генерируемая ТЭП термо-ЭДС  $E_{AB}(t, t_0)$  создает в замкнутой цепи ток

$$I = \frac{E_{AB}(t, t_0)}{R_{AB} + R_{np} + R_{np} + R_y + R_p + R_{л}} = \frac{E_{AB}(t, t_0)}{R_{BH} + R_M}, \quad (2.19)$$

где  $R_y$  - сопротивление уравнивательной катушки,  $R_{л}$  - сопротивление добавочной катушки,  $R_{np}$  - сопротивление подводящих проводов,  $R_{BH} = R_{AB} + R_{np} + R_{np} + R_y$  - внешнее по отношению к зажимам **а-в** прибора сопротивление цепи,  $R_M = R_p + R_{л}$  - внутреннее сопротивление милливольтметра.

Измеренное милливольтметром напряжение  $U_{AB}$  всегда меньше, чем ЭДС в цепи на значение падения напряжения  $IR_{BH}$  во внешней цепи:

$$U_{AB} = IR_M = E_{AB}(t, t_0) - IR_{BH}. \quad (2.20)$$

Если  $R_{BH} + R_M = \text{const}$ , то между показаниями милливольтметра и измеряемой ЭДС однозначная зависимость:

$$\varphi = S_i \frac{E_{AB}(t, t_0)}{R_{BH} + R_M} \quad (2.21)$$

и шкалу милливольтметра можно градуировать в градусах по соответствующей градуировочной характеристике.

Сопротивления внешней цепи  $R_{BH}$  и милливольтметра  $R_M$  изменяются в зависимости от температуры окружающей среды, что приводит к погрешности измерения. Уменьшить температурную погрешность можно за счет выбора соотношений  $R_{BH} / R_M$  и  $R_P / R_M$ .

$$U_{AB} = IR_M = \frac{E_{AB}(t, t_0)}{1 + R_{BH} / R_M}, \quad (2.22)$$

следовательно, чем меньше  $R_{BH} / R_M$ , тем меньше изменение этого отношения скажется на зависимости  $U_{AB}$  от  $E_{AB}(t, t_0)$ . Уменьшение  $R_{BH} / R_M$

**ВОЗМОЖНО** за счет увеличения  $R_M$ , но т.к.  $R_M$  состоит из сопротивления рамки, выполненной из медного провода с сопротивлением  $R_P$  и добавочного сопротивления  $R_D$ , то  $R_M$  увеличивают за счет увеличения добавочного сопротивления  $R_D$ , выполненного в виде манганиновой катушки. Значительное увеличение  $R_M$  приводит к увеличению чувствительности милливольтметра. Обычно,  $R_M = 100-500$  Ом, а отношение  $R_P/R_M = 1/3$ , что значительно уменьшает температурный коэффициент прибора.

Значение  $R_{BH}$  стандартизовано в пределах 0,6-25 Ом и указано на шкале прибора. При использовании милливольтметра с градусной шкалой необходимо сопротивление внешней линии подогнать к значению  $R_{BH}$ , указанному на шкале прибора, с помощью подгоночного сопротивления  $R_y$ . Если милливольтметр имеет милливольттовую шкалу, то она наносится без учета сопротивления  $R_{BH}$  и показания прибора соответствуют сопротивлению на его зажимах, т.е.  $U_{AB}$ . По известным  $R_M$  и  $R_{BH}$  определяют  $E_{AB}(t, t_0)$ , а затем по градуировочным таблицам определяют температуру.

Милливольтметры, предназначенные для работы с ТЭП, бывают переносными и щитовыми. Щитовые милливольтметры имеют только градусную шкалу. Класс точности 0,5; 1,0; 1,5; 2,0.

### Потенциометр

Принцип действия потенциометра основан на компенсации неизвестной термо-ЭДС известным падением напряжения, создаваемым током от дополнительного источника  $E_б$  (рис.2.16).

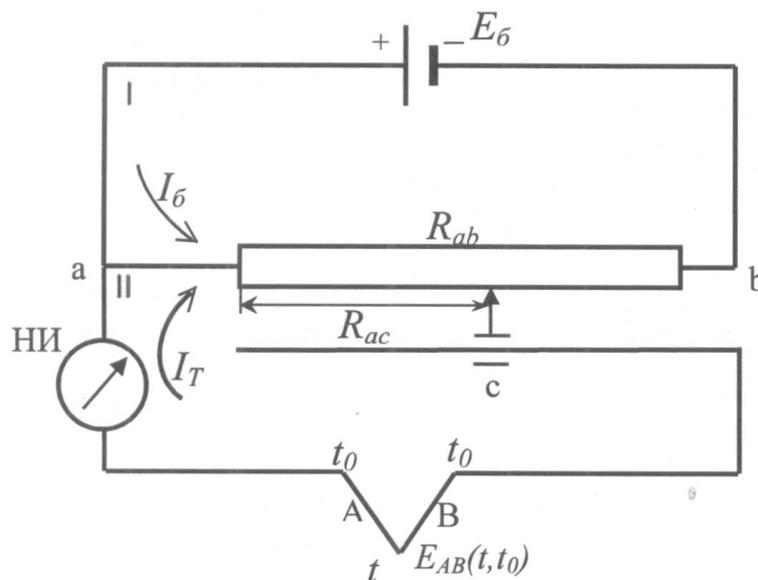


Рис.2.16. Измерительная схема потенциометра

Замкнутый контур I содержит дополнительный источник тока  $E_б$  и реохорд  $R_{ab}$ . Реохорд представляет собой переменный резистор из тонкой калиброванной проволоки (выполненной из специального сплава), намотанной на цилиндрический стержень, и снабженный подвижным контактом для изменения сопротивления. Этот контур называют компенсационным. Сила тока  $I_б$  в этом контуре определяется величиной  $E_б$  и сопротивлением реохорда  $R_{ab}$ .

Контур II включает в себя ТЭП, термо-ЭДС  $E_{AB}(t, t_0)$  которого измеряется и чувствительный гальванометр, выполняющий функции нуля-индикатора (НИ), а также часть реохорда  $R_{ac}$  от точки **a** до подвижного

контакта с движком реохорда. Источник измеряемой термо-ЭДС  $E_{AB}(t, t_0)$  включен навстречу дополнительному источнику  $E_6$  так, что токи от обоих источников на участке  $R_{ac}$  идут в одном направлении. Для контура II на основании закона Кирхгофа имеем:

$$E_{AB}(t, t_0) = I_T R_{вн} + I_T R_{ни} + I_T R_{ac} + I_6 R_{ac}, \quad (2.23)$$

где  $I_T$  - сила тока в контуре ТЭП;  $R_{вн}$  - внешнее сопротивление термопары и подводющих проводов;  $R_{ни}$  - сопротивление нуль-индикатора.

Откуда

$$I_T = \frac{E_{AB}(t, t_0) - I_6 R_{ac}}{R_{вн} + R_{ни} + R_{ac}}. \quad (2.24)$$

Перемещая движок реохорда можно добиться, чтобы  $I_T = 0$ , тогда

$$E_{AB}(t, t_0) = I_6 R_{ac},$$

т.е. при  $I_T = 0$ , падение напряжения  $U_{ac}$  на участке **ac** служит мерой измеряемой термо-ЭДС.

Достоинством компенсационного метода измерения термо-ЭДС является отсутствие тока в цепи в момент измерения. Это исключает необходимость учета значения сопротивления внешней цепи, а также изменение сопротивления  $R_{вн}$  при изменении температуры.

Компенсирующее напряжение можно измерять двумя методами:

- 1) поддерживая постоянное значение тока  $I_6$ , измерять  $R_{ac}$ ;
- 2) сохраняя сопротивление  $R_{ac}$  постоянным, измерять значение рабочего тока  $I_6$ .

Наибольшее распространение получили **потенциометры с постоянной силой рабочего тока** (рис.2.17).

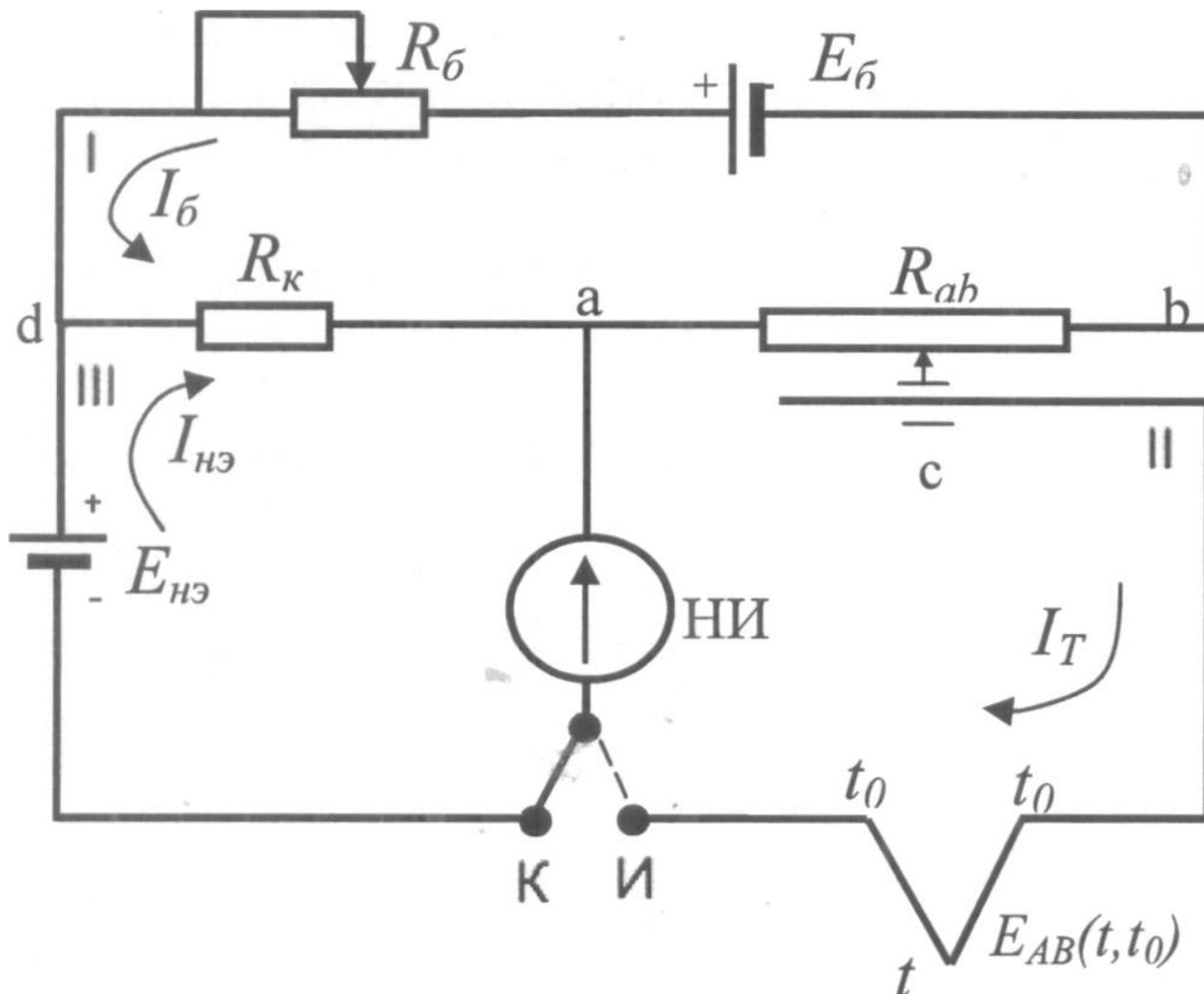


Рис 2.17. Потенциометр с постоянной силой рабочего тока

Для контроля постоянства рабочего тока введен дополнительный III контур - контур нормального элемента. Нормальный элемент представляет собой образцовую меру ЭДС  $E_{нэ} = 1,0186$  В и сохраняет эту ЭДС при кратковременных и малых нагрузках длительное время. При установке ключа в положение К (контроль) проводят сравнение ЭДС нормального элемента  $E_{нэ}$  с падением напряжения  $U_{da}$  на постоянном резисторе  $R_к$ . Если при этом  $I_{нэ} \neq 0$  (стрелка нуль-индикатора не стоит на нуле), т.е.  $U_{da} \neq E_{нэ}$ , то с помощью реостата  $R_б$  изменяют ток  $I_б$  в контуре I до тех пор, пока стрелка нуль-индикатора не установится на 0, тогда  $E_{нэ} = U_{da}$ . Так как  $U_{da} = I_б R_к$  и  $R_к = 509,3$  Ом,

$$I_{\sigma} = \frac{E_{нэ}}{R_{\kappa}} = \frac{1,0186}{509,3} = 2 \text{ мА}.$$

После стандартизации значения тока  $I_{\sigma}$  ключ переводят в положение "измерение" И и перемещают движок реохорда  $R_{ab}$  до установки стрелки нуль-индикатора на нуле. При этом

$$E_{AB}(t, t_0) = I_{\sigma} R_{ac} = \frac{E_{нэ} R_{ac}}{R_{\kappa}}.$$

При равномерной намотке реохорда сопротивления его участков пропорциональны соответствующим длинам, т.е.  $R_{ac} / R_{ab} = l / L$  и тогда

$$E_{AB}(t, t_0) = I_{\sigma} R_{ac} = \frac{E_{нэ} R_{ac}}{R_{\kappa} L} = K, \quad (2.26)$$

где  $K$  - константа.

Таким образом, измерение ЭДС сводится к измерению длины  $l$  участка реохорда, которая проградуирована в единицах напряжения. Потенциометры, работающие по этой схеме имеют класс точности до 0,005.

**В** схеме **потенциометра с переменной силой рабочего тока** (рис. 2.18) измеряемая термо-ЭДС  $E(t, t_0)$  компенсируется падением напряжения  $I_{\sigma} R_{ab}$  на постоянном и известном сопротивлении  $R_{ab}$  путем изменения зна-

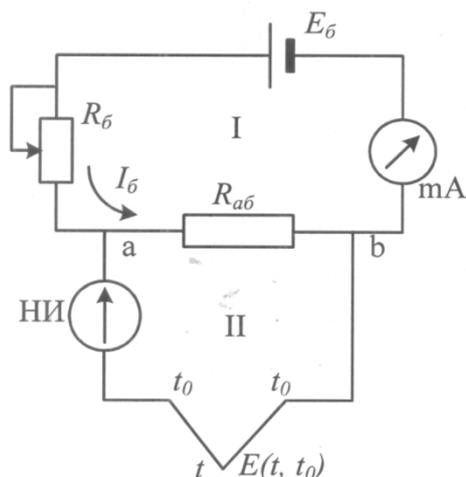


Рис. 2.18. Потенциометр с переменной силой рабочего тока

чения тока  $I_б$  в компенсирующем контуре I с помощью реостата  $R_б$ .

Движок последнего перемещается до тех пор, пока нуль-индикатор НИ в контуре II не покажет нуль, при этом отсчитывается значение тока  $I_б$  по шкале миллиамперметра. Этот потенциометр уступает по точности потенциометру с постоянной силой рабочего тока.

Схема данного потенциометра находит применение, в частности, при построении нормирующих токовых преобразователей.

### **Автоматический потенциометр**

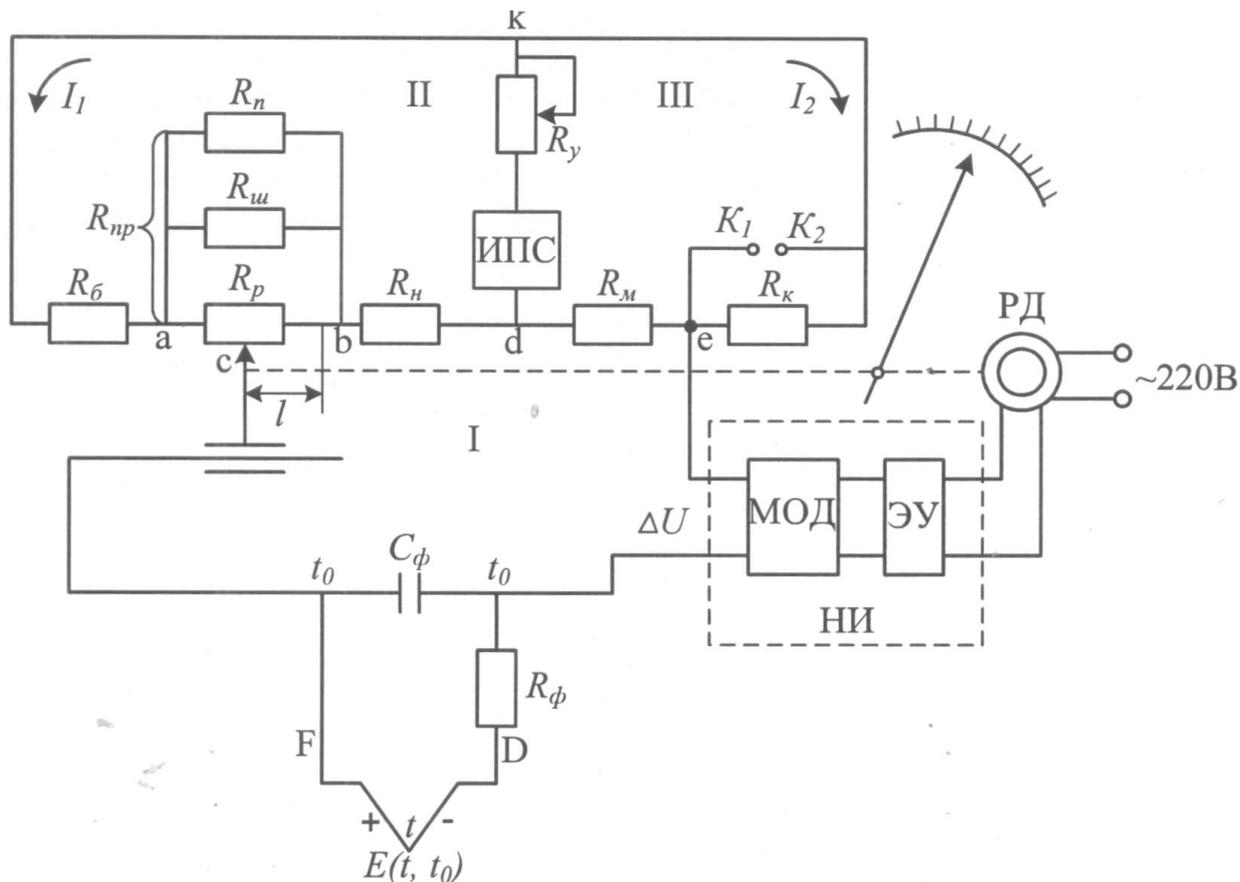


Рис. 2.19. Автоматический потенциометр

Схема этого прибора (рис.2.19) построена на основе схемы потенциометра с постоянной силой рабочего тока. Однако, здесь предусматривается два контура компенсации напряжения - II и III. Контур III, содержащий резистор  $R_M$  из медной проволоки, служит для автоматического введения поправки на температуру свободных концов ТЭП. Свободные концы ТЭП с помощью удлинительных проводов F и D подводятся к резистору  $R_M$  и находятся при одной с ним температуре. Остальные резисторы измерительной схемы потенциометра выполнены из манганина.

Для питания контуров II и III используется источник стабилизированного питания ИПС, в котором входное напряжение переменного тока 6,3 В выпрямляется и стабилизируется в выходное напряжение постоянного тока 5 В (погрешность стабилизации  $\pm 5$  или  $\pm 10$  мВ соответственно для класса точности 0,1 и 0,2) при нагрузке 1000 Ом и

токе нагрузки  $I = 5\text{мА}$ . При работе ИПС в составе потенциометра напряжения между точками d и к  $U_{dk} = 1019\text{ мВ}$ .

Благодаря использованию ИПС в автоматических потенциометрах установка рабочего тока осуществляется через несколько тысяч часов непрерывной работы, кроме того, упростилась кинематика механизма и повысилась надежность прибора.

Подключение к клеммам  $K_1$  и  $K_2$  нормального элемента  $E_{нэ}$  и последовательно соединенного с ним нуль-индикатора осуществляется для контроля рабочего тока  $I$  лишь при поверке и градуировке потенциометра. При этом

$$U_{ке} = IR_k = E_{нэ}.$$

Обычно  $R_k = 509,3\text{ Ом}$ , тогда  $I = 2\text{мА}$ .

$R_y$  - резистор для установки рабочего тока;  $R_{np}$  - значения сопротивления реохордной группы, состоящей из трех параллельно соединяемых резисторов:  $R_p$  - реохорда,  $R_{ш}$  - шунта и сопротивления  $R_n$ .

Такое исполнение реохордной группы связано с тем, что реохорд  $R_p$  является ответственным узлом, предназначенным для измерения. При необходимости изменения сопротивления на участке **ав** (обычно при изменении диапазона измерения) изменяют общее сопротивление  $R_{np}$  этого участка за счет изменения  $R_n$ , а иногда и  $R_{ш}$  оставляя  $R_p$  стандартным. Резисторы  $R_n$  и  $R_{ш}$  служат для установления начального значения шкалы и значения тока  $I = 3\text{мА}$ .

В качестве нуль-индикатора НИ в автоматических потенциометрах используется электронный усилитель ЭУ, на входе которого установлен модулятор МОД для преобразования сигнала разбаланса напряжения постоянного тока  $\Delta U$  в переменное напряжение. Для предохранения

усилителя от наводок и помех, возникающих в цепи ТЭП, предусмотрен фильтр, состоящий из сопротивления  $R_\phi$  и конденсатора  $C_\phi$ .

Пусть при некотором значении измеряемой термо-ЭДС  $E_{AB}(t, t_0)$  в некотором положении движка реохорда  $\mathbf{c}$  ток в контуре измерения  $\Pi$  равен 0, т.е.  $E_{AB}(t, t_0)$  скомпенсировано падением напряжения  $U_{ce}$  на участке  $cbde$ . Тогда сигнал разбаланса

$$\Delta U = E_{AB}(t, t_0) - U_{ce} = 0.$$

При сигнале  $\Delta U \neq 0$  на выходе усилителя в соответствии с абсолютным значением и знаком разбаланса формируется управляющий сигнал, под действием которого реверсивный двигатель РД перемещает движок реохорда  $\mathbf{c}$  до тех пор, пока напряжение разбаланса не станет равным нулю; одновременно с движком по шкале реохорда перемещается стрелка прибора. Сведение к нулю напряжения разбаланса  $\Delta U$ , т.е. достижение полного равенства компенсирующего напряжения  $U_{ce}$  измеряемой термо-ЭДС  $E_{AB}(t, t_0)$ , реализуется благодаря тому, что система автокомпенсации является астатической. Свойство астатичности достигается из-за наличия в системе регулирования разбаланса интегрирующего звена, в качестве которого выступает РД.

### **Нормирующие преобразователи термо-ЭДС**

Для введения информации от ТЭП в ЭВМ или системы автоматического регулирования применяют нормирующие измерительные токовые преобразователи (рис.2.20). Они предназначены для преобразования сигнала ТЭП в унифицированный сигнал постоянного тока 0-5 мА (0-20 мА).

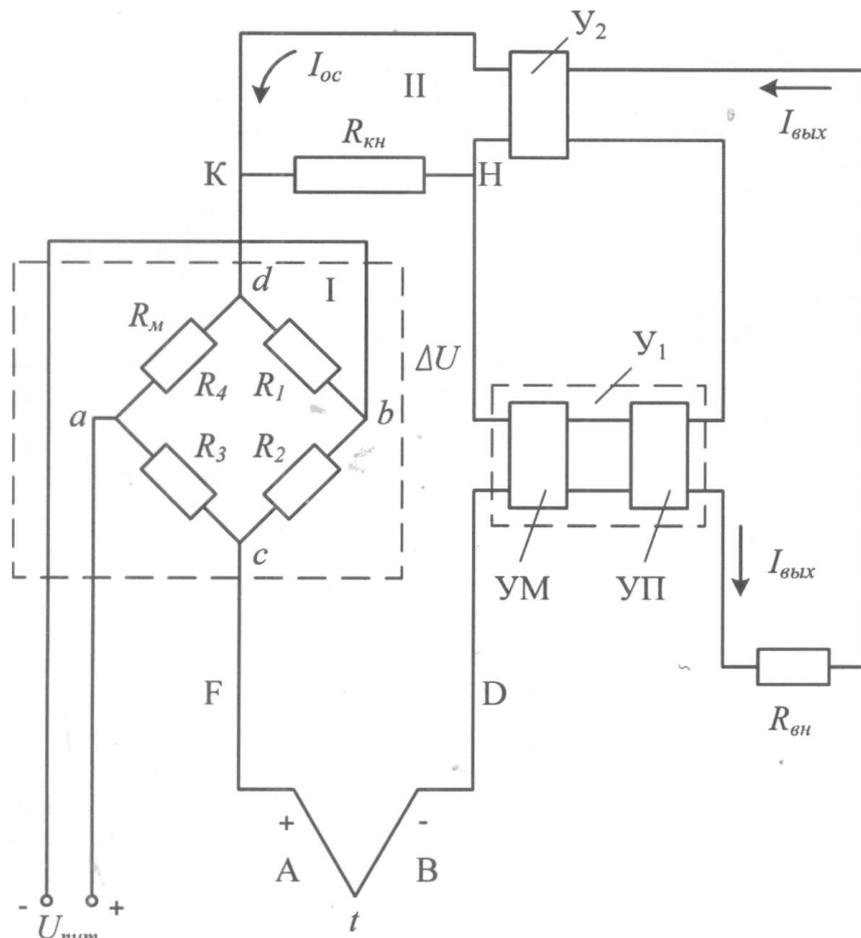


Рис.2.20. Нормирующий преобразователь термо-ЭДС

В основу работы нормирующего преобразователя положен компенсационный метод измерения термо-ЭДС с использованием схемы потенциометра с переменной силой рабочего тока.

Контур измерения I содержит корректирующий мост КМ, усилитель У1 с токовым выходом  $I_{\text{вых}}$  и резистор  $R_{KH}$ . К контуру I с помощью удлинительных проводов F и D подключен ТЭП.

Корректирующий мост предназначен для введения автоматической поправки на изменения температуры свободного конца ТЭП, а также компенсации начальной термо-ЭДС в преобразователях, нижний предел измерения которых не равен  $0^{\circ}\text{C}$ . К диагонали **ав** питания моста подведено стабилизированное напряжение постоянного тока. Резисторы  $R_1, R_2, R_3$  - манганиновые,  $R_M$  - медный.

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

Усилитель  $U_1$  состоит из двух каскадов: магнитного УМ, выполненного по двухтактной полупериодной схеме и полупроводникового усилителя УП, работающего в режиме усиления постоянного тока. Усилитель  $U_1$  выполняет функции нуля- индикатора. Контур компенсации II включает в себя резистор  $R_{кн}$  и усилитель обратной связи  $U_2$ . Этот усилитель аналогичен  $U_1$ , но включен с глубокой отрицательной связью по выходному току усилителя.

Выходной ток  $I_{oc}$  усилителя  $U_2$  является рабочим током контура II, и при прохождении этого тока по сопротивлению  $R_{кн}$  в нем со стороны контура II создается компенсирующее напряжение:  $U_{кн} = I_{oc} R_{кн}$ . Со стороны контура I к резистору  $R_{кн}$  подводится сигнал ТЭП  $E_{AB}(t, t'')$ , сложенный с напряжением  $U_{cd}$ , создаваемым в измерительной диагонали **cd** корректирующего моста КМ. Это напряжение равно поправке на температуру свободных концов ТЭП, т.е.

$$U_{cd} = E_{AB}(t'', t_0),$$

т.е. этот суммарный сигнал, равный

$$E_{AB}(t, t_0) = E_{AB}(t, t'') + U_{cd}$$

сравнивается с напряжением  $U_{кн}$ . Разбаланс, равный  $\Delta U = E_{AB}(t, t_0) - U_{кн}$  подается на усилитель  $U_1$ , где этот сигнал постоянного тока  $\Delta U$  преобразуется сначала в магнитном усилителе УМ в сигнал переменного тока, затем усиливается, а затем опять преобразуется в сигнал постоянного тока, который дополнительно усиливается в полупроводниковом усилителе УП постоянного тока.

Выходной сигнал усилителя  $U_1$  создает ток  $I_{вых}$ , который поступает во внешнюю цепь  $R_{вн}$  и далее, через делитель, в усилитель обратной связи  $U_2$ . Выходной ток  $I_{oc}$  усилителя  $U_2$  изменяется и изменяет падение

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

на напряжения  $U_{KH}$  на резисторе  $R_{KH}$  до тех пор, пока разбаланс  $\Delta U$  не достигнет некоторой малой величины  $\Delta U$ , называемой статической ошибкой компенсации.

Наличие статической ошибки компенсации приводит к тому, что в контуре измерения проходит недокомпенсированный ток. При этом, чем больше измеряемая термо-ЭДС, тем больше этот ток. Исключить эту ошибку в устройствах, выполненных по статической автокомпенсационной схеме, принципиально невозможно, так как

выходной ток преобразователя  $I_{вых}$  и ток контура компенсации  $I_{oc}$  определяются наличием этой ошибки и пропорциональны ей. В то же время статическая ошибка автокомпенсационной схемы может быть значительно уменьшена, если использовать усилитель с большим коэффициентом усиления.

Рассмотрим связь между измеряемой термо-ЭДС  $E_{AB}(t, t_0)$  и выходным током преобразователя  $I_{вых}$

$$\Delta U = E_{AB}(t, t_0) - U_{KH}. \quad (2.27)$$

На выходах усилителей  $Y_1, Y_2$  формируются сигналы

$$I_{вых} = K_1 I_{вх} = K_1 \frac{\Delta U}{R_{вх}}; \quad (2.28)$$

$$I_{oc} = K_2 I_{вых} \quad (2.29)$$

где  $K_1$  и  $K_2$  - коэффициенты усиления усилителей  $Y_1$  и  $Y_2$ ;  $I_{вх} = \frac{\Delta U}{R_{вх}}$  - ток, создаваемый во входной цепи усилителя сигналом  $\Delta U$ ,  $R_{вх}$  - сопротивление входной цепи усилителя  $Y_1$ .

Падение напряжения на резисторе  $R_{KH}$  с учетом (2.29) составит

$$U_{KH} = I_{oc} R_{KH} = K_2 I_{вых} R_{KH}. \quad (2.30)$$

Подставляя в выражение (2.27)  $\Delta U$  из (2.28) и  $U_{KH}$  из (2.30), получим:

$$\frac{I_{\text{ввх}} R_{\text{вх}}}{K_1} = E_{AB}(t, t_0) - K_2 I_{\text{ввх}} R_{KH}.$$

Находим

$$I_{\text{ввх}} = K E_{AB}(t, t_0), \quad (2-31)$$

где  $K = \frac{1}{R_{\text{вх}} / K_1 + K_2 R_{KH}}$  – коэффициент преобразования

нормирующего преобразователя.

Таким образом, выходной сигнал нормирующего преобразователя пропорционален откорректированному по температуре свободного сая сигналу ТЭП.

В зависимости от диапазона входного сигнала нормирующие преобразователи имеют классы точности 0,5 - 1,5.

## 2. Термопреобразователи сопротивления

### Принцип действия

Действие термопреобразователей сопротивления (термометров сопротивления) основано на свойстве металлов и полупроводников изменять свое электрическое сопротивление с изменением температуры.

Известно, что подавляющее большинство металлов имеет положительный температурный коэффициент электрического сопротивления. Это связано с тем, что число носителей тока - электронов проводимости - в металлах очень велико и не зависит от температуры. Электрическое сопротивление металла увеличивается с повышением температуры в связи с возрастающим рассеянием электронов на неоднородностях кристаллической решетки, обусловленным увеличением тепловых колебаний ионов около своих положений равновесия. В полупроводниках

наблюдается иная картина - число электронов проводимости резко возрастает с увеличением температуры. Поэтому электрическое сопротивление типичных полупроводников столь же резко (обычно по экспоненциальному закону) уменьшается при их нагревании. При этом температурный коэффициент электрического сопротивления полупроводников на порядок выше, чем у чистых металлов.

Если известна зависимость между электрическим сопротивлением  $R_t$  термопреобразователя сопротивления и его температурой  $t$  (т.е.  $R_t = f(t)$  - градуировочная характеристика), то, измеряя  $R_t$ , можно определить температуру среды.

Статическая характеристика металлических термометров сопротивления может быть записана в виде формулы:

$$R = R_0 [1 + \alpha(t - t_0)], \quad (2.32)$$

где  $\alpha$  - температурный коэффициент сопротивления, Ом/°С;  $R_0$  - сопротивление термометра при температуре  $t_0$ , Ом;  $R$  - сопротивление термометра при температуре  $t$ , Ом.

Градуировочные характеристики термометров сопротивления приводятся в справочниках (см. Приложения 1, 2).

Термометры сопротивления широко применяются для измерения температуры в интервале от -260 до 850 °С. В отдельных случаях они могут быть использованы для измерения температур до 1000 °С.

К числу достоинств металлических термометров сопротивления следует отнести:

- высокую степень точности измерения температуры;

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

- возможность выпуска измерительных приборов к ним со стандартной градуировкой шкалы практически на любой температурный интервал;
- возможность централизации контроля температуры путем присоединения нескольких взаимозаменяемых термометров сопротивления через переключатель к одному измерительному прибору.

К недостаткам термометров сопротивления относится потребность в постоянном источнике тока.

### Типы термопреобразователей сопротивления

К металлическим проводникам термопреобразователя сопротивления предъявляется ряд требований:

- 1) стабильность градуировочной характеристики;
- 2) воспроизводимость, обеспечивающая взаимозаменяемость изготавливаемых термопреобразователей сопротивления;
- 3) нечувствительность к малым примесям;
- 4) линейность функции  $R_t = f(t)$ ;
- 5) высокое значение температурного коэффициента электрического сопротивления;
- 6) большое удельное сопротивление;
- 7) невысокая стоимость материала.

Исследования установили, что чем чище металл, тем более он отвечает указанным требованиям и тем больше отношение  $R_{100} / R_0$  и температурный коэффициент электрического сопротивления  $\alpha$ , где  $R_{100}$  и  $R_0$  - сопротивления материала при температуре 100 и 0°C соответственно. При снятии механических напряжений в металле путем его отжига, эти характеристики достигают максимального значения для данного металла.

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

Из числа чистых металлов наиболее пригодными для изготовления термометров сопротивления являются платина (Pt) и медь (Cu), хотя выпускаются термометры сопротивления, выполняемые из никеля, железа, свинца, вольфрама, но в нашей стране они не получили широкого распространения.

Межгосударственный стандарт ГОСТ 6651-94 «Термопреобразователи сопротивления. Общие технические условия» введён в действие в качестве государственного стандарта РФ с 1 января 1999 г. В стандарте нормализованы требования к трем типам преобразователей (табл. 2.4).

Таблица 2.4

**Типы и характеристики термопреобразователей сопротивления**

Тип термопреобразователя	Номинальное сопр. $R_0$ при 0°C (Ом)	Условное обозначение градуировочной характеристики		Диапазон измеряемых температур (°C)
		в РФ	Международная	
Термометр сопротивления платиновый (ТСП)	1	1П	Pt1	-200 ÷ 850
	10	10П	Pt10	
	50	50П	Pt50	
	100	100П	Pt100	
	500	500П	Pt500	
Термометр сопротивления медный (ТСМ)	10	10М	Cu10	-200 ÷ 200
	50	50М	Cu50	
	100	100М	Cu100	
Термометр сопротивления никелевый (ТСН)	100	100Н	Ni100	-60 ÷ 180

Платина является наилучшим материалом для термометров сопротивления, так как легко получается в чистом виде, обладает хорошей воспроизводимостью, химически инертна в окислительной среде при высоких температурах, имеет достаточно большой температурный коэффициент  $\alpha = 3,94 \cdot 10^{-3} \text{ C}$  и высокое удельное сопротивление  $\rho = 0,1 \cdot 10^6 \text{ Ом} \cdot \text{м}$ .

Платиновые термометры сопротивления используются в качестве рабочих образцов эталонов. Недостатком платины является нелинейность функции  $R = f(t)$ , кроме того, платина очень дорогой металл.

Медь - недорогостоящий материал, легко получаемый в чистом виде, но при высоких температурах медь быстро окисляется.

### Конструкция термопреобразователей сопротивления

Термомопреобразователи сопротивления имеют специальную арматуру, сходную, в основном, с арматурой термопар. Так же, как и у термопар, в существующей номенклатуре представлено большое количество различных вариантов конструктивного исполнения термометров сопротивления. На рис 2.21 представлена конструкция термометра сопротивления, которая чаще всего используется для измерения температуры в трубопроводах и других аппаратах, находящихся под давлением.

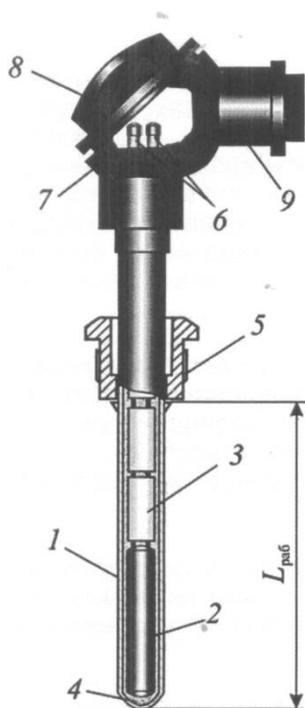


Рис. 2.21. Конструкция термопреобразователя сопротивления:

1 - защитный чехол; 2 - чувствительный элемент; 3 - изоляционные бусы; 4 - порошок; 5 - штуцер; 6 - розетка с клеммами; 7 - головка; 8 - крышка; 9 - штуцер под кабель

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

Для защиты от механических повреждений и воздействия среды, температура которой измеряется, чувствительный элемент 2 и удлиняющие провода, армированные изоляцией, помещаются в специальную защитную арматуру. Арматура состоит из защитного чехла 1, неподвижного или передвижного штуцера 5 с сальниковым уплотнением (на рисунке не показано) и головки 7, прочно присоединенной к защитному чехлу. В головке, снабженной крышкой 8 и штуцером под кабель 9, помещена розетка 6 из изоляционного материала с клеммами для присоединения удлиняющего кабеля, соединяющего термометр сопротивления с измерительным прибором или преобразователем. В качестве изоляции удлиняющих проводов термометра применяются одно- или двухканальные трубки или бусы 3, выполненные из фарфора или ПВХ. Свободное пространство защитного чехла заполнено порошком окиси алюминия 4 для улучшения теплопередачи.

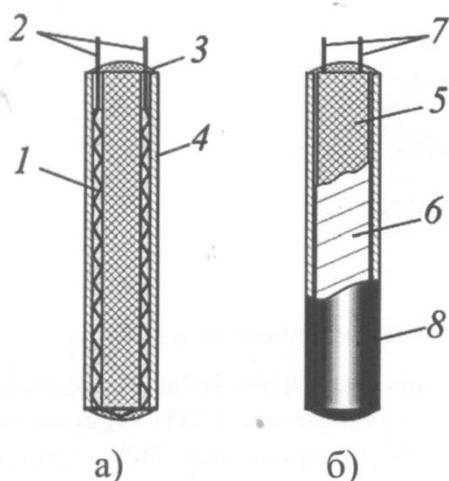


Рис.2.22. Конструкция чувствительного элемента:

а – платинового ТС; б – медного ТС.  
1 – платиновая спираль; 2, 7 – выводы; 3 – термоцемент; 5 – медная проволока; 6 – фторопластовая пленка; 8 – металлическая гильза

На рис. 2.22 показана конструкция чувствительного элемента платинового и медного термометров сопротивления. Чувствительный элемент платинового термометра сопротивления (рис. 2.22, а) представляет собой платиновую спираль 1 из тонкой проволоки, помещенную в капиллярные каналы керамического каркаса 4. К двум верхним концам этих спиралей

припаяны платиновые или иридиевородиевые выводы 2, к которым привариваются удлиняющие проводники. Для крепления платиновых спиралей и выводов в керамическом каркасе используют глазурь или термоцемент 3. Пространство между платиновыми спиральями и стенками каналов каркаса заполнено порошком окиси алюминия, который служит изолятором и улучшает тепловой контакт между спиральями и каркасом.

Чувствительный элемент медного термометра сопротивления (рис. 2.22, б) представляет собой многослойную безиндукционную обмотку 5 из медной изолированной проволоки (диаметром 0,08 мм), намотанную на цилиндрический каркас из пластмассы и герметизированную с помощью фторопластовой пленки 6 (или слоя лака). К концам обмотки припаяны медные выводы 7. Собранный чувствительный элемент помещается в металлическую гильзу 8, засыпается керамическим порошком и герметизируется.

Длина чувствительного элемента у платиновых термометров сопротивления составляет 30 - 120 мм, у медных - 60 мм.

Термометры сопротивления бывают одинарные и двойные, т.е. с одним и двумя чувствительными элементами. В последнем случае в общем защитном чехле расположены два одинаковых чувствительных элемента, подключаемых к двум отдельным вторичным приборам, установленным в разных местах.

### **Вторичные приборы, работающие в комплекте с термопреобразователями сопротивления**

В практике технических измерений температуры с использованием термопреобразователей сопротивления широкое применение нашли мосты (уравновешенные и неуравновешенные), логометры и нормирующие преобразователи. Для точных измерений температуры и

метрологической аттестации термопреобразователей сопротивления получили применение мосты постоянного тока.

### Логометр

Это приборы магнитоэлектрической системы. Логометр (рис.2.23) состоит из двух жестко закрепленных между собой рамок, изготовленных из медной проволоки, сопротивлением  $r_1$  и  $r_2$ . На общую ось рамок насажена стрелка прибора.

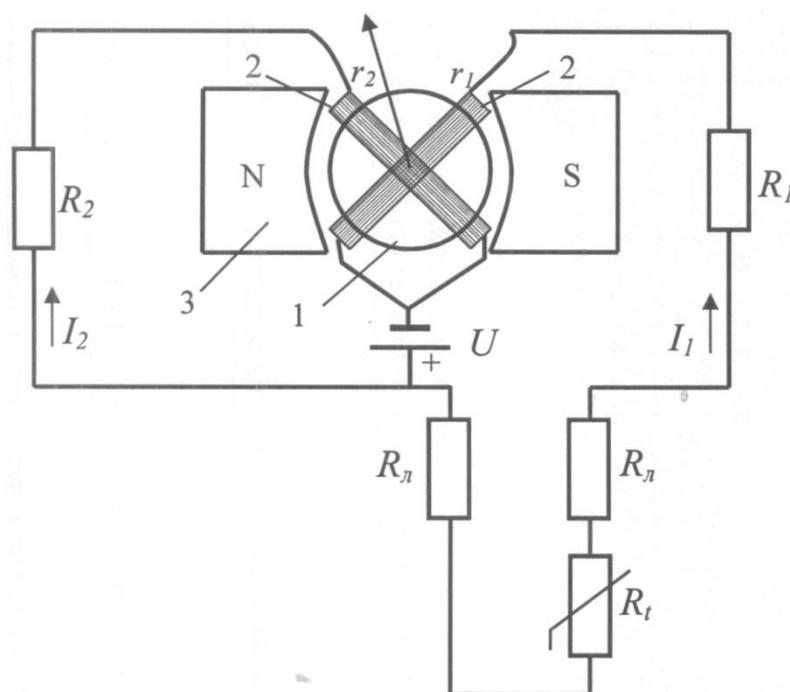


Рис.2.23. Логометр:

1 – сердечник; 2 – рамки; 3 – магнит

В воздушном кольцевом зазоре между цилиндрическим наконечником из мягкой стали и полюсными наконечниками вращаются активные стороны рамок. Воздушный зазор между полюсными наконечниками и сердечником неравномерен и поэтому магнитное поле здесь распределено неравномерно. Так, зазор по горизонтальной оси минимален и увеличивается по обе стороны от этой оси. В соответствии с этим магнитная индукция в центре максимальна и уменьшается примерно

по квадратичному закону по мере удаления от центра к краям полюсных наконечников. Таким образом, магнитная индукция является функцией угла поворота рамок, т.е. токи  $I_1$  и  $I_2$ , проходящие соответственно в рамках  $r_1$  и  $r_2$ , направлены так, что возникающие в них моменты  $M_1$  и  $M_2$  направлены навстречу друг другу:

$$M_1 = C_1 B_1 I_1; \quad M_2 = C_2 B_2 I_2, \quad (2.33)$$

где  $C_1$   $C_2$  - постоянные коэффициенты, зависящие от геометрии рамок;  $B_1$ ,  $B_2$  - магнитная индукция, пронизывающая рамки.

В логометре уравнивание момента, действующего в одной из рамок, происходит за счет момента другой рамки. Для исключения погрешности измерения токопроводы рамок выполняют безмоментными, например, из тонкой золотой ленты или маломоментными - из бронзовой проволоки малого диаметра.

Пусть при изменении сопротивления  $R_t$  увеличился ток  $I_1$ , что приводит к увеличению момента  $M_1$ , который начинает поворачивать подвижную систему против часовой стрелки. При этом окажется, что активные стороны рамки будут перемещаться из поля большей магнитной напряженности в поле с меньшей напряженностью. Активные стороны рамки  $r_2$ , наоборот, из поля меньшей магнитной напряженности в поле с большей напряженностью. При этом момент  $M_1$  будет уменьшаться, а  $M_2$  - расти, вследствие уменьшения  $B_1$  и роста  $B_2$ . При некотором угле поворота подвижной системы наступит состояние равновесия, т.е.

$$M_1 = M_2, \quad C_1 B_1 I_1 = C_2 B_2 I_2$$

откуда

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{C_2 B_2}{C_1 B_1} = C \frac{B_2}{B_1} = f(\varphi) \quad \text{или} \quad \varphi = f(I_2 / I_1)$$

Из этого следует, что угол поворота подвижной системы определяется отношением (по-гречески "логус") двух токов, что объясняет название прибора - логометр.

Выражая токи  $I_1$  и  $I_2$  через напряжение питания  $U$  и соответствующие сопротивления, имеем:

$$\varphi = f(I_2 / I_1) = f\left(\frac{U / (r_2 + R_2)}{U / (R_1 + r_1 + R_1)}\right) = f\left(\frac{(R_1 + r_1 + R_1)}{(r_2 + R_2)}\right), \quad (2.34)$$

$r_1, R_1, r_2, R_2 = \text{const}$ , поэтому  $\varphi = f(R_1)$ .

Таким образом, логометр измеряет отношение токов, генерируемых одним источником. Изменение его напряжения в определенных пределах не влияет на показания прибора. Это его преимущество.

Так как рамки выполнены из меди, то при изменении температуры окружающей среды сопротивление рамок меняется. Для уменьшения влияния температуры последовательно с сопротивлениями  $r_1$  и  $r_2$  рамок включены добавочные резисторы  $R_1$  и  $R_2$ , выполненные из манганина. Значение сопротивлений  $R_1$  и  $R_2$  **много** больше сопротивлений  $r_1$  и  $r_2$  рамок. Но при этом из-за уменьшения токов уменьшается чувствительность логометра. Для увеличения чувствительности логометра и уменьшения температурного коэффициента используют схему симметричного неравновесного моста, в диагональ которого включены рамки логометра (рис.2.24).

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

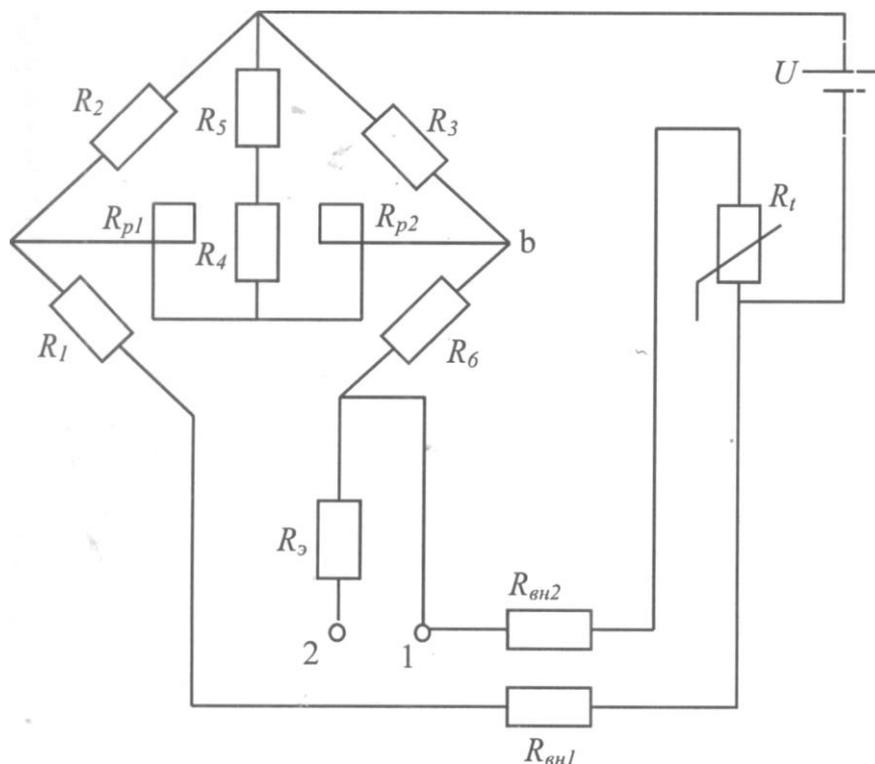


Рис.2.24. Схема подключения логометра

Рамки логометра включены в диагональ моста, составленного из постоянных манганиновых резисторов  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$  и  $R_6$  и термометра сопротивления  $R_t$ . Средняя точка между рамками соединена через последовательно включенные медный резистор  $R_5$  и манганиновый  $R_4$  с вершиной моста, к которой подведен один провод источника питания, второй провод источника питания подключен к противоположной вершине. Резистор  $R_4$  - сопротивление для изменения пределов измерения (угла отклонения подвижной системы), а  $R_5$  - для температурной компенсации.

Для обеспечения наибольшей чувствительности мостовая схема симметрична, т.е.  $R_2=R_3$ . Резистор  $R_4$  выбран так, чтобы мост находился в равновесии при сопротивлении термометра сопротивления  $R_t$ , соответствующему значению температуры в середине шкалы прибора. При этом из-за равенства потенциалов на вершинах моста а и б падение

напряжения на резисторах  $R_2$  и  $R_3$ , а значит и силы токов в рамках  $R_{p1}$  и  $R_{p2}$  равны, и обе рамки располагаются в магнитном поле симметрично относительно оси полюсных наконечников.

При увеличении сопротивления термометра сила тока  $I_2$  в рамке  $R_{p2}$  уменьшится, а в рамке  $R_{p1}$  соответственно увеличится. При уменьшении сопротивления термометра произойдет обратное явление, то есть  $I_2$  увеличится, а  $I_1$  уменьшится.

Под действием возникающей в обоих случаях разности вращающих моментов, магнитная система поворачивается вправо или влево до наступления нового равновесия. Из головки термометра выходит три провода: два из них через уравнивательные манганиновые катушки  $R_{вн1}, R_{вн2}$ , а третий подсоединен к источнику питания. Этот провод, входящий в диагональ питания моста не имеет уравнивательной катушки, так как сопротивление провода не сказывается на работе логометра.

Таким образом, плечи  $R_1 + R_{вн1}$  и  $R_t + R_{вн2} + R_6$  смежные, следовательно изменение сопротивления соединительных проводов из-за изменения температуры окружающей среды почти не влияет на результаты измерения. При проверке правильности подгонки сопротивления соединительных проводов их закорачивают на зажимах головки термометра и вместо  $R_t$  включают  $R_3$ , для чего провод, подводящий ток к зажиму 1, подключают к зажиму 2. В этом случае при включении питания стрелка логометра должна остановиться на контрольной отметке.

Одинаковое изменение сопротивления рамок логометра при изменении температуры окружающей среды не влияет на показание прибора только при равновесии мостовой схемы. Температурную погрешность прибора компенсируют соответствующим выбором резистора  $R_5$ .

Если температура  $t$  отличается от градуировочной  $t_0$ , то

$$R_5 = R_5^{\circ} [1 + \alpha(t - t_0)],$$

где  $R_5^{\circ}$  - сопротивление резистора при температуре градуировки;  $\alpha$  - температурный коэффициент электрического сопротивления меди.

Сопротивление резистора

$$R_5^{\circ} = \frac{R_p^0 ((2R + R_1 + R_t)R_4 + R^2)}{R(R_1 + R_t)}, \quad (2.36)$$

где  $R=R_2=R_3$ ,  $R_p^0$  - сопротивление рамок логометра при температуре  $t_0$ .

При известных  $R_p^{\circ}$ ,  $R$ ,  $R_4$ ,  $R_1$  и  $R_t$  можно определить  $R_5^{\circ}$ , а следовательно  $R_5$  для диапазона  $(t_0 - t)$ . В формулу входит  $R_t$ , поэтому полную компенсацию температурной погрешности можно получить для двух определенных значений  $R_t$ .

Эта схема позволяет для логометров класса точности 1,5 иметь дополнительную погрешность не более  $\pm 0,75\%$  от значения диапазона измерения на каждые  $10^{\circ}\text{C}$  изменения температуры окружающей среды в пределах от  $5$  до  $50^{\circ}\text{C}$ . Классы точности промышленных логометров 0,5; 1; 1,5; 2; 2,5.

### Уравновешенные мосты

Уравновешенные мосты подразделяются на неавтоматические и автоматические. В них используется нулевой метод измерения. С помощью **неавтоматических мостов**, используемых в лабораторных условиях, измеряют сопротивления от 0,5 до 10 Ом.

Диагональ **ab** содержит источник тока (рис.2.25), а диагональ **cd** - нуль-индикатор НИ. В плечи моста включены постоянные сопротивления

$R_1$ ,  $R_2$  и регулируемое сопротивление  $R_3$ , а плечо **cd** содержит измеряемое сопротивление  $R_t$  и два соединительных провода, каждый сопротивлением  $R_n$ .

Если мост уравновешен, то в диагонали **cd** ток равен нулю, а токи в соответствующих плечах равны, т.е.  $I_1 = I_2$ ,  $I_3 = I_t$  или

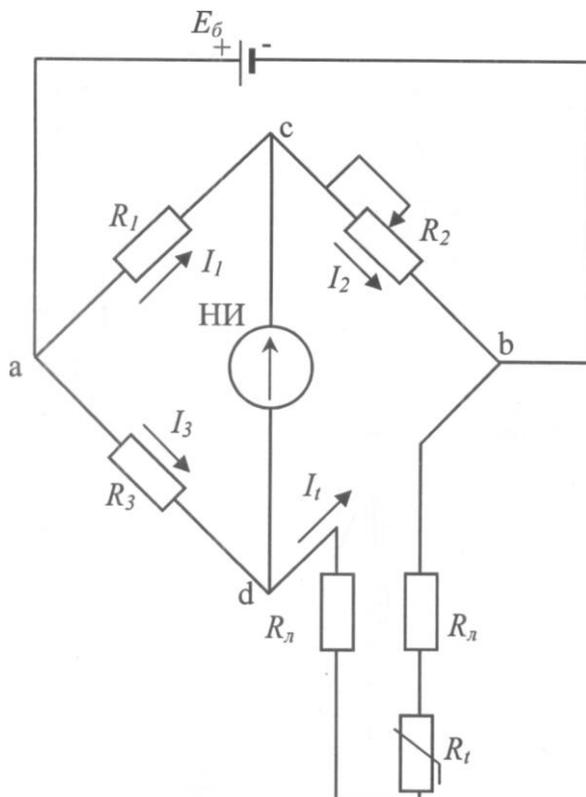


Рис. 2.25. Уравновешенный неавтоматический мост

$$I_1 R_1 = I_3 R_3 \quad \text{и} \quad I_2 R_2 = I_t (R_t + 2R_n), \quad (2.37)$$

так как потенциалы точек с и d равны. Разделив два последние равенства друг на друга получим:

$$\frac{I_1 R_1}{I_2 R_2} = \frac{I_3 R_3}{I_t (R_t + 2R_n)}.$$

Учитывая равенство токов

$$R_1 (R_t + 2R_n) = R_2 R_3. \quad (2.38)$$

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

Это уравнение выражает условие равновесия моста, которое достигается путем регулирования сопротивления резистора  $R_2$  до тех пор, пока нуль-индикатор не покажет нуль.

$$\text{Отсюда } R_t = \frac{R_2 R_3}{R_1} - 2R_n.$$

При  $R_3 / R_n = const$  и  $R_n = const$

$$R_t = kR_2.$$

$R_n$  меняется с изменением температуры окружающей среды, что приводит к искажению результата измерения. Этот недостаток может быть устранен путем **трехпроводного подключения термопреобразователей сопротивления** к мосту (рис.2.26).

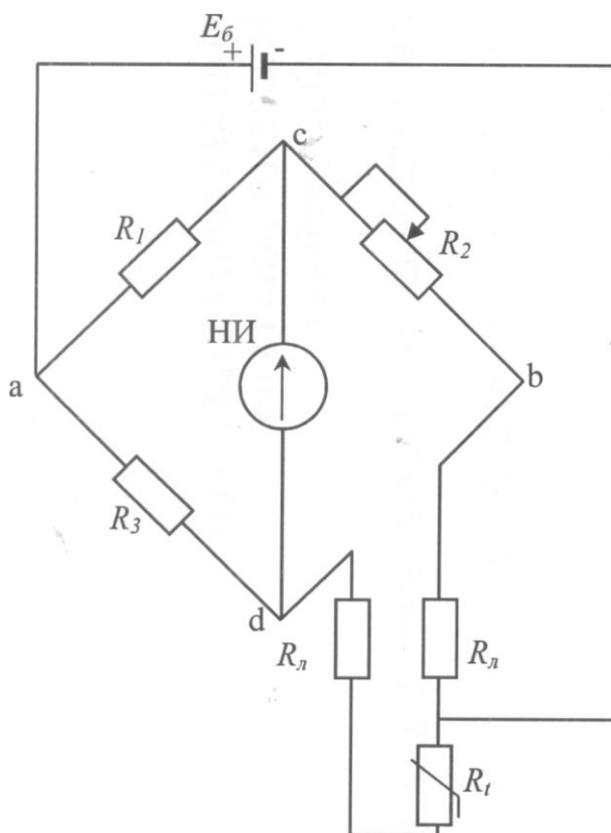


Рис. 2.26. Трехпроводная схема подключения термометра сопротивления к уравновешенному мосту

При этом соединении питающая диагональ доводится (точка  $b$ ) до термометра сопротивления. В результате этого соединения провода оказываются разнесенными к двум плечам моста: одно из  $R_x$  - к сопротивлению  $R_2$ , а другое - к  $R_t$ . Тогда условие равновесия моста имеет вид:

$$R_3(R_2 + R_x) = R_1(R_t + R_x),$$

откуда

$$R_t = (R_2 + R_x) \frac{R_3}{R_1} - R_x. \quad (2.39)$$

При симметричном мосте  $R_1 = R_3$ ,  $R_t = R_2$  т.е. результат измерения не зависит от  $R_x$ . В других случаях влияние изменения  $R_x$  незначительно.

Недостатком уравновешенных мостов, собранных по этой схеме, является неопределенность в измерении, которое вносит переходное сопротивление контакта в регулируемом плече  $R_2$ . Для устранения этого недостатка подвижный контакт располагают в измерительной диагонали, при этом регулируемое сопротивление оказывается размещенным в двух плечах. Таким образом, при уравнивании моста путем перемещения контакта изменяется сопротивление сразу обеих плеч, а переходное сопротивление контакта, располагаемое в измерительной диагонали из-за отсутствия тока в момент уравнивания, не сказывается на результатах измерения.

Достоинством уравновешенных мостов является независимость их показаний от напряжения питания.

**В последнее время широкое распространение получают четырехпроводные схемы включения термометра сопротивления (рис.2.27).**

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

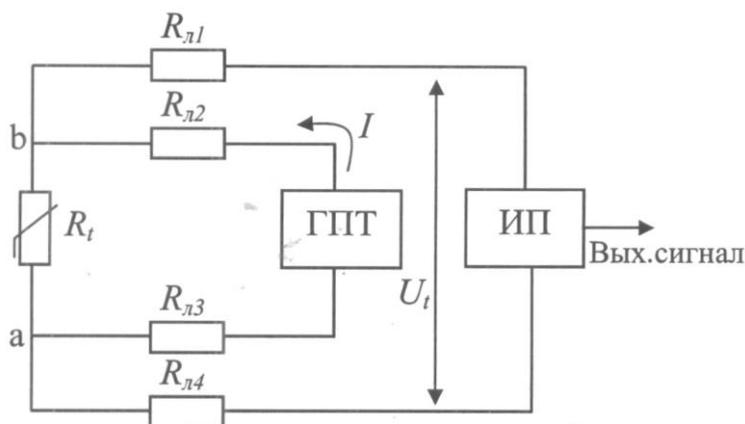


Рис. 2.27. Четырехпроводная схема подключения термометра сопротивления

Ток  $I$  от генератора постоянного тока ГПТ протекает по сопротивлению  $R_t$  и создает на нем падение напряжения  $U_t = R_t I$ , которое в измерительном преобразователе ИП и преобразуется в выходной сигнал. Поскольку в данной схеме измеряется разность потенциалов между точками **a** и **b**, то падения напряжения на сопротивлениях  $R_{л2}, R_{л3}$  не оказывает влияния на результат измерения. При достаточно высоком значении входного сопротивления ИП ( $R_{ex} \gg R_{л1} + R_{л4}$ ) влиянием сопротивлений линий  $R_{л1}, R_{л4}$  можно пренебречь. Итак, схема обеспечивает независимость результатов измерения от изменения сопротивления линии связи. Недостатком такой схемы является необходимость изоляции от земли либо ГПТ, либо измерительного преобразователя. Для устранения данного недостатка могут использоваться и другие, более сложные, схемы подключения термометров сопротивления к измерительному преобразователю с четырехпроводной линией связи.

Следует учесть, что если измерительный прибор рассчитан на четырехпроводную схему, то датчик к нему можно подключить и по двухпроводной схеме. При этом дополнительная погрешность измерения, вызванная влиянием соединительных проводов, будет иметь величину порядка

$$(R_{л2} + R_{л3}) / R_t.$$

**Автоматический уравновешенный мост** собран по схеме (рис. 2.28) с переменным сопротивлением плеч и трехпроводным подключением термометра сопротивления.

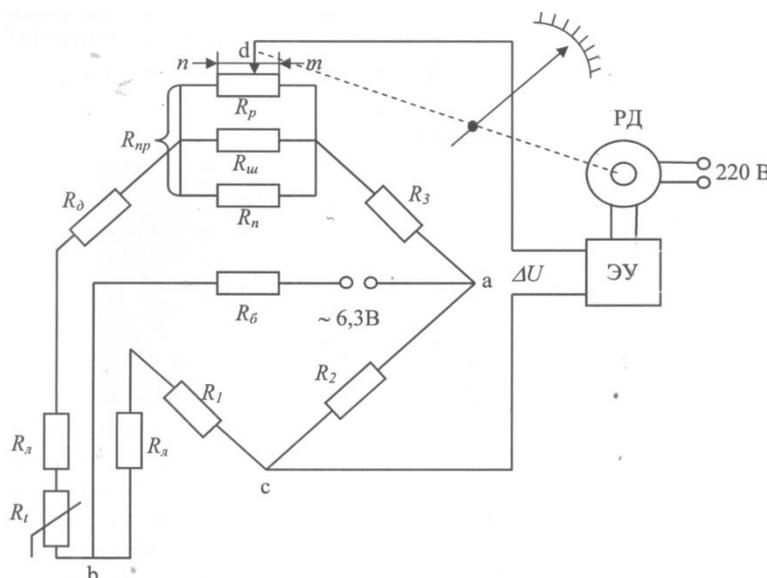


Рис.2.28. Автоматический уравновешенный мост

Переменное сопротивление содержит три параллельно соединенных резистора:  $R_p$  - реохорд, выполняющий измерительные функции;  $R_{ш}$  - шунт реохорда;  $R_n$  - резистор для подгонки заданного значения параллельного соединения сопротивлений всей реохордной группы;  $R_{np}$ ,  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$  - резисторы мостовой схемы;  $P_d$  - резистор добавочный для подгонки тока из условия минимума самонагрева термометра сопротивления;  $R_6$  - резистор балластный в цепи питания для ограничения тока;  $R_t$  - термопреобразователь сопротивления;  $R_l$  - резистор для подгонки сопротивления соединительной линии;  $\tau$  - положение движка реохорда правее точки  $d$  в долях от  $R_{np}$  (переменное сопротивление);  $\pi$  - положение движка реохорда левее точки  $d$  в долях от  $R_{np}$ .

Для получения линейной зависимости положения движка реохорда от изменения сопротивления резистора  $R_t$ , последний включается в плечо, прилежащее к реохорду. В качестве нуля - индикатора НИ в автоматических мостах используется электронный усилитель ЭУ.

Автоматические мосты питаются как переменным, так и постоянным током. В последнем случае на входе ЭУ устанавливается модулятор.

При изменении температуры  $t$  изменяется сопротивление  $R_t$  и мост выходит из равновесия, т.е. в диагонали  $cd$  появляется напряжение разбаланса  $\Delta U$ , которое усиливается усилителем ЭУ до значений, достаточных для вращения ротора РД в соответствующую сторону, в зависимости от знака разбаланса. Вал РД, связанный с движком реохорда, перемещает его до тех пор, пока разбаланс  $\Delta U$  не станет равным нулю. Одновременно с движком перемещается каретка с пером и стрелкой, указывающей по шкале положение  $\tau$  движка (значение измеряемой температуры). При изменении  $t$  от  $\min$  до шах значения движок перемещается из одного крайнего положения в другое.

Пусть при температуре, соответствующей начальному значению шкалы прибора, измеряемое сопротивление  $R_t$  равно  $R_{t_{нач}}$ , а при изменении температуры:  $R_t = R_{t_{нач}} + \Delta R_t$ .

Условие равновесия для этих двух случаев можно представить в виде:

$$(R_{t_{нач}} + R_l + R_d + R_{np})R_2 = (R_t + R_l)R_3 \quad (2.40)$$

и

$$(R_{t_{нач}} + R_l + R_d + R_{np} + \Delta R_t - mR_{np})R_2 = (R_t + R_l)(R_3 + mR_{np}) . \quad (2.41)$$

Вычитая из (2.41) (2.40) и решая относительно  $m$ , получим:

$$m = \Delta R_t \frac{R_2}{R_{np}(R_1 + R_l + R_2)}$$

Отсюда видно, что  $\tau$  - линейная функция  $\Delta R_t$ , а также, несмотря на трехпроводную схему соединения термометров сопротивления с мостом, показания последнего зависят от изменения сопротивления сое-

динительных проводов. Однако эта зависимость незначительна и при изменении температуры до 40°C изменение сопротивления проводов приводит к изменению показаний прибора в пределах (0,05-0,1)% от нормирующего значения измеряемой величины для различных диапазонов измерения.

Полностью отсутствует влияние сопротивления соединительных проводов при симметричном мосте, т.е. когда

$$R_1 = R_t + R_o + R_{np} - mR_{np}.$$

Так как это условие может быть выполнено для одной температуры, то обычно его выполняют для температуры  $t_{cp}$ , соответствующей середине шкалы. При этом  $R_1 \approx (R_{t_{cp}} + R_o + R_{np}) / 2$ .

Выпускаемые автоматические мосты отличаются друг от друга назначением, конструкцией, размерами, точностью измерения и другими техническими характеристиками, но измерительная схема их включения незначительно отличается от схемы, приведенной на рис.2.27. Классы точности мостов 0,25; 0,5; 1, а время пробега стрелки всей шкалы 1; 2,5 и 10 с. В автоматические мосты встраиваются электронные и пневматические регулирующие устройства и устройства сигнализации; для дистанционной передачи показаний - преобразователи пневматические, -токовые, частотные и др.

### **Нормирующие преобразователи для термопреобразователей сопротивления**

Для введения информации, получаемой с помощью термопреобразователя сопротивления, в ЭВМ или САП используют нормирующие токовые преобразователи (рис. 2.29), формирующие на своем выходе сигнал постоянного тока 0...5 мА (0...20 мА).

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

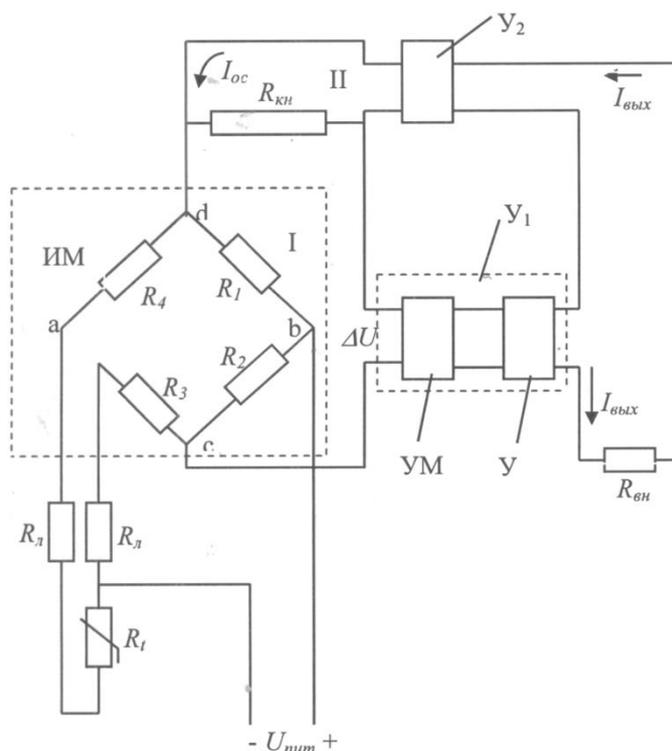


Рис.2.29. Нормирующий преобразователь

Этот преобразователь по схеме и принципу действия аналогичен нормирующему преобразователю, работающему в комплекте с ТЭП (см. раздел 2.6.9).

Отличие заключается в том, что вместо корректирующего моста КМ используется измерительный неравновесный мост ИМ, в одно из плеч которого по трехпроводной схеме подсоединен термопреобразователь сопротивления  $R_t$ . Сопротивление  $R_n$  служит для подгонки сопротивления соединительных проводов к номинальному значению. К диагонали питания моста **ав** подведено стабилизированное напряжение постоянного тока.

Выходящий ток преобразователя  $I_{\text{вых}}$  пропорционален напряжению  $U_{cd}$  в измерительной диагонали моста, и соотношение между ними

$$I_{\text{вых}} = KU_{cd}.$$

Так как  $U_{cd} = K_M R_t$ ,

где  $K_M$  - коэффициент преобразования моста,

то  $I_{\text{вых}} = K K_{\text{м}} R_t$ , т.е. токовый сигнал нормирующего преобразователя пропорционален сопротивлению термопреобразователя сопротивления.

## **ЛЕКЦИЯ по теме № 2.3.3. Бесконтактные методы измерения температуры**

### ВОПРОСЫ

1. Пирометры частичного излучения.
2. Пирометры спектрального отношения (цветовые).
3. Пирометры полного излучения (радиационные).
4. Тепловизоры.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Чистофорова Н.В., Колмогоров А.Г. Технические измерения и приборы. Ч.1. Измерение теплоэнергетических параметров. Учебное пособие. 2008. с. 91-102.

О температуре нагретого тела можно судить на основании измерения параметров его теплового излучения, представляющего собой электромагнитные волны различной длины. Чем выше температура тела, тем больше энергии оно излучает. Тепловые лучи испускаются всеми нагретыми физическими телами, которые при температурах около 500 - 600°C начинают испускать излучение, видимое человеческим глазом, причем яркость свечения нагретых тел быстро возрастает с повышением температуры.

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

Накаленные твердые тела испускают сплошной спектр излучения, состоящий из электромагнитных волн различной длины. Видимое человеческим глазом электромагнитное излучение, называемое светом, представляет собою лишь весьма узкий диапазон спектра шириной 0,35 мкм с длинами волн от 0,40 до 0,75 мкм. Невидимые лучи с большей длиной волны (более 0,75 мкм) относятся к инфракрасному участку спектра излучения, охватывающему диапазон от 0,75 до 400 мкм, за которым инфракрасный участок спектра постепенно переходит в диапазон радиоволн. Невидимые лучи с меньшей длиной волны (менее 0,40 мкм) относятся к ультрафиолетовому участку спектра излучения.

В области температурных измерений используют в основном диапазон инфракрасных и видимых лучей.

Термометры, действие которых основано на измерении теплового излучения, называют **пирометрами**. Они позволяют контролировать температуру от 100 до 6000°C и выше. Одним из главных достоинств данных устройств является отсутствие влияния измерителя на температурное поле нагретого тела, так как в процессе измерения они не вступают в непосредственный контакт друг с другом. Поэтому данные методы получили название бесконтактных.

Все приборы, измеряющие температуру бесконтактным методом, т.е. дистанционно, обладают следующими преимуществами по сравнению с приборами, измеряющими температуру контактными методами:

- 1) имеют принципиально неограниченный верхний температурный предел измерения;
- 2) обеспечивают возможность измерения температур излучателей, находящихся на большом расстоянии от пирометра;

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

- 3) не искажают температурное поле объекта измерения;
- 4) могут применяться для измерения температур газовых потоков при больших скоростях.

На основании законов излучения разработаны пирометры следующих типов:

- а) пирометр частичного излучения (ПЧИ) - измеряется энергия в ограниченном фильтром (или приемником) участке спектра;
- б) пирометр спектрального отношения (ПСО) - измеряется отношение энергии фиксированных участков спектра;
- с) пирометр суммарного излучения (ПСИ) - измеряется полная энергия излучения;

В зависимости от типа пирометра различаются яркостная, цветовая и радиационная температуры.

**Яркостной температурой** реального тела  $Tя$  называют температуру, при которой плотность потока спектрального излучения абсолютно черного тела равна плотности потока спектрального излучения реального тела для той же длины волны (или узкого интервала спектра) при действительной температуре  $Tд$ .

**Цветовой температурой** реального тела  $Tц$  называют температуру, при которой отношения плотностей потоков излучения абсолютно черного тела для двух длин волн  $\lambda_1$  и  $\lambda_2$  равно отношению плотностей потоков излучений реального тела для тех же длин волн при действительной температуре  $Tд$ .

**Радиационной температурой** реального тела  $Tр$  называют температуру, при которой полная мощность абсолютно черного тела равна полной энергии излучения данного тела при действительной температуре  $Tд$ .

### 1. Пирометры частичного излучения

К данному типу пирометров, измеряющих яркостную температуру объекта, относятся оптические (квазимонохроматические) и фотоэлектрические пирометры, измеряющие энергию потока в узком диапазоне длин волн.

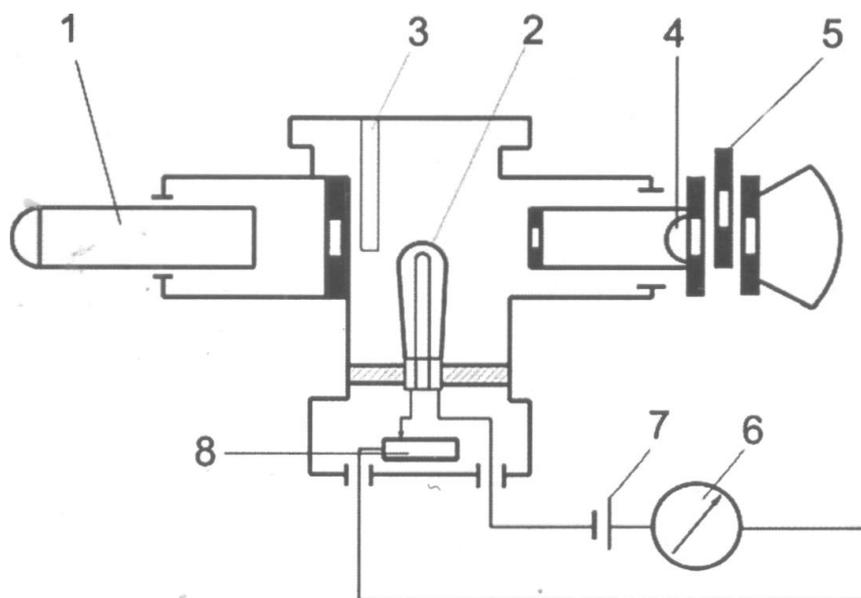


Рис.2.30. Принципиальная схема квазимонохроматического (оптического) пирометра с исчезающей нитью:

1-линза; 2-поглащающий светофильтр; 3-лампа накаливания; 4-цинза окуляра; 5-красный светофильтр; 6-милливольтметр; 7-источник тока; 8-реостат

Наиболее распространенным прибором этой группы является квази-монохроматический пирометр с исчезающей нитью (рис. 2.30).

Принцип действия квазимонохроматических пирометров основан на сравнении яркости монохроматического излучения двух тел: эталонного тела и тела, температуру которого измеряют. В качестве эталонного тела обычно используют нить лампы накаливания, яркость излучения которой регулируют.

Пирометр представляет собой телескопическую трубку с линзой 1 объектива и линзой 4 окуляра. Внутри телескопической трубки в фокусе

линзы объектива находится лампа накаливания  $\mathcal{Z}$  с подковообразной нитью.

Лампа питается от источника тока  $\mathcal{7}$  через реостат  $\mathcal{8}$ . В цепь питания лампы включен милливольтметр  $\mathcal{6}$ , конструктивно объединенный с трубкой телескопа. Шкала милливольтметра отградуирована в градусах температуры. Для получения монохроматического света окуляр снабжен красным светофильтром  $\mathcal{5}$ , пропускающим только лучи определенной длины волны. В объективе находится серый поглощающий светофильтр  $\mathcal{2}$ , служащий для расширения пределов измерения.

Объектив и окуляр прибора могут перемещаться вдоль оси в телескопической трубке, что позволяет получить резкое изображение раскаленного тела и нити. При подготовке оптической системы к измерению трубку наводят на тело и передвигают объектив до получения четкого изображения тела и нити лампы (в виде резкой черной подковки). Включив источник тока, реостатом регулируют яркость нити до тех пор, пока средняя часть ее не сольется с освещенным телом. В этот момент по шкале милливольтметра отсчитывают температуру тела.

Зависимость действительной температуры тела от яркостной, измеряемой пирометром, выражается зависимостью:

$$T_{\partial} = \left( \frac{1}{T_{я}} - \frac{\lambda}{C} \ln \frac{1}{\varepsilon_{\lambda}} \right)^{-1},$$

где  $\lambda$  - длина волны монохроматического излучения;  $C$  - константа уравнения Вина;  $\varepsilon_{\lambda}$  - степень черноты тела для данной длины волны.

Стабильность показаний пирометра с исчезающей нитью зависит, главным образом, от постоянства характеристик измерительного прибора и лампы. Лампа с вольфрамовой нитью в течение очень длительного периода сохраняет присущую ей зависимость яркости нити от силы

протекающего через нее тока, если температура не превышает 1400°C. Нагрев до температуры выше 1400°C приводит к распылению вольфрамовой нити и изменению ее сопротивления; возгоняющийся вольфрам оседает на стенках колбы лампы и образует темный налет. По этим причинам яркостная характеристика лампы изменяется. Предел измерения повышают введением серого светофильтра, который в одинаковой степени поглощает энергию волн всех длин. Стекло серого светофильтра выбирают такой оптической плотности, чтобы при яркостной температуре излучателя выше 1400°C нить лампы накаливания нагревалась до яркостных температур не выше 1400°C. В соответствии с этим милливольтметр снабжают двумя шкалами: верхней - для измерения температур от 800 до 1400°C с выведенным серым светофильтром и нижней - для температур выше 1300°C с введенным серым светофильтром.

Приборостроительная промышленность выпускает переносные пирометры с исчезающей нитью в различном конструктивном оформлении для температур от 800°C до нескольких тысяч градусов. Пирометры работают с эффективной длиной волны 0,65 или 0,66 мкм.

## **2. Пирометры спектрального отношения (цветовые)**

В цветковых пирометрах, применяемых для промышленных измерений, определяется отношение спектральной энергетической яркости (СЭЯ) реального тела в лучах двух заранее выбранных длин волн, т. е. показания пирометра являются функцией  $f(E_{\lambda_1}, E_{\lambda_2})$ . Это отношение для каждой температуры различно, но вполне однозначно.

В большинстве случаев для реальных тел кривые  $E_{\lambda} = f(E_{\lambda})$  при различных температурах совершенно подобны кривым для абсолютно черного тела; поэтому практически не требуется вводить поправки на

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

неполноту излучения, что является основным преимуществом цветового пирометра. Вторым важным преимуществом цветковых пирометров по сравнению с радиационными и яркостными является независимость результата измерения от расстояния до объекта измерения и от поглощения радиации в среде. Большая часть конструкций цветковых пирометров основана на определении цвета измеряемого тела по отношению энергетических яркостей для двух длин волн, не очень близких одна к другой в видимой части спектра. Чтобы избежать зависимости результатов измерения от субъективных особенностей наблюдателя (цветочувствительность и утомляемость глаза), в цветковых пирометрах для измерения отношения энергетических яркостей используют фотоэлементы.

Измеряемое излучение через защитное стекло 1 (рис. 2.31) и объектив 2 попадает на фотоэлемент 4.

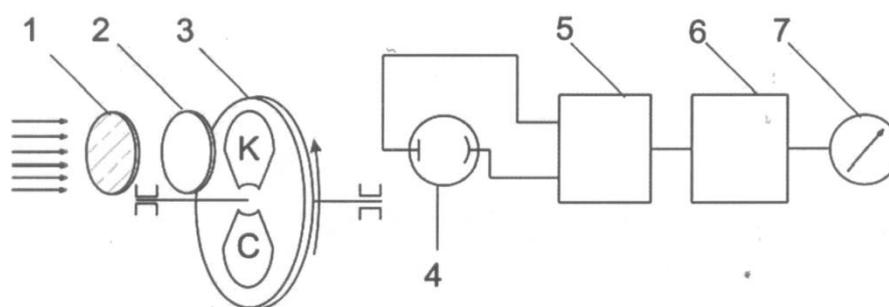


Рис.2.31. Принципиальная схема пирометра спектрального отношения с фотоэлементом:

- 1-защитное стекло; 2-объектив; 3-обтюратор; 4-фотоэлемент;  
5-электронный усилитель; 6-логарифмирующее устройство;  
7-милливольтметр

Между объективом и фотоэлементом установлен обтюратор 3, вращаемый синхронным двигателем. Обтюратор выполнен в виде диска с двумя отверстиями, одно из которых закрыто красным светофильтром К, другое - синим С. Таким образом, при вращении обтюратора на фотоэле-

мент попеременно попадают излучения соответствующей СЭЯ. Спектральная характеристика фотоэлемента зависит от температуры, поэтому фотоэлемент в пирометре заключен в термостат с автоматическим регулированием.

Электрический ток, напряжение которого пропорционально соответствующим СЭЯ предварительно усиливается электронным усилителем 5 и преобразуется специальным электронным логарифмирующим устройством 6 в постоянный ток; сила постоянного тока зависит от  $1/T$ . Сила тока логарифмирующего устройства измеряется указывающим или регистрирующим милливольтметром 7.

Зависимость действительной температуры тела от цветовой, измеряемой пирометром, выражается зависимостью:

$$T_{\theta} = \left( \frac{1}{T_{\psi}} - \frac{\ln(\varepsilon_{\lambda_1} / \varepsilon_{\lambda_2})}{C(1/\lambda_2 - 1/\lambda_1)} \right)^{-1},$$

где  $\varepsilon_{\lambda_1}, \varepsilon_{\lambda_2}$  - степень черноты физического тела для лучей с длиной волны соответственно  $\lambda_1, \lambda_2$ ;  $C$  - константа уравнения Вина.

Предел измерения пирометров составляет от 300 до 2800°C, основная погрешность при измерении температуры физических тел не превышает  $\pm 1$  % от верхнего предела измерений.

Имеются цветковые пирометры с дифференциальной измерительной схемой, включающей два фотоэлемента.

### **3. Пирометры полного излучения (радиационные)**

Пирометры полного излучения измеряют радиационную температуру тела, поэтому их часто называют радиационными (или радиометрами). Принцип действия данных измерителей температуры основан на использовании закона Стефана-Больцмана.

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

Пирометр снабжен оптической системой (линзой, зеркалом), собирающей испускаемые нагретым телом лучи на каком-либо теплоприемнике. Теплоприемник обычно состоит из миниатюрной термоэлектрической батареи (из нескольких малоинерционных последовательно соединенных ТЭП), термометра сопротивления или полупроводникового терморезистора. В качестве измерительных приборов применяют милливольтметры, автоматические потенциометры и уравновешенные мосты.

Пирометр с термобатареей (рис. 2.32) состоит из телескопа с линзой 1 объектива и линзой 2 окуляра. На пути лучей линзы 1 установлена диафрагма 3, а в фокусе линзы объектива - термоэлектрическая батарея 4.

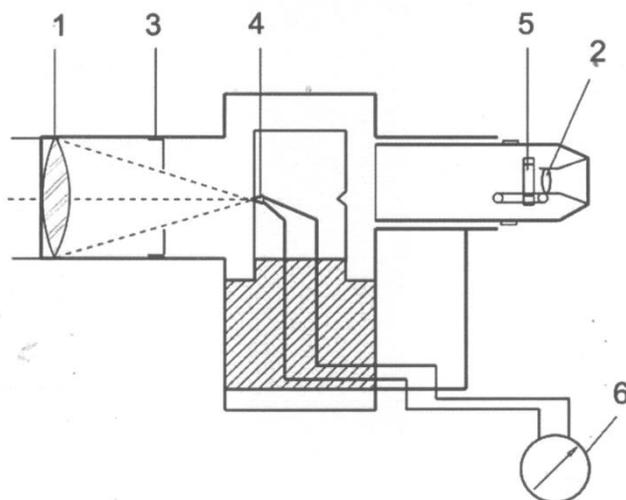


Рис.2.32. Принципиальная схема пирометра полного излучения с термобатареей в стеклянном баллончике:- 1,2-линзы; 3-диафрагма; 4-батарея; 5-цветное стекло; 6 - милливольтметр.

Рабочие спаи ТЭП прикреплены к крестообразной пластинке из платиновой фольги, покрытой платиновой чернью для лучшего поглощения падающих лучей. Свободные концы ТЭП термометров укреплены на слюдяной пластинке, а соединительные провода выведены к клеммам, находящимся в корпусе телескопа. Перед окулярной линзой помещено цветное стекло 5 для защиты глаз при установке пирометра. Температура

рабочих концов термобатареи не должна превышать 250 °С. Для уменьшения числа лучей, падающих на термобатарею, служит диафрагма 3.

Вид материала линзы определяет интервал измеряемых температур и градуировочную характеристику. Стекло из флюорита обеспечивает возможность измерения низких температур начиная с 100°С, кварцевое стекло используется для температуры 400 - 1500°С, а оптическое стекло для температур 950°С и выше.

Зависимость действительной температуры тела от радиационной, измеряемой пирометром, выражается зависимостью:

$$T_{\text{д}} = T_{\text{р}} \sqrt[4]{\frac{1}{\varepsilon}}.$$

где  $\varepsilon$  - степень черноты физического тела для всех длин волн.

Данными пирометрами измеряют температуру от 100 до 3500°С. Основная допустимая погрешность технических промышленных пирометров возрастает с увеличением верхнего предела измерения и для температур 1000, 2000 и 3000°С составляет соответственно  $\pm 12$ ;  $\pm 20$  и  $\pm 35$ °С.

Точный учет количества поступающей в приемник лучистой энергии крайне сложен, так как между теплоприемником и окружающей средой происходит теплообмен, поэтому прибор может иметь не поддающиеся учету погрешности. Несмотря на эти недостатки, пирометры полного излучения широко применяют в производственной практике; они могут быть установлены стационарно, позволяют применять дистанционную передачу, автоматически записывать и регулировать температуру.

#### 4. Тепловизоры

Тепловидение - это направление в технических измерениях, изучающее физические основы, методы и приборы, обеспечивающие

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

возможность наблюдения слабонагретых объектов. Приборы, работающие в этом направлении называются тепловизорами (термографами). Тепловизоры относятся к оптико-электронным приборам пассивного типа, работающие в инфракрасном диапазоне спектра излучения.

Таблица 2.5

Длина волн (мкм)	Название поддиапазона
0.76-1.5	Ближнее инфракрасное излучение
1.5-5.5	Коротковолновое инфракрасное излучение
5.6-25	Длинноволновое инфракрасное излучение
25-100	Дальнее инфракрасное излучение

Диапазон инфракрасного излучения делится на несколько поддиапазонов (табл.2.5).

Принцип их действия основан на преобразовании инфракрасного излучения в электрический сигнал, который подвергается усилению и автоматической обработке, а затем преобразуется в видимое изображение теплового поля объекта (термограмму) для его визуальной и количественной оценки.

Общий принцип устройства тепловизора представлен на рис.2.33.

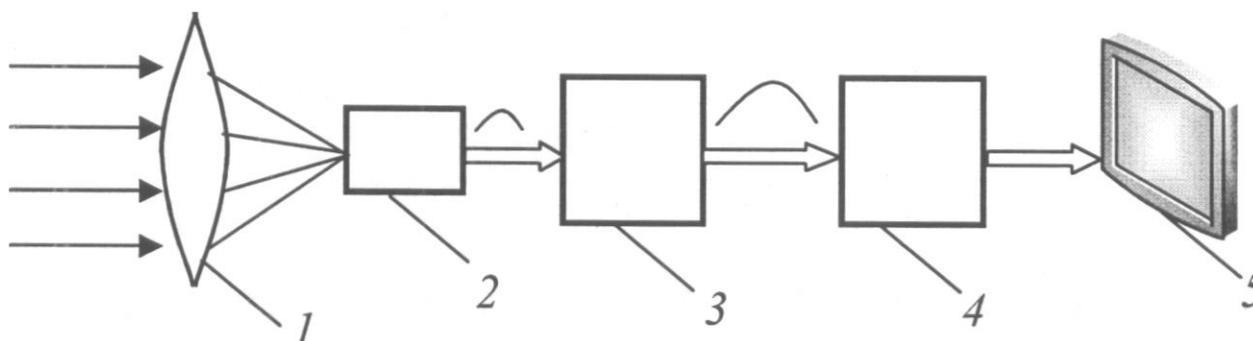


Рис. 2.33. Структурная схема тепловизора:

1 - линза; 2 - фотоприемник; 3 - электронный усилитель; 4 - микропроцессор; 5 - блок отображения информации

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

Инфракрасное излучение концентрируется системой специальных линз *1* и попадает на фотоприемник *2*, который избирательно чувствителен к определенной длине волны инфракрасного спектра. Попадаемое на него излучение приводит к изменению электрических свойств фотоприемника, регистрируется и усиливается электронным усилителем *3*. Полученный сигнал подвергается цифровой обработке в микропроцессорном блоке *4* и это значение передается на блок отображения информации *5*, представляющий собой экран жидкокристаллического дисплея. Блок отображения информации имеет цветовую палитру, в которой каждому значению сигнала присваивается определенный цвет. После этого на экране монитора появляется точка, цвет которой соответствует численному значению инфракрасного излучения, которое попало на фотоприемник. Сканирующая система (зеркала или полупроводниковая матрица) проводит последовательный обход всех точек в пределах поля видимости прибора, в результате получается видимая картина инфракрасного излучения объекта. Чувствительность детектора к тепловому излучению тем выше, чем ниже его собственная температура, поэтому его помещают в специальное термостатирующее холодильное устройство. Один из способов охлаждения осуществляется посредством элементов Пельтье (полупроводники, дающие перепад температур (тепловой насос) при пропускании через них тока).

Таким образом, на экране тепловизора видны значения мощности инфракрасного излучения в каждой точке поля зрения тепловизора, отображенные согласно заданной цветовой палитре (черно-белой или цветной).

Высокая чувствительность тепловизоров реализуется благодаря наличию высокочувствительных полупроводниковых приемников излучения из антимонида индия InSb, ртуть-кадмий-теллура Hg-Cd-Te и др.

### **Контрольные вопросы**

- Дайте определение понятию «температура».
- Перечислите основные виды температурных шкал.
- Что такое реперная точка?
- Приведите классификацию средств измерения температуры.
- В чем состоит принцип действия жидкостных термометров?
- Чем отличаются биметаллические термометры от дилатометрических?
- Укажите основные конструктивные части манометрических термометров?
- Укажите типы манометрических термометров.
- У какого типа манометрических термометров самая большая инерционность и почему?
- Укажите зависимость, по которой изменяется давление в газовом манометрическом термометре от температуры.
- Дайте определение понятию «термоэлектрический эффект».
- Поясните принцип действия термопары.
- Укажите основное уравнение термопары.
- Что такое холодный и горячий спай термопары?
- Докажите, что включение третьего проводника в цепь термопары не влияет на результат измерений.
- Как подбираются компенсационные термоэлектродные провода для термопары?

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

- Укажите способы для введения поправки на температуру свободных концов термопары.
- Назовите основные термоэлектродные материалы и типы термопар.
- У какого из типов термопар градуировочная характеристика близка к линейной?
- Поясните конструкцию стандартной термопары. «
- Что такое термопарный кабель?
- Укажите основные источники погрешности при измерении температуры с помощью термопар.
- Поясните конструкцию милливольтметра?
- От каких величин зависит угол поворота рамки милливольтметра?
- Укажите основные типы потенциометров.
- Поясните принцип действия потенциометра постоянного тока.
- Что такое реохорд?
- Для чего применяют нормирующие преобразователи?
- Поясните принцип действия термометра сопротивления.
- Назовите основные материалы для изготовления термометров сопротивления.
- Поясните конструкцию термометра сопротивления.
- Какой из термометров сопротивления имеет наибольший диапазон измерения?
- Какие вторичные приборы могут работать в комплекте с термометром сопротивления?
- Поясните принцип действия логометра.
- Почему показания логометра не зависят от колебаний напряжения источника питания?
- Поясните принцип действия уравновешенного моста.

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

- В чем состоит преимущество трехпроводной схемы подключения термометра сопротивления относительно двухпроводной.
- Перечислите бесконтактные методы измерения температуры.
- Назовите преимущества бесконтактных методов измерения температуры.
- Какие виды излучений испускает нагретое тело?
- Какой из типов пирометров измеряет яркостную температуру тела?
- Поясните принцип действия квазимонохроматического пирометра.
- Укажите основные преимущества цветковых пирометров.
- Поясните принцип действия пирометра спектрального отношения.
- Что такое радиационная температура?
- Поясните принцип действия пирометра полного излучения.
- Что такое тепловизоры?
- Поясните принцип действия тепловизора.

## **ЛЕКЦИЯ по теме № 2.4.1. Измерение давления**

### **ВОПРОСЫ**

1. Основные понятия.
2. Виды измеряемых давлений.
3. Системные и внесистемные единицы измерения давления.
4. Классификация средств измерения давления.
5. Жидкостные манометры.

### **ЛИТЕРАТУРА**

1. Чистофорова Н.В., Колмогоров А.Г. Технические измерения и приборы. Ч.1. Измерение теплоэнергетических параметров. Учебное пособие. 2008. с. 102-112.

### 1. Основные понятия

Давление является одним из важнейших физических параметров, и его измерение необходимо как в расчетных целях, например для определения расхода, количества и тепловой энергии среды, так и в технологических целях, например для контроля и прогнозирования безопасных и эффективных гидравлических режимов напорных трубопроводов, используемых на предприятии.

**Давлением  $P$**  называют отношение абсолютной величины нормального, то есть действующего перпендикулярно к поверхности тела, вектора силы  $F$  к площади  $S$  этой поверхности. При равномерном распределении сил давление равно частному от деления нормальной составляющей силы давления на площадь, на которую эта сила действует.

### 2. Виды измеряемых давлений

На практике давления газообразных и жидких сред могут измеряться относительно двух различных уровней (рис. 3.1):

1. уровня абсолютного вакуума, или абсолютного нуля давления - идеализированного состояния среды в замкнутом пространстве, из которого удалены все молекулы и атомы вещества среды;
2. уровня атмосферного, или барометрического давления (ГОСТ 8.271-77).

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

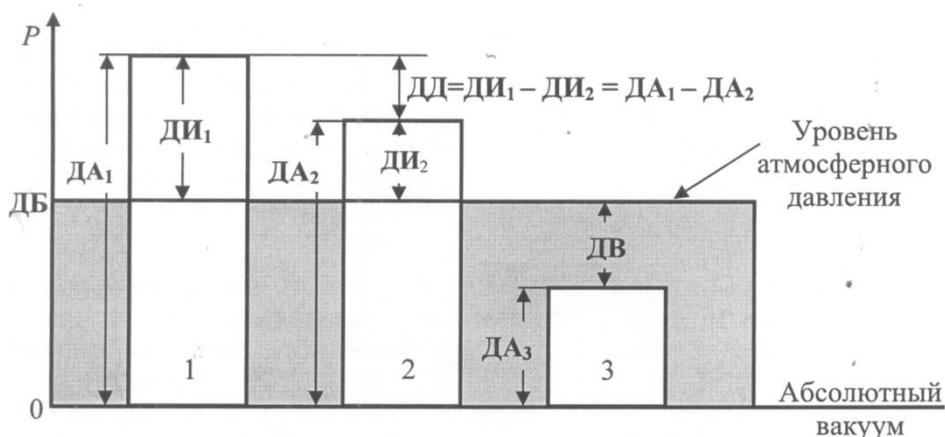


Рис. 3.1. Виды измеряемых давлений в точках 1, 2, 3  
физического процесса:

ДБ – давление барометрическое; ДА – давление абсолютное;  
ДИ – давление избыточное; ДВ – давление вакуумметриче-  
ское; ДД – давление дифференциальное

Давление, измеряемое относительно вакуума, называют давлением абсолютным (ДА). Барометрическое давление (ДБ) - это абсолютное давление земной атмосферы. Оно зависит от конкретных условий измерения: температуры воздуха и высоты над уровнем моря. Давление, которое больше или меньше атмосферного, но измеряется относительно атмосферного, называют соответственно избыточным (ДИ) или давлением разрежения, вакуумметрическим (ДВ). Очевидно, что  $ДА = ДБ + ДИ$  или  $ДА = ДБ - ДВ$ . При измерении разности давлений сред в двух различных процессах или двух точках одного процесса, причем таких, что ни одно из давлений не является атмосферным, такую разность называют дифференциальным давлением (ДД).

### 3. Системные и внесистемные единицы измерения давления

Единицы измерения давления (СТ СЭВ 1052-89) определяются одним из двух способов:

- 1) через высоту столба жидкости, уравнивающего измеряемое давление в конкретном физическом процессе: в единицах водяного столба при  $4^{\circ}\text{C}$  (мм вод. ст. или м вод. ст.) или ртутного столба при

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

0°С (мм рт. ст., или Торр) и нормальном ускорении свободного падения;

2) через единицы силы и площади.

В Международной системе единиц (СИ), принятой в 1960 году, единицей силы является Н (ньютон), а единицей площади - м<sup>2</sup>. Отсюда определяется единица давления паскаль Па=1 Н/м<sup>2</sup> и ее производные, например, килопаскаль (1 кПа=10<sup>3</sup> Па), мегапаскаль (1 МПа=10<sup>3</sup> кПа=10<sup>6</sup> Па). Наряду с системой СИ в области измерения давления продолжают использоваться единицы и других, более ранних систем, а также внесистемные единицы.

В технической системе единиц МКГСС (метр, килограмм-сила, секунда) сила измеряется в килограммах силы (1 кгс≈9,8 Н). Единицы давления в МКГСС - кгс/м<sup>2</sup> и кгс/см<sup>2</sup>; единица кгс/см<sup>2</sup> получила название технической, или метрической атмосферы (ат). В случае измерения в единицах технической атмосферы избыточного давления используется обозначение «ати».

В физической системе единиц СГС (сантиметр, грамм, секунда) единицей силы является дина (1 дин=10<sup>-5</sup> Н). В рамках СГС введена единица давления бар (1 бар=1 дин/см<sup>2</sup>). Существует одноименная внесистемная, метеорологическая единица бар, или стандартная атмосфера (1 бар=10<sup>6</sup>дин/см<sup>2</sup>; 1 мбар = 10<sup>-3</sup> бар = 10<sup>3</sup> дин/см<sup>2</sup>), что иногда, вне контекста, вызывает путаницу. Кроме указанных единиц на практике используется такая внесистемная единица, как физическая, или нормальная атмосфера (атм), которая эквивалентна уравновешивающему столбу 760 мм рт. ст.

В англоязычных странах широко распространена единица давления пси (psi=lbf/in<sup>2</sup>) - фунт силы на квадратный дюйм (1 фунт= 0,4536 кг).

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

В табл.3.1 указаны коэффициенты перевода одних системных или внесистемных единиц давления в другие: например, одной технической атмосфере соответствует давление 0,980665 в барах (здесь бар является внесистемной единицей). В действительности не всегда требуется столь высокая точность перевода единиц, которая отражена в таблице. Для приблизитель-

Таблица 3.1

Таблица соответствия единиц давления

Системы единиц	Единицы давления	Па	кгс/см <sup>2</sup> (ат)	бар	атм	мм рт. ст.	мм вод. ст.	пси (psi)
СИ	1 Па = 1 н/м <sup>2</sup>	1	1,01972·10 <sup>-5</sup>	10 <sup>-5</sup>	0,98692·10 <sup>-5</sup>	750,06·10 <sup>-5</sup>	0,101972	1,45·10 <sup>-4</sup>
МКГСС*	1 ат = 1 кгс/см <sup>2</sup> (техническая атмосфера)	0,980665·10 <sup>5</sup>	1	0,980665	0,96784	735,563	10 <sup>4</sup>	14,223
Внесистемные	1 бар = 10 <sup>6</sup> дин/см <sup>2</sup>	10 <sup>5</sup>	1,01972	1	0,98692	750,06	1,01972·10 <sup>4</sup>	14,5
	1 атм = 760 мм рт.ст. (физическая атмосфера)	1,01325·10 <sup>5</sup>	1,0332	1,01325	1	760	1,0332·10 <sup>4</sup>	14,696
	1 мм рт. ст.	133,322	1,35951·10 <sup>-3</sup>	1,33322·10 <sup>-3</sup>	1,31579·10 <sup>-3</sup>	1	13,5951	0,019337
	1 мм вод. ст.=1 кгс/м <sup>2</sup>	9,80665	10 <sup>-4</sup>	9,80665·10 <sup>-5</sup>	9,67841·10 <sup>-5</sup>	7,3556·10 <sup>-2</sup>	1	1,422·10 <sup>-3</sup>
	1 psi = 1 lbf/in <sup>2</sup>	6,894·10 <sup>3</sup>	≈0,07	6,894·10 <sup>-2</sup>	0,068	51,715	703,08	1

\* - техническая система единиц (метр, килограмм-сила, секунда)

ных оценок и расчетов давления с относительной погрешностью не более 0,5% полезно использовать следующие соотношения:

$$1 \text{ ат} = 1 \text{ кгс/см}^2 = 10^4 \text{ кгс/м}^2 = 0,97 \text{ атм} = 0,98 \cdot 10^3 \text{ мбар} = 0,98 \text{ бар} = \\ = 10^4 \text{ мм вод.ст.} = 10 \text{ м вод.ст} = 735 \text{ мм рт.ст.} = 0,98 \cdot 10^5 \text{ Па} = 98 \text{ кПа} = \\ 0,098 \text{ МПа}$$

С ошибкой в **2%** можно пренебречь разницей между технической атмосферой, стандартной атмосферой (баром) и десятой частью мегапаскаля (1 ат = 1 бар = 0,1 МПа), а с ошибкой в 3% - разницей между технической и физической атмосферами (1 ат = 1 атм).

Диапазон давлений, измеряемых в технике, достигает 17 порядков: от 10<sup>-8</sup> Па в электровакуумном оборудовании до 10<sup>3</sup> МПа при обработке

металлов давлением. Материальным хранителем единиц давления являются первичные (национальные) и вторичные (рабочие) эталоны давления. Для поддиапазона 1-100 кПа избыточных, абсолютных и разностных давлений в качестве первичного эталона используется, как правило, ртутный двухтрубный (U-образный) манометр с лазерным считыванием высоты мениска (погрешность считывания не более  $10^{-3}$  мм, а абсолютная суммарная погрешность прибора, учитывающая в том числе и влияние температуры, не превышает 0,0005% от верхней границы диапазона). Для поддиапазона 100 кПа - 100 МПа применяются газовые грузопоршневые манометры (точность 0,0035 - 0,004% от показаний). Газовые и жидкостные грузопоршневые манометры используются и как рабочие эталоны для передачи единиц давления промышленным образцовым приборам (их точность 0,01- 0,1%).

#### **4. Классификация средств измерения давления**

Для прямого измерения давления жидкой или газообразной среды с отображением его значения непосредственно на шкале, табло или индикаторе первичного измерительного прибора применяются **манометры** (ГОСТ 8.271-77). Если отображение значения давления на самом первичном приборе не производится, но он позволяет получать и дистанционно передавать соответствующий измеряемому параметру сигнал, то такой прибор **называют измерительным преобразователем давления (ИПД)** или **датчиком давления**. Возможно объединение этих двух свойств в одном приборе (манометр-датчик).

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

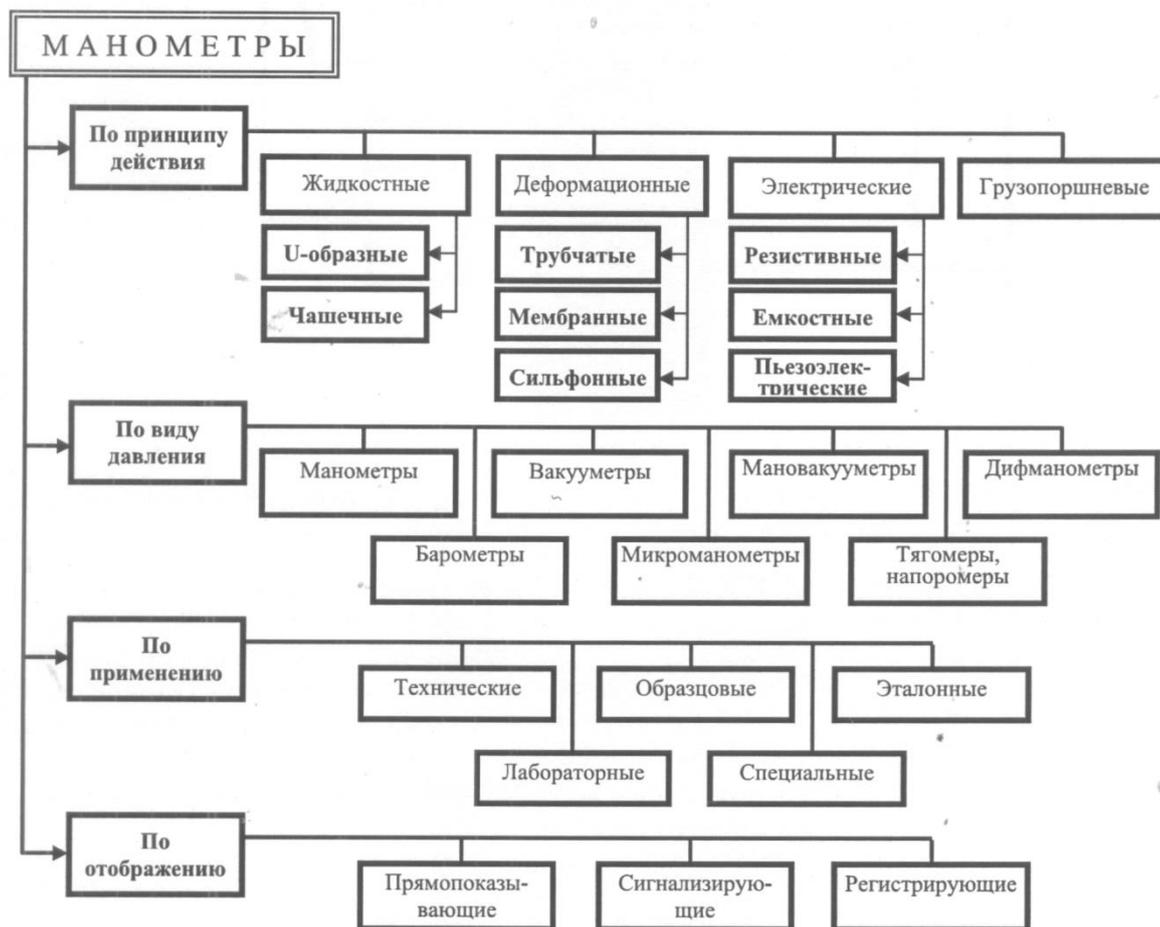


Рис. 3.2. Классификация манометров

Манометры классифицируют по принципу действия и конструкции, по виду измеряемого давления, по применению и назначению, по типу отображения данных и другим признакам (рис. 3.2).

По **принципу действия** манометры можно подразделить на:

- жидкостные (измеряемое давление уравнивается гидростатически столбом жидкости (воды, ртути) соответствующей высоты);
- деформационные (давление определяется по величине деформации и перемещения упругого чувствительного элемента (УЧЭ) - мембраны, трубчатой пружины, сильфона);
- электрические (давление определяется на основании зависимости электрических параметров: сопротивления, емкости, заряда, частоты - чувствительного элемента (ЧЭ) от измеряемого давления).

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

□ грузопоршневые (измеряемое или воспроизводимое давление гидростатически уравнивается через жидкую или газообразную среду прибора давлением веса поршня с грузоприемным устройством и комплектом образцовых гирь);

По **виду измеряемого давления** манометры подразделяют на:

- собственно манометры (приборы для измерения избыточного и абсолютного давления);
- вакуумметры (приборы для измерения разрежения);
- мановакуумметры (приборы для измерения давления и разрежения);
- барометры (приборы для измерения атмосферного давления);
- дифференциальные манометры (дифманометры) (приборы для измерения разностного давления);
- напоромеры (приборы для измерения небольших (до 20-40 кПа) избыточных давлений газовых сред);
- тягомеры (приборы для измерения небольших (до 20-40 кПа) разрежений газовых сред);
- тягонапоромеры (приборы для измерения небольших (до 20-40 кПа) избыточных давлений и разрежений газовых сред);
- микроманометры (дифманометры с малым перепадом давления).

Технические характеристики всех этих средств измерения давления определяются соответствующими общими техническими условиями (ГОСТ 2405-88, ГОСТ 18140-81 и др).

По **области применения** манометры подразделяют на:

- общепромышленные или технические (работающие в промышленных условиях при перепадах температур и влажности окружающей среды, вибрациях, загрязнении внешней среды и т.п.);

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

- лабораторные (приборы повышенной точности для использования в комфортных и стабильных условиях лабораторий);
- образцовые (для поверки рабочих манометров);
- эталонные (хранители единиц давления с целью передачи их образцовым приборам);
- специальные (применяются в экстремальных условиях: на железнодорожном транспорте, судах, котельных установках, при работе с кислотными и другими агрессивными средами).

По **типу отображения значений** измеряемого давления манометры подразделяют на:

- прямопоказывающие (с визуальным считыванием данных непосредственно по аналоговой (стрелочной) или цифровой шкале прибора);
- сигнализирующие (электроконтактные) (с выдачей управляющего электрического сигнала путем замыкания или размыкания контактов при достижении измеряемым давлением заранее установленного контрольного значения);
- регистрирующие (самопишущие) (с записью в память значений давления как функции времени и их отображением на электронном табло).

Манометры выполняют функцию локального контроля и в большинстве случаев из-за отсутствия возможности дистанционного доступа к их показаниям (за исключением манометров с унифицированным выходным электрическим сигналом) не могут использоваться для целей современной автоматизации. Такую возможность обеспечивают измерительные преобразователи давления.

Классифицируются эти приборы по принципу действия, виду измеряемого давления и типу выходного сигнала (рис. 3.3). ИПД различаются,

кроме того, по используемым единицам измерения и ряду основных технических параметров (ГОСТ 22520-85).

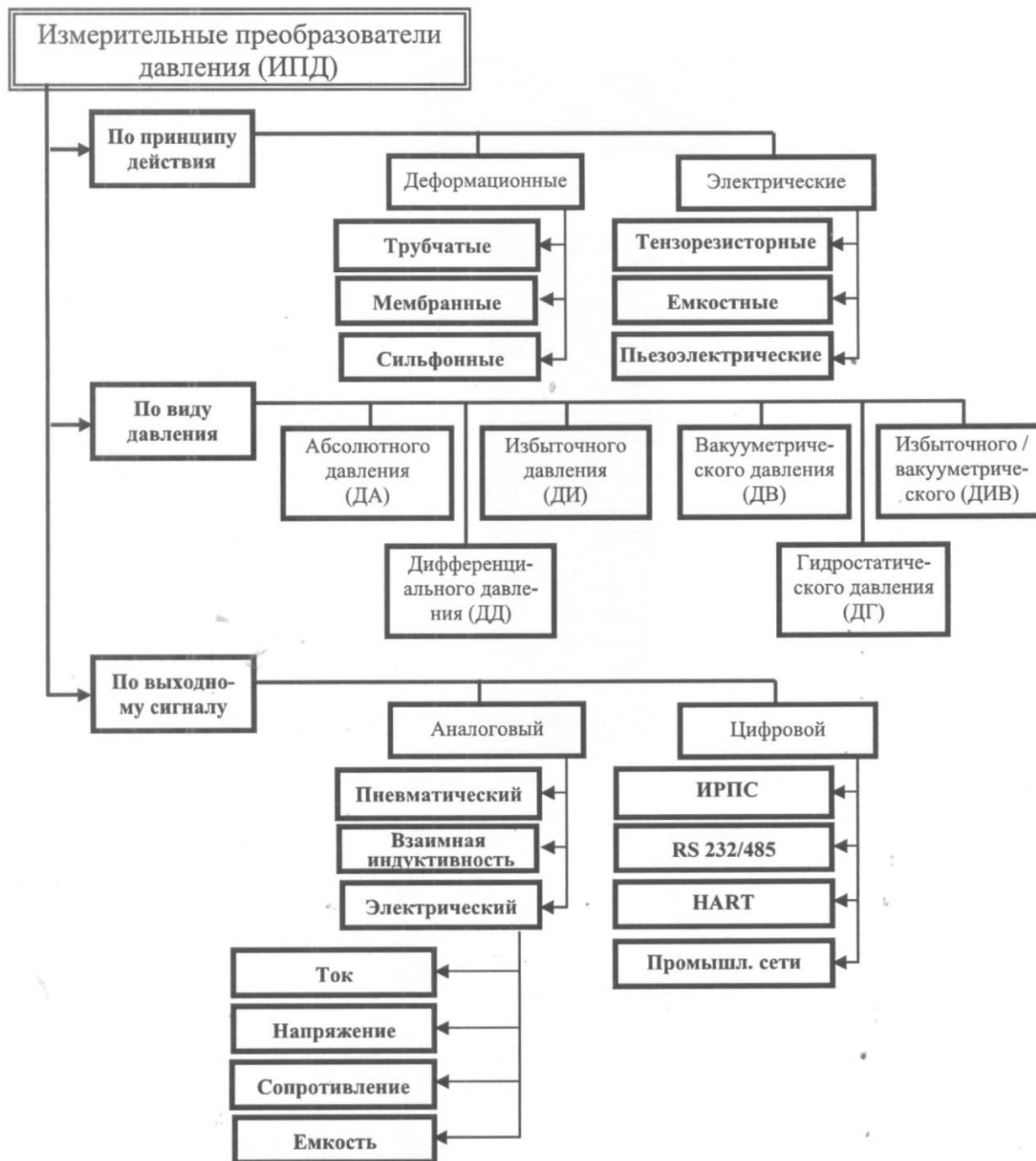


Рис.3.3. Классификация измерительных преобразователей давления

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

По **принципу действия** или **способу преобразования измеряемого давления в выходной сигнал** ИПД подразделяются, прежде всего, на:

- деформационные (деформационные перемещения упругого чувствительного элемента (мембраны, сильфона, трубки Бурдона) трансформируются с помощью дополнительных промежуточных механизмов и преобразователей в электрический или электромагнитный сигнал);

- электрические (измеряемое давление, оказывая воздействия на чувствительный элемент, изменяет его собственные электрические параметры:

сопротивление, ёмкость или заряд, которые становятся мерой этого давления).

В последние годы получили развитие и другие принципы создания ИПД: волоконно-оптические, гальваноманометрические, объёмного сжатия, акустические, диффузионные и т.д.

По **виду измеряемого давления** ИПД подразделяются на:

- преобразователи абсолютного давления (ДА);
- преобразователи избыточного давления (ДИ);
- преобразователи вакуумметрического давления (ДВ);
- преобразователи избыточного/вакуумметрического давления (ДИВ);
- преобразователи дифференциального давления (ДД);
- преобразователи гидростатического давления (ДГ).

По **выходному сигналу** ИПД подразделяются на:

- аналоговые (измеряемое давление преобразуется в аналоговый унифицированный пневматический или электрический сигнал);
- цифровые.

Основной парк действующих ИПД относится к аналоговым с унифицированным токовым сигналом 0...5, 0...20 или 4...20 мА. В последнее

десятилетие наметился переход к ИПД с цифровым выходом. Широкое распространение получил цифровой протокол HART. Этот открытый стандартный гибридный протокол двунаправленной связи предусматривает передачу цифровой информации поверх стандартного аналогового сигнала 4...20 мА. Бурно развивается системная интеграция первичных преобразователей с использованием различных разновидностей промышленных сетей (Foundation Fieldbus, ModBus, Profibus и др.). При этом используется полностью цифровой коммуникационный протокол для передачи информации в обоих направлениях между ИПД и системами управления, существенно облегчая взаимозаменяемость приборов разных мировых производителей. В отечественных цифровых ИПД пока преобладают такие цифровые интерфейсы, как ИРПС (интерфейс радиальной последовательной связи) и RS-232C.

### **5. Жидкостные манометры**

Жидкостные манометры отличаются простотой конструкции и сравнительно высокой точностью измерения. Их широко применяют как в качестве переносных (лабораторных), так и технических приборов для измерения давления.

Переносной **U-образный манометр**, представляющий собой согнутую в виде буквы U стеклянную трубку **1** показан на рис.3.4.

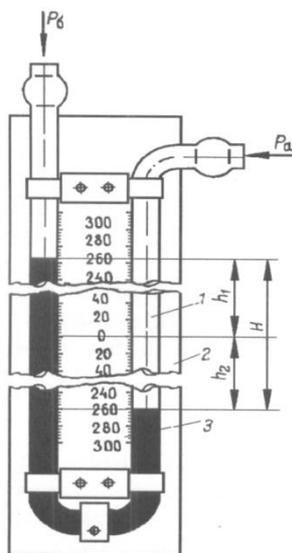


Рис.3.4. U-образный манометр:  
1 – трубка; 2 – доска; 3 – шкала

Трубка закреплена на доске **2** со шкалой **3**, расположенной между коленами трубки, и заполнена жидкостью (спиртом, водой, ртутью). Один конец трубки соединен с полостью, в которой измеряется давление, другой конец трубки сообщается с атмосферой. Под действием измеряемого давления жидкость в трубке перемещается из одного колена в другое до тех пор, пока измеряемое давление не уравнивается гидростатическим давлением столба жидкости в открытом колене.

Система находится в равновесии, если гидростатическое давление столба жидкости в открытом колене уравновешивается давлением в другом колене:

$$P_a S = P_6 S + H S g (\rho - \rho_1) , \quad (3.1)$$

где  $P_a$  - абсолютное давление в аппарате или трубопроводе, Па;  $P_6$  - атмосферное давление, Па;  $S$  - площадь сечения трубки, м<sup>2</sup>;  $H$  - разность уровней жидкости в обоих коленах или высота уравновешивающего столба жидкости, м;  $\rho$  - плотность жидкости в манометре, кг/м<sup>3</sup>;  $\rho_1$  - плотность среды, находящейся над жидкостью в манометре, кг/м<sup>3</sup>;  $g$  - ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>.

Из уравнения (3.1):

$$P_u = P_a - P_o = H S g (\rho - \rho_1) . \quad (3.2)$$

Если над жидкостью в приборе находится газ, то

$$P_u = P_a - P_o = H g \rho . \quad (3.3)$$

Если давление в пространстве, с которым соединен прибор, ниже атмосферного, то жидкость в трубках переместится в обратном направлении, и высота ее столба будет соответствовать раз

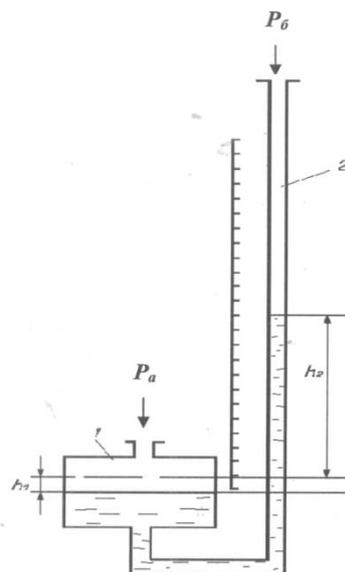


Рис.3.5. Чашечный манометр:  
1 – чашка; 2 – трубка

режению (вакууму). Присоединив оба свободных конца трубки прибора к двум полостям с разными давлениями, можно по разности уровней жидкости в приборе определить разность давлений.

Прибор наполнен жидкостью до нулевой отметки шкалы. Для определения высоты столба жидкости необходимо делать два отсчета (снижения в одном колене, подъема в другом) и суммировать замеренные величины, т.е.  $H = h_2 + h_2$ .

**Чашечный манометр**, являющийся разновидностью U-образного, показан на рис.3.5. Одно из колен чашечного манометра выполнено в виде сосуда (чашки) 1, диаметр которого больше диаметра трубки 2,

представляющей собой другое колено. Полость с измеряемым давлением (больше атмосферного) соединяется с чашкой, а трубка соединяется с атмосферой. Так как площадь сечения чашки больше площади сечения трубки, жидкость под действием давления в чашке опускается на высоту  $h_1$ , которая меньше высоты подъема в трубке  $h_2$ . Обычно площадь сечения чашки значительно больше сечения трубки, поэтому величиной понижения уровня жидкости в чашке пренебрегают, и результат отсчитывают только по высоте столба жидкости в трубке от начального значения. Однако, при этом возникает погрешность, вызванная понижением уровня жидкости в чашке, что изменяет положение нуля шкалы. Например, при диаметре чашки  $D$  в десять раз большем диаметра трубки  $d$ , получим:

$$h_1 = 0,01 h_2 ,$$

т. е. относительная погрешность составит 1%. Таким образом, погрешность прибора зависит от отношения площадей сечений трубки и чашки и может быть сколь угодно малой. На практике площади сечений чашки  $S$  и трубки  $s$  выбирают обычно такими, чтобы отношением  $s/S$  можно было пренебречь. В основном для чашечных приборов  $s/S < 1/400$ .

Давление определяется как:

$$P_u = P_a - P_o = h_2 g \left( 1 + \frac{s}{S} \right) (\rho - \rho_1). \quad (3.4)$$

## ЛЕКЦИЯ по теме № 2.4.2. Измерение давления

### ВОПРОСЫ

1. Деформационные датчики давления.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Чистофорова Н.В., Колмогоров А.Г. Технические измерения и приборы. Ч.1. Измерение теплоэнергетических параметров. Учебное пособие. 2008. с. 112-117.

### **1. Деформационные датчики давления**

В промышленной практике измерения давления и разности давлений широкое применение получили деформационные (с упругим чувствительным элементом) приборы. В этих приборах давление определяется по деформации упругих чувствительных элементов или по развиваемой ими силе, которые преобразуются передаточными механизмами в угловое или линейное перемещение указателя по шкале прибора.

По виду упругого чувствительного элемента пружинные приборы делятся на следующие группы:

- приборы с трубчатой пружиной;
- мембранные приборы;
- сильфонные приборы.

**Манометры с трубчатой пружиной** - один из наиболее распространенных видов деформационных приборов. Чувствительным элементом таких приборов является согнутая по дуге окружности и запаянная с одного конца трубка *1* (трубка Бурдона) эллиптического, плоскоовального сечения или круглого сечения (рис. 3.6). Третий вид трубок выполняют из легированной стали и используют для измерения высоких давлений (свыше 98 МПа).

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

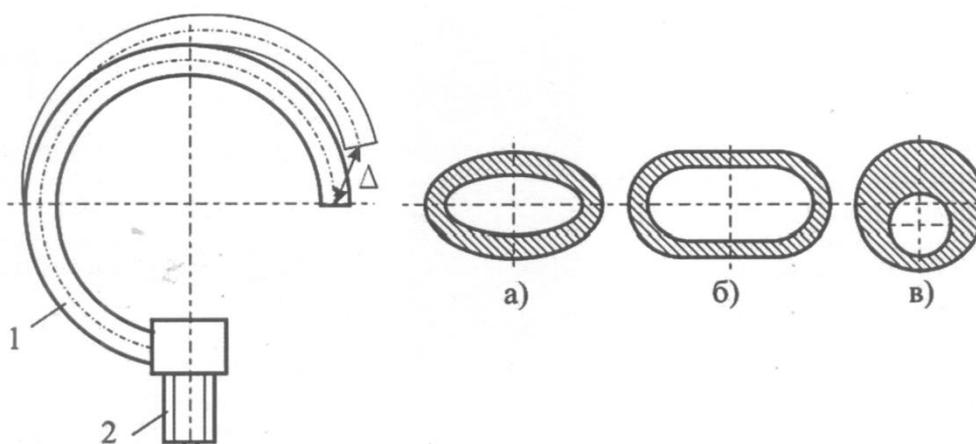


Рис. 3.6. Трубочатая пружина Бурдона:  
а – эллиптического сечения; б – плоскоовального сечения; в – круглого сечения  
1 – трубка; 2 – держатель

Одним концом трубка заделана в держатель 2, оканчивающийся ниппелем с резьбой для присоединения к полости, в которой измеряется давление. Внутри держателя есть канал, соединяющийся с внутренней полостью трубки. Если в трубку подать жидкость, газ или пар под избыточным давлением, то кривизна трубки уменьшается и она распрямляется; при создании разрежения внутри трубки кривизна ее возрастает, и трубка скручивается. Свойство изогнутой трубки некруглого сечения изменять величину изгиба при изменении давления обусловлено изменением формы сечения. Под действием давления внутри трубки эллиптическое или овальное сечение, деформируясь, приближается к круговому, что приводит к раскручиванию трубки, т.е. угловому перемещению ее свободного конца на небольшую величину  $\Delta$ .

В трубках круглого сечения, благодаря эксцентричному каналу, избыточное давление, действуя на заглушку свободного конца трубки, создает момент, вызывающий уменьшение ее кривизны. Это перемещение в определенных пределах пропорционально измеряемому давлению.

Перемещение свободного конца до определенного предела пропорционально давлению  $\Delta = k \cdot P$ . При дальнейшем повышении давления линейная зависимость нарушается - деформация начинает

расти быстрее увеличения давления. Предельное давление, при котором еще сохраняется линейная зависимость между перемещением конца трубки и давлением, называется пределом пропорциональности трубки  $P_{II}$ . Предел пропорциональности является важнейшей характеристикой трубки. При переходе давления за предел пропорциональности трубка приобретает остаточную деформацию и становится непригодной для измерения. Чтобы не допустить возникновения остаточной деформации, наибольшее рабочее давление  $P_{max}$  (разрежение или разность давлений) назначают ниже предела пропорциональности  $P_{II}$ . Отношение  $P_{II} / P_{max} = k$  называется коэффициентом запаса. Во всех случаях коэффициент  $k$  должен быть больше единицы. Для максимального увеличения долговечности трубки и снижения влияния упругого последействия принимают  $k = 1,35 - 2,5$ .

В соответствии с этим шкалу манометра (верхний предел измерения) выбирают таким образом, чтобы рабочий предел измерения (наибольшее рабочее давление) был не более  $3/4$  верхнего предела измерения при постоянном давлении и не более  $2/3$  верхнего предела измерения при переменном давлении. Верхние пределы измерения манометра выбирают из ряда:  $(1; 1,6; 2,5; 4 \text{ и } 6) \cdot 10^n$ , где  $n$  - целое положительное или отрицательное число. Перемещение  $\Delta$  свободного конца трубки под действием давления весьма невелико, поэтому в конструкцию прибора введен передаточный механизм, увеличивающий масштаб перемещения конца трубки. Конструкция манометра с трибно-секторным передаточным механизмом показана на рис. 3.7.

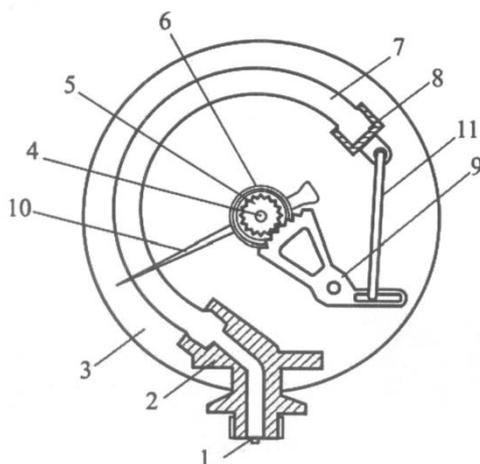


Рис. 3.7. Манометр с трубчатой пружиной:

1 – ниппель; 2 – держатель; 3 – корпус; 4 – ось; 5 – шестерня; 6 – пружина; 7 – трубчатая пружина; 8 – запаянный конец; 9 – зубчатый сектор; 10 – стрелка; 11 – тяга.

Манометры с трубчатой пружиной изготавливают на давление до 1000 МПа.

**Мембранные приборы.** Приборы с чувствительным элементом в виде плоских и гофрированных мембран, мембранных коробок и мембранных блоков применяют для измерения небольших избыточных давлений и разрежений (манометры, напоромеры и тягомеры), а также перепадов давления (дифманометры).

Мембрана представляет собой тонкий диск определенного диаметра, выполненный из металла или специального упругого материала, который жестко закрепляется по периметру в измерительном блоке (рис. 3.8).

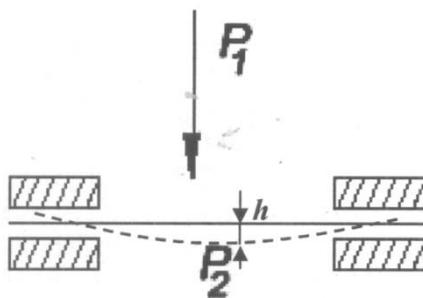


Рис. 3.8. Мембрана и ее прогиб

Под воздействием измеряемого давления  $P_1$  (при условии  $P_1 > P_2$ , где  $P_2$  – внешнее давление) происходит прогиб мембраны на величину  $h$ , что

в дальнейшем приводит к преобразованию этого перемещения во вращательное движение стрелки прибора.

Мембраны делят на упругие и «вялые». Упругие мембраны выполняют из тонких металлических пластин (сталь, бронза, латунь). Они обладают достаточно большой собственной жесткостью, их статические характеристики, представляющие зависимость перемещения  $h$  центра мембраны или развиваемой силы от давлений  $P_1$  и  $P_2$  или перепада  $\Delta P = P_1 - P_2$ , обычно нелинейны. Применяют плоские и гофрированные упругие мембраны (рис.3.9, а,б). Наличие гофров делает статическую характеристику мембраны более линейной.

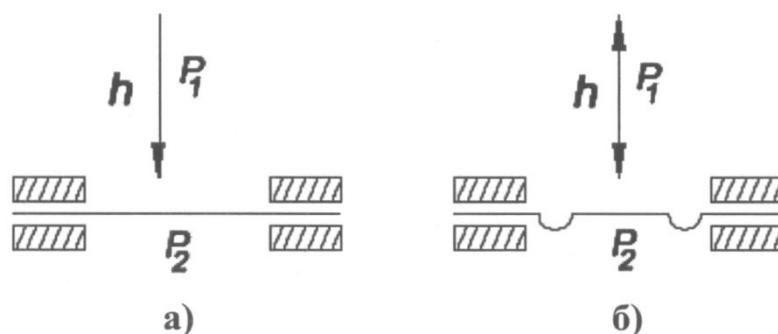


Рис. 3.9. Упругие мембраны:  
а – плоская; б – гофрированная

Упругие мембраны используют, преимущественно, как чувствительные элементы в первичных преобразователях, например, в дифманометрах.

«Вялые» мембраны выполняют из прорезиненной тонкой ткани (капрон, шелк, полотно). К ним предъявляют два требования - отсутствие собственной жесткости и большая прочность. Эти требования вытекают из основного назначения «вялых» мембран - преобразовывать большие

перепады давлений при крайне малых перемещениях (порядка сотых долей мм). «Вялые» мембраны обычно снабжены металлическим жестким центром. Они также могут быть плоскими и гофрированными.

Величина прогиба мембраны является сложной функцией действующего на нее давления, ее геометрических параметров (диаметра, толщины, числа и формы гофров), а также модуля упругости материала мембраны. Число, форма и размеры гофра зависят от назначения прибора, пределов измерения и других факторов. Гофрировка мембраны увеличивает ее жесткость, т.е. уменьшает прогиб при одинаковом давлении. Из-за сложности расчета в большинстве случаев характеристику мембраны подбирают опытным путем.

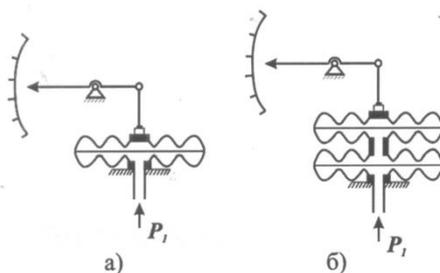


Рис. 3.10. Мембранные чувствительные элементы:

а – мембранная коробка; б – мембранный блок

Для увеличения прогиба в приборах для малых давлений (разрежений) мембраны попарно соединяют (сваркой или пайкой) в мембранные коробки (рис. 3.10,а), а коробки - в мембранные блоки (рис. 3.10,б).

**Сильфонные приборы.** Сильфон - это тонкостенная металлическая камера с гофрированной боковой поверхностью (рис. 3.11).

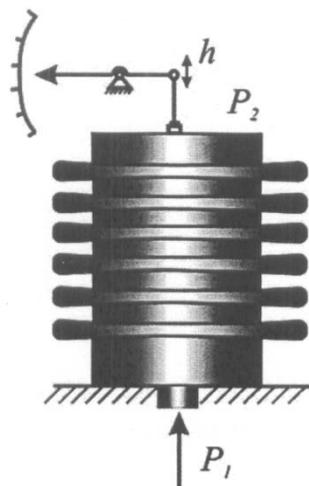


Рис. 3.11. Сильфон

Изготавливают сильфоны из латуни, а также из нержавеющей стали или бериллиевой бронзы. Они применяются в качестве чувствительных элементов приборов давления, которые своевременно и точно реагируют на изменение давления.

При действии нагрузки (внешнего  $P_2$  или внутреннего  $P_1$  давления) длина сильфона изменяется, увеличиваясь или уменьшаясь в зависимости от направления приложенной силы. Наличие гофров позволяет перемещать подвижную часть сильфона на значительное расстояние (десятки миллиметров) без заметного изменения его характеристик. Выходная координата сильфона - перемещение  $h$ , входные - давления  $P_1$  и  $P_2$  или их разность  $\Delta P$ .

Существенными недостатками сильфонов являются значительный гистерезис и некоторая нелинейность характеристики. Для увеличения жесткости, уменьшения влияния гистерезиса и нелинейности часто внутрь сильфона помещают винтовую цилиндрическую пружину. В этом случае характеристика сильфона изменяется, так как к жесткости сильфона добавляется жесткость пружины. Жесткость пружины обычно в несколько раз превышает жесткость сильфона, благодаря чему резко уменьшается

влияние гистерезиса сильфона и некоторой нелинейности его характеристики. Расчетные формулы основных размеров сильфонов весьма сложны и не всегда подтверждаются опытом. Обычно диаметр сильфонов находится в пределах 20 - 80 мм.

## ЛЕКЦИЯ по теме № 2.4.3. Измерение давления

### ВОПРОСЫ

1. Электрические датчики давления:
  - Емкостные преобразователи давления;
  - Пьезоэлектрические преобразователи давления;
  - Тензорезисторные преобразователи давления;
2. Грузопоршневой манометр.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Чистофорова Н.В., Колмогоров А.Г. Технические измерения и приборы. Ч.1. Измерение теплоэнергетических параметров. Учебное пособие. 2008. с. 117-127.

#### 1. Электрические датчики давления

В данных приборах измеряемое давление, оказывая воздействия на чувствительный элемент, изменяет его собственные электрические параметры: сопротивление, ёмкость или заряд, которые становятся мерой этого давления. Подавляющее большинство современных общепромышленных ИПД реализовано на основе трех основных принципов:

- **емкостные** - используют упругий чувствительный элемент в виде конденсатора с переменным зазором: смещение или прогиб под

действием прилагаемого давления подвижного электрода-мембраны относительно неподвижного изменяет его ёмкость;

- **пьезоэлектрические** - основаны на зависимости поляризованного заряда или резонансной частоты пьезокристаллов: кварца, турмалина и других от прилагаемого к ним давления;
- **тензорезисторные** - используют зависимость активного сопротивления проводника или полупроводника от степени его деформации.

В последние годы получили развитие и другие принципы работы ИПД: волоконно-оптические, индукционные, гальваномагнитные, объемного сжатия, акустические, диффузионные и т.д.

На сегодняшний день самыми популярными в России являются тензорезисторные ИПД.

### **Ёмкостные преобразователи давления**

Принцип действия емкостных преобразователей основан на изменении емкости переменного конденсатора  $C$  под воздействием преобразуемой неэлектрической величины (например, давления). Емкость конденсатора зависит от таких параметров как расстояние между пластинами (обкладками)  $\delta$ , площадь пластин  $S$ , диэлектрическая постоянная между пластинами  $\epsilon$ .

Наибольшее применение в системах автоматики получили плоскопараллельные и цилиндрические преобразователи.

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

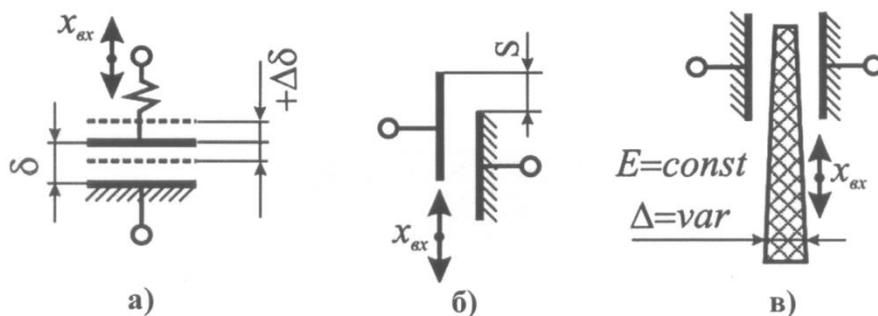


Рис.3.12. Емкостные преобразователи:

а - с изменяющейся величиной зазора; б - с изменяющейся площадью;  
в - с изменяющейся диэлектрической проницаемостью

На рис. 3.12 схематически изображено устройство плоскопараллельных емкостных преобразователей, основанных на трех принципах: изменении величины зазора  $\delta$  между пластинами (обкладками) конденсатора, причем одной из пластин может быть поверхность объекта (детали), не входящего в состав преобразователя (рис. 3.12, а); изменении площади  $S$  перекрытия пластин в результате их относительного смещения (рис. 3.12, б); изменении диэлектрической проницаемости материала  $E$  (рис. 3.12, в).

Характеристика управления емкостного плоскопараллельного преобразователя с изменяющимся воздушным зазором определяется выражением:

$$C = \frac{E \cdot S}{\delta}, \quad (3.5)$$

где  $C$  - емкость конденсатора, Ф;  $\delta$  - расстояние между обкладками, м;  $E$  - абсолютная диэлектрическая проницаемость среды между обкладками, Ф/м;  $S$  — площадь обкладок, м<sup>2</sup>.

В первом случае емкость изменяется по гиперболическому закону, во втором и третьем - линейно.

Основными достоинствами емкостных преобразователей являются: высокая чувствительность (до 500 В/мм); простота конструкции; малые

размеры и масса; малая инерционность; высокая точность и стабильность характеристик.

К недостаткам следует отнести: большое внутреннее сопротивление; влияние на работу преобразователя паразитных емкостей (требуется экранировка); необходимость усиления снимаемого сигнала; потребность источника напряжения высокой частоты; сильное влияние изменения температуры, влажности и загрязненности окружающей среды; для достижения максимальной чувствительности монтаж следует производить короткими проводами, что не всегда удобно.

### **Пьезоэлектрические преобразователи давления**

Действие пьезоэлектрических преобразователей основано на свойстве некоторых кристаллических веществ создавать электрические заряды под действием механической силы. Это явление, называемое пьезоэффектом, характерно для кристаллов кварца, турмалина, сегнетовой соли, титаната бария и некоторых других веществ. Особенностью пьезоэффекта является его безынерционность. Заряды возникают мгновенно в момент приложения силы. Это обстоятельство делает пьезоэлектрические приборы незаменимыми при измерении и исследовании быстротекающих процессов, связанных с изменением давления (индицирование быстроходных двигателей, изучение явлений кавитации, взрывных реакций и т.п.).

Для изготовления пьезоэлектрических датчиков наиболее широко применяют кварц, сочетающий хорошие пьезоэлектрические свойства с большой механической прочностью, высокими изоляционными свойствами и независимостью пьезоэлектрической характеристики в широких пределах от изменения температуры.

Элементарной структурной ячейкой является шестигранная призма (рис. 3.13).

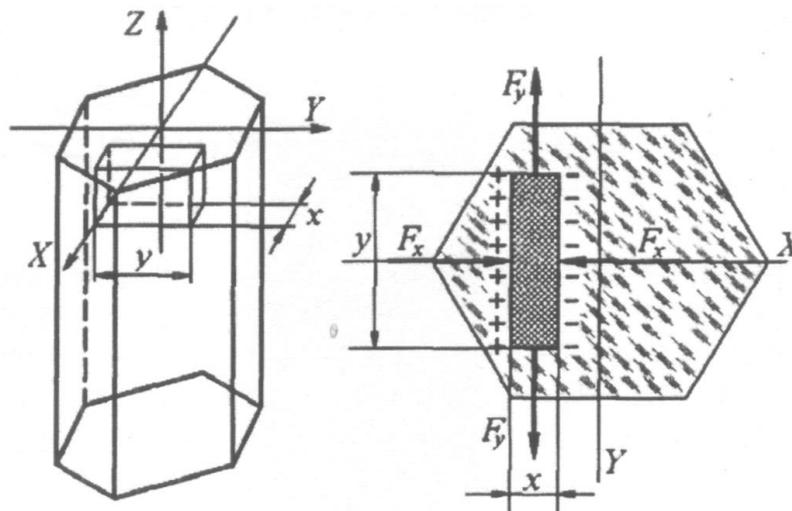


Рис. 3.13. Схема кристалла кварца

В кристаллах кварца различают продольную ось  $ZZ$ , называемую оптической осью, ось  $XX$ , проходящую через ребра призмы (электрическую ось), и ось  $YY$ , проходящую через середины противоположащих граней (механическая или нейтральная). Если из кристалла кварца вырезать параллелепипед так, чтобы его грани были расположены перпендикулярно осям  $YY$  и  $XX$ , то он будет обладать пьезоэлектрическими свойствами. Силы, приложенные к параллелепипеду в направлении оси  $ZZ$ , не вызывают электризации, а растягивающая или сжимающая силы  $F_x$ , приложенные в направлении электрической оси, вызывают появление разноименных зарядов на гранях, перпендикулярных к этой оси (продольный пьезоэффект). Заряд, возникающий на гранях, равен:

$$q_x = kF_x = kP_x S_x, \quad (3.6)$$

где  $P_x$  и  $F_x$  - давление и сила, действующие на грань;  $S_x$  - площадь грани;  $k$  - постоянная величина, так называемый, пьезоэлектрический модуль.

Пьезоэлектрическая постоянная кварца практически не зависит от температуры до 500°C. При температуре выше 500°C она быстро уменьшается и при температуре 570°C становится равной нулю, т. е. кварц теряет пьезоэлектрические свойства. Пьезоэлектрические приборы позволяют измерять давление до 100 МПа.

### Тензорезисторные преобразователи давления

В основе работы тензопреобразователей (тензорезисторов) лежит явление тензоэффекта, заключающееся в изменении активного сопротивления проводниковых и полупроводниковых материалов при их механической деформации.

По способу закрепления на чувствительных элементах датчиков они делятся на наклеиваемые и ненаклеиваемые, по конструктивному выполнению - на проволочные, фольговые, полупроводниковые.

**Проволочные тензопреобразователи** (рис. 3.14) конструктивно представляют собой отрезок тонкой проволоки 1 (диаметром 0,02...0,05 мм), которая зигзагообразно наклеена на тонкую бумажную или пленочную основу (подложку) 2. Сверху проволока также закрыта тонкой бумагой или лаковой пленкой 3, или фетром. Для включения в измерительную схему к концам проволоки припаиваются медные выводы 4.

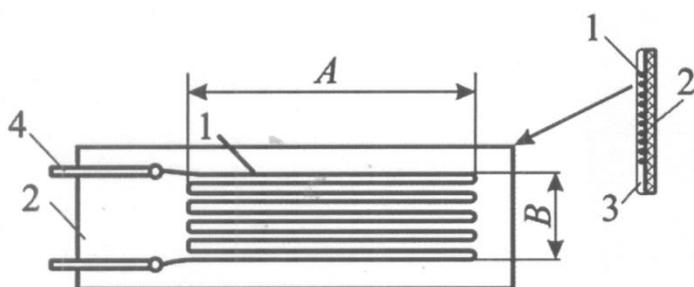


Рис. 3.14. Проволочный тензопреобразователь:  
1 – проволока; 2 – подложка;  
3 – защитная пленка; 4 – медные выводы

Измерительной базой преобразователя является длина петель решетки  $A$ , величина которой лежит в пределах 1,5... 100 мм. Ширина

решетки  $B$  равна 5... 10 мм. Номинальное сопротивление 10... 1000 Ом, номинальный ток - 30 мА.

**Фольговые тензопреобразователи** (рис. 3.15) представляют собой дальнейшее развитие проволочных. В них вместо решеток из проволоки применяют решетку из фольги толщиной 0,004...0,012 мм. Рисунок решетки выбирают таким, чтобы можно было снизить деформации, которая в фольговых тензопреобразователях практически сводится к нулю. На рис. 3.15,а представлена типовая форма фольгового тензопреобразователя, на рис. 3.15,б - короткобазовый преобразователь, на рис. 3.15,в - для наклейки на круглую мембрану.

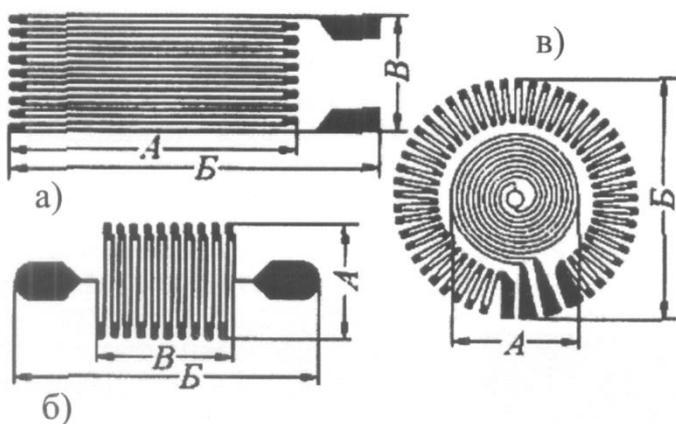


Рис. 3.15. Фольговые тензопреобразователи:  
а – типовой; б – короткобазовый;  
в – круговой

Фольговые тензопреобразователи могут пропускать больший ток, чем проволочные, благодаря большей площади поперечного сечения проводника при тех же размерах решетки и большей теплоотдаче, улучшающей теплообмен, вследствие большей площади прилегания к деформируемой детали (чувствительному элементу датчика). Благодаря этому можно увеличить значение номинального тока до 0,2 А. Сопротивление фольговых тензопреобразователей равно 30...250 Ом.

В качестве материала решеток проволочных и фольговых тензопреобразователей применяются как чистые металлы (серебро, платина, медь), так и сплавы (константан, нихром, манганин и др.).

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

Основными достоинствами проволочных и фольговых тензопреобразователей являются: практически полное отсутствие их влияния на деформацию детали; линейность характеристики; низкая стоимость.

Основным недостатком является относительно низкий температурный диапазон работоспособности: от  $-40$  до  $+70^{\circ}\text{C}$ .

**Полупроводниковые тензопреобразователи** отличаются от проволочных и фольговых большим (до 50%) изменением сопротивления при деформации и более высоким пределом чувствительности к температуре (в 10...20 раз).

Их преимущества заключаются в более высоком (в 60 раз) коэффициенте тензочувствительности, малых размерах (длина базы  $A = 3...10$  мм), больших значениях выходного сигнала.

Наиболее сильно тензоэффект выражен в таких полупроводниковых материалах, как германий, кремний, антимонид индия, фосфид индия, арсенид галлия, антимонид галлия. Для тензопреобразователей чаще применяют германий и кремний в виде пластин толщиной 0,03...0,2 мм, шириной 0,5... 1 мм и длиной (базой) 3...15 мм.

Существует несколько способов изготовления полупроводниковых тензопреобразователей: вырезание из полупроводникового монокристалла; выращивание монокристалла посредством конденсации паров; нанесение на некоторые виды подложек тонких пленок со свойствами монокристаллов; получение диффузионным способом. Особенно широкое применение в изготовлении общепромышленных тензорезисторных ИПД в силу своих высоких механических, изолирующих и теплоустойчивых качеств получила технология КНС — «кремний на сапфире». Упрощенная конструкция чувствительного элемента

тензопреобразователя, основанного на данной технологии, представлена на рис. 3.16.

Чувствительный элемент состоит из сапфировой подложки 3, на которую диффузионным способом нанесены тензорезисторы 4 (чаще всего в виде уравновешенного измерительного моста Уитстона). Подложка припаяна твердым припоем 2 к титановой мембране 1.

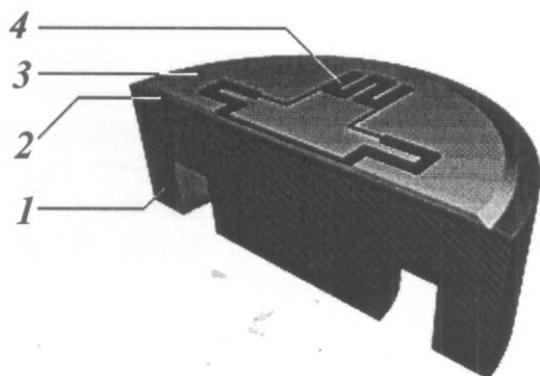


Рис. 3.16. Чувствительный элемент полупроводникового тензопреобразователя:

1 – титановая мембрана; 2 - серебрясодержащий припой; 3 – сапфировая подложка; 4 – тензорезисторы

Чувствительный элемент включается в общую измерительную цепь преобразователя давления, структурная схема которого представлена на рис. 3.17.

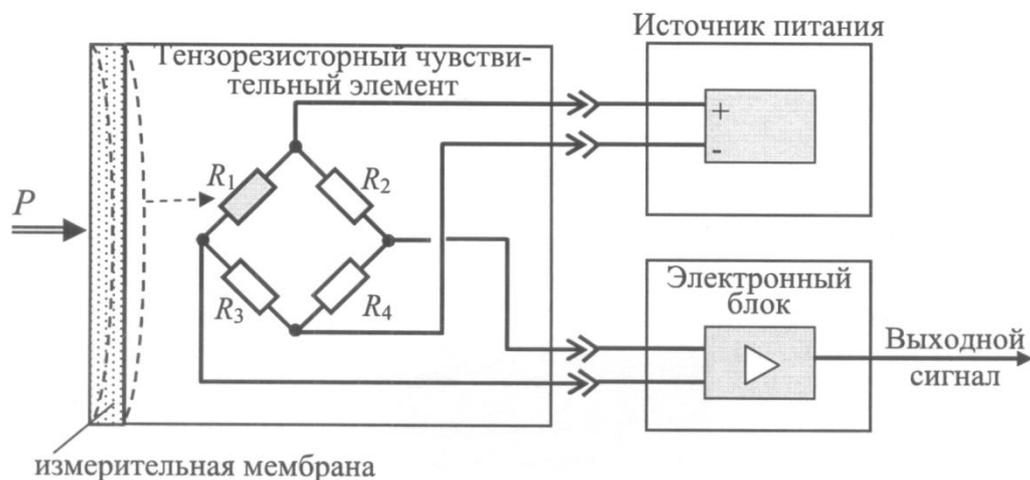


Рис. 3.17. Структурная схема тензорезисторного преобразователя давления

Деформация измерительной мембраны под воздействием внешнего давления  $P$  приводит к локальным деформациям тензорезисторного моста, состоящего из постоянных тензорезисторов  $R_2$ ,  $R_3$ ,  $R_4$  и переменного  $R_1$ . В результате происходит разбаланс моста, который преобразуется электронным блоком в унифицированный выходной электрический сигнал.

К преимуществам данного типа чувствительных элементов можно отнести достаточно высокий температурный диапазон работоспособности (от  $-160$  до  $+1500^\circ\text{C}$ ), хорошую защищенность чувствительного элемента от воздействия любой агрессивной среды, налаженное серийное производство, низкую стоимость.

Основными недостатками полупроводниковых тензопреобразователей являются: малая гибкость, небольшая механическая прочность, нелинейность характеристики, большой разброс характеристик однотипных преобразователей, нестабильность параметров.

Несмотря на данные недостатки, основная масса датчиков давления в нашей стране выпускаются на основе тензорезисторных чувствительных элементов. Конструкция одной из моделей такого датчика представлена на рис. 3.18.

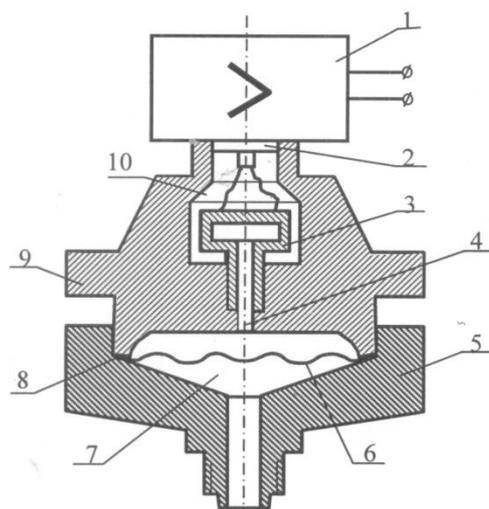


Рис. 3.18. Конструкция измерительного преобразователя давления:

1 – электронный блок; 2 – гермовывод;  
3 – тензопреобразователь; 4 – канал; 5 – фланец; 6 – измерительная мембрана; 7 – измерительная камера; 8 – прокладка; 9 – основание; 10 – внутренняя полость.

Мембранный тензопреобразователь *3* размещен внутри основания *9*. Внутренний канал *4* тензопреобразователя заполнен кремнийорганической жидкостью и отделен от измеряемой среды металлической гофрированной мембраной *6*, приваренной по наружному контуру к основанию *9*. Полость *10* сообщена с окружающей атмосферой. Измеряемое давление подается в камеру *7* фланца *5*, который уплотнен прокладкой *8*. Измеряемое давление воздействует на мембрану *6* и через жидкость воздействует на мембрану тензопреобразователя, вызывая ее прогиб и изменение сопротивления тензорезисторов. Электрический сигнал от тензопреобразователя передается из измерительного блока в электронный блок *1* по проводам через гермовывод *2*.

## 2. Грузопоршневой манометр

Принцип действия грузопоршневого манометра основан на уравновешивании сил, создаваемых, с одной стороны, измеряемым давлением, а с другой стороны - грузами, действующими на поршень, помещенный в цилиндр (рис 3.19).

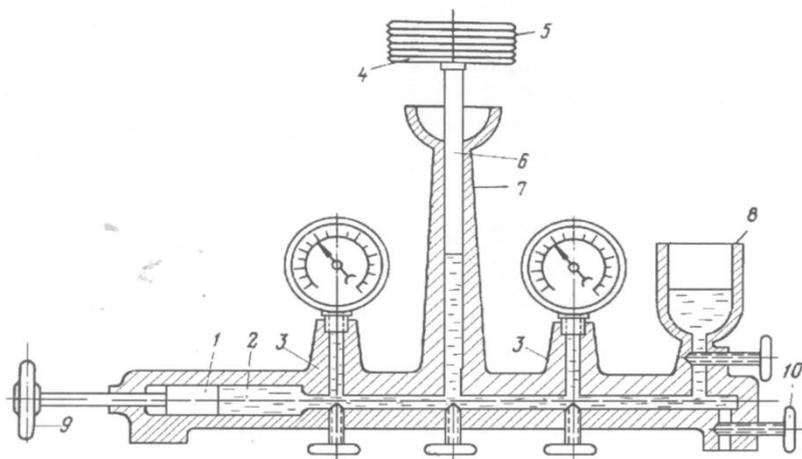


Рис.3.19. Грузопоршневой манометр:  
1,6 – поршень; 2 – камера; 3 – штуцер; 4 – тарелка; 5 – грузы;  
7 – колонка; 8 – воронка; 9 – маховик; 10 – вентиль

Прибор состоит из колонки 7 с цилиндрическим шлифованным каналом и поршня 6, несущего на своем верхнем конце тарелку 4 для нагружения ее эталонными грузами 5. Поршень 1 винтового пресса служит для подъема и опускания поршня 6 так, чтобы при любых нагрузках поршень 6 был погружен в цилиндр примерно на 2/3 своей высоты.

Камеру 2 поршневого манометра заполняют трансформаторным, вазелиновым или касторовым маслом через воронку 8. Давление в системе создают с помощью винта с маховиком 9 и поршня 1. Штуцеры 3 служат для установки поверяемого и образцового манометров. Вентиль 10 предназначен для слива масла. В процессе измерений для устранения вредных сил трения поршня 6 о стенки цилиндрического канала колонки 7 поршень 6 вручную приводят во вращение. Грузопоршневой манометр может быть использован для поверки манометров, как с помощью грузов, так и с помощью образцового манометра.

### Контрольные вопросы

1. Какие существуют единицы измерения давления?
2. Как классифицируются средства измерения давления?

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

3. Как классифицируются манометры?
4. Что такое измерительный преобразователь давления и какие преобразователи вы знаете?
5. Что произойдет, если U-образный манометр соединить с полостью, давление в которой ниже атмосферного?
6. От чего зависит погрешность чашечного манометра?
7. Что является чувствительным элементом в деформационных приборах?
8. Назовите недостатки мембранных и сильфонных чувствительных элементов приборов.
9. Сравните коэффициенты преобразования мембраны, мембранной коробки, мембранного блока.
10. Основной критерий выбора деформационных преобразователей давления для измерений?
11. Выйдет ли из строя мембранный блок дифманометра, если перепад давления на нем превысит верхний предел измерения?
12. Почему в мембранном разделителе нельзя применять жесткую мембрану?
13. Что такое коэффициент запаса деформационного чувствительного элемента?
14. Что такое жесткость сильфона?
15. Где должен быть расположен манометр по отношению к месту отбора, если измеряемая среда - жидкость?
16. Можно ли дифманометром измерить давление, разрежение?
17. Какие электрические датчики давления вы знаете?
18. На чем основан принцип действия пьезоэлектрических датчиков давления? Емкостных датчиков давления?

19. Что лежит в основе работы тензорезисторных преобразователей?
20. Какие существуют тензорезисторные преобразователи?
21. Принцип действия грузопоршневого манометра?
22. Область применения грузопоршневых манометров?
23. Из каких измерительных преобразователей можно составить измерительную цепь для передачи результатов измерения на щит оператора при нормальных условиях производства? В условиях взрывоопасного производства?

## **ЛЕКЦИЯ по теме № 2.5.1. Измерение количества и расхода**

### ВОПРОСЫ

1. Основные понятия, единицы измерения.
2. Измерение количества жидкости и газа:
  - Скоростные счетчики для жидкостей;
  - Объемные счетчики для жидкостей;
  - Барабанные счетчики для газов;
  - Ротационные счетчики для газов.
3. Насосы -дозаторы

### ЛИТЕРАТУРА

1. Чистофорова Н.В., Колмогоров А.Г. Технические измерения и приборы. Ч.1. Измерение теплоэнергетических параметров. Учебное пособие. 2008. с. 127-134.

### **1. Основные понятия, единицы измерения**

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

Количество вещества выражают в единицах объема или массы. В системе СИ за единицу объема принят кубический метр (м<sup>3</sup>), а за единицу массы - килограмм (кг). Количество газа измеряют объемным методом. Для получения сравнимых результатов измерений необходимо объем газа привести к следующим нормальным условиям: температура 20°C (293,15 К), давление 101325 Па (760 мм рт. ст.), относительная влажность  $\varphi = 0$ .

Приборы, измеряющие количество вещества, называются **счетчиками**. Счетчики измеряют протекающий через них объем вещества за любой промежуток времени: сутки, месяц и т. д. Количество вещества при этом определяется как разность показаний счетчика.

**Расходом** вещества называется количество вещества, проходящее через данное сечение канала в единицу времени. Объемный расход  $Q$  определяется как произведение скорости потока  $v$  на площадь отверстия истечения  $S$ , т.е.

$$Q = vS. \quad (4.1)$$

Объемный расход в системе СИ измеряется в м<sup>3</sup>/с (в произвольных условиях чаще используется единица м<sup>3</sup>/ч).

Массовый расход  $Q_M$  получают умножением объемного расхода  $Q$  на плотность  $\rho$  жидкости, газа или пара, т.е.

$$Q_M = Q\rho. \quad (4.2)$$

За единицу измерения массового расхода принят кг/с (на практике чаще используется т/ч).

Приборы, измеряющие расход, называются **расходомерами**. Эти приборы могут быть снабжены счетчиками (интеграторами), тогда они называются расходомерами со счетчиком. Такие расходомеры позволяют измерять расход и количество вещества.

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

В зависимости от принятого метода измерения приборы для измерения расхода и количества подразделяются на:

- расходомеры переменного перепада давления;
- расходомеры постоянного перепада давления;
- бесконтактные расходомеры: электромагнитные, ультразвуковые;
- кориолисовы расходомеры;
- вихревые расходомеры;
- калориметрические расходомеры и др.

## 2. Измерение количества жидкости и газа

Количество жидкости или газа можно измерить счетчиками. По принципу действия счетчики подразделяются на объемные, массовые и скоростные. Для измерения количества жидкости применяют преимущественно объемные и скоростные счетчики, для измерения объема газа - объемные счетчики. Для каждого счетчика существует определенный минимальный расход, ниже которого резко возрастает основная погрешность.

**Номинальным** называется наибольший длительный расход, при котором погрешность измерения не выходит за пределы установленных норм, а потеря напора не создает в счетчике усилий, приводящих к быстрому износу его деталей. **Характерным расходом** называется количество вещества, которое проходит через счетчик за 1 ч при установившемся потоке и потере напора 0,1 МПа. Характерный расход является условной величиной и служит мерой оценки счетчиков различных конструкций.

**Потери напора** представляют собой разность давлений на входе в счетчик и выходе из него.

**Калибром счетчика** называется диаметр условного прохода входного патрубка, выраженный в миллиметрах.

### Скоростные счетчики для жидкостей

Эти счетчики служат для измерения количества жидкостей. Они основаны на принципе измерения средней скорости движущегося потока. Количество жидкости  $Q$  связано со средней скоростью движущегося потока соотношением:

$$Q = v_{cp}S, \quad (4.3)$$

где  $v_{cp}$  - средняя скорость движения вещества, м/с;  $S$  - поперечное сечение потока, м<sup>2</sup>.

О количестве жидкости, прошедшей через прибор, судят по числу оборотов лопастной вертушки, расположенной на пути потока. Считается, что скорость вращения вертушки пропорциональна средней скорости потока

$$n = c v_{cp}t$$

с учетом уравнения (4.1)

$$n = c (Q/S),$$

где  $n$  - число оборотов вертушки;  $c$  - коэффициент пропорциональности, характеризующий механические и гидравлические свойства прибора.

По форме вертушки скоростные счетчики разделяются на две группы: с винтовой вертушкой и крыльчатые. Винтовые вертушки размещают параллельно измеряемому потоку, крыльчатые - перпендикулярно ему.

На рис.4.1 показан скоростной **счетчик с винтовой вертушкой**, закреплённой на горизонтальной оси. В корпусе 7, снабженном фланцами для присоединения к трубопроводу, установлена вертушка 2 с лопастями, изогнутыми по винтовой линии.

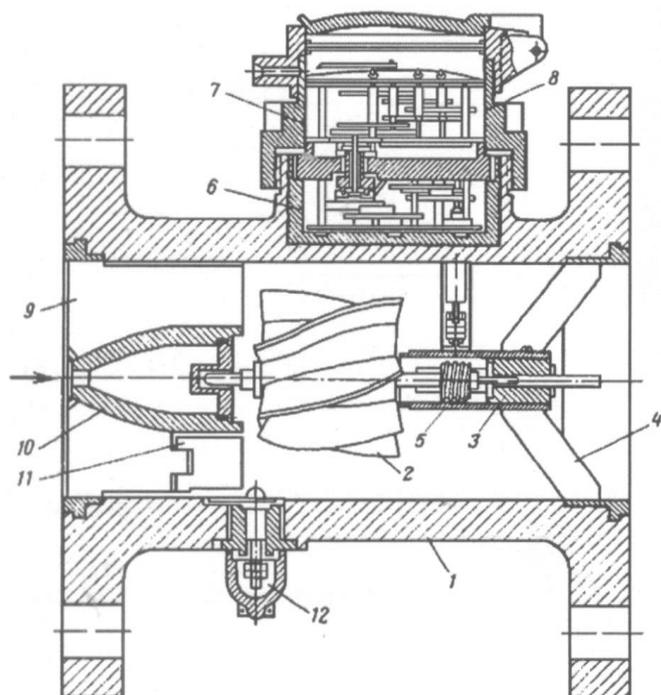


Рис.4.1.Скоростной счётчик с  
винтовой вертушкой:  
1-корпус; 2-вертушка;  
3-подшипник; 4-крестовина;  
5-червяк; 6-передаточный механизм;  
7- сальник; 8-счётный механизм;  
9-струевыпрямитель; 11-лопасть;  
12-рычажный привод

Вертушку изготавливают из пластмассы при рабочей температуре до 30°С и из латуни при более высоких температурах. На ось вертушки перед задним закрытым подшипником 3, закрепленным в крестовине 4, насажен червяк 5, сцепляющийся с червячной шестерней, передающей вращение передаточному механизму 6. От механизма движение передается оси, проходящей через сальник 7, и счетному механизму 8. Перед вертушкой со стороны входа жидкости установлен струевыпрямитель 9, состоящий из нескольких радиально закрепленных прямых пластин. Конец одной из пластин струевыпрямителя поворачивается вокруг вертикальной оси, образуя лопасть 11, служащую для регулирования счетчика через

рычажный привод 12. В струевыпрямителе закреплен передний подшипник 10 оси вертушки.

Механическое сопротивление (трение в подшипниках, сальнике и т.п.) влияет на скорость вращения вертушки, а при некоторой минимальной скорости потока вертушка будет неподвижна.

В зависимости от способа подвода жидкости счетчики с крыльчатой вертушкой подразделяются на одноструйные и многоструйные.

Как в одноструйных, так и в многоструйных счетчиках жидкость подводится тангенциально к лопастям вертушки. Счетчики с крыльчатой вертушкой устанавливают на горизонтальных участках трубопроводов. Счетчики с винтовой вертушкой применяют при давлении жидкости до 1,0 МПа и при длительной нагрузке до 600 м /ч. Погрешность счетчиков составляет 2 - 3% действительного значения.

### **Объемные счетчики для жидкостей**

Принцип работы объемных счетчиков заключается в измерении определенного объема жидкости, вытесняемого из измерительной камеры под воздействием разности давлений.

Объемные счетчики выпускаются двух типов: лопастные и с овальными зубчатыми колесами. Принцип действия **лопастных счетчиков** основан на том, что поток измеряемой жидкости, поступая через входной патрубок, проходит через измерительную камеру, где теряет часть напора на создание крутящего момента, приводящего во вращение ротор с подвижными лопастями.

Измерение объемного количества жидкости происходит при периодическом отсекании определённых объемов жидкости, заключенных в полости между двумя лопастями и цилиндрическими поверхностями измерительной камеры и барабана. За один полный

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

оборот ротора отсекаются четыре объема, сумма которых равна емкости измерительной камеры. На рис. 4.2 показано несколько положений ротора, иллюстрирующих части цикла, в течение которого ротор совершает пол-оборота, что соответствует половине ёмкости измерительной камеры.

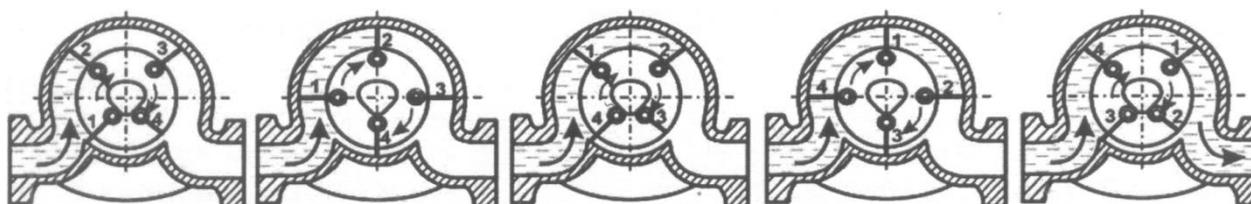


Рис.4.2. Лопастной счетчик

На рис.4.3 показан счетчик с овальными зубчатыми колесами. Проходя через счетчик, поток жидкости теряет часть своей энергии на вращение овальных колес. В зависимости от расположения колес относительно входа потока жидкости каждое из них является поочередно то ведущим, то ведомым.

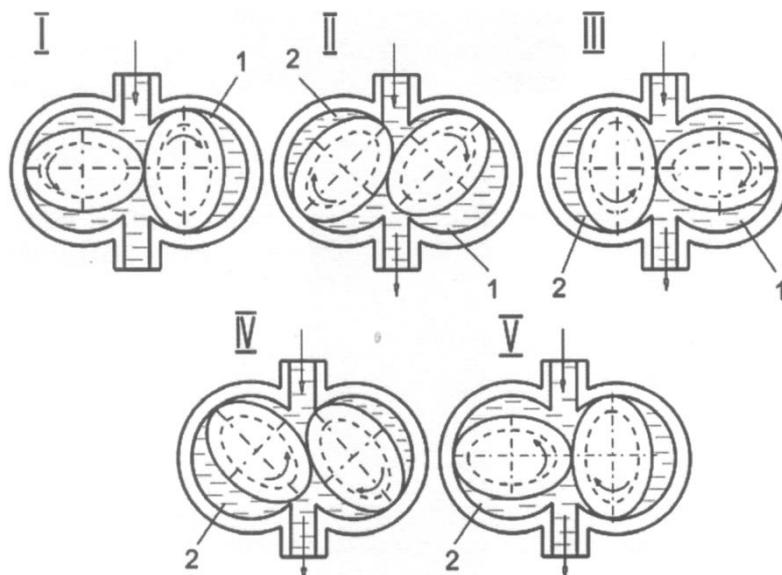


Рис.4.3. Счетчик с овальными зубчатыми колесами

При вращении овальных колес периодически отсекается определенный объем жидкости, ограниченный овалом колеса и стенкой измерительной камеры. За один оборот колес отсекается четыре определенных объема жидкости, которые в сумме равны свободному объему измерительной камеры, счетчика.

Количество жидкости, прошедшей через счетчик, определяют по числу оборотов овальных колес. В положении I жидкость вращает правое колесо по часовой стрелке, а правое колесо вращает левое против часовой стрелки. В этом положении правое колесо отсекает определенный объем жидкости *1*.

В положении II левое колесо заканчивает отсекание нового объема жидкости *2*, а правое выталкивает ранее отсеченный его объем жидкости *1* в выходной патрубок счетчика. В этом положении крутящий момент передается на оба колеса. В положении III ведущим является левое колесо, которое к этому времени уже отсекло объем *2*. Оно вращает правое колесо по часовой стрелке. Дальнейшее вращение колес происходит аналогично (положения IV и V).

Для измерения объемов очень вязких жидкостей (мазут и др.) в счетчиках предусматривают паровую рубашку. Счетчики с овальными колесами выпускаются промышленностью для различных диаметров трубопроводов при рабочем давлении до 1,57 МПа. Потеря напора от установки счетчика составляет примерно 0,02 МПа. Погрешность показаний этих приборов  $\pm 0,5\%$ .

### **Барабанные счетчики для газов**

Работа этих счетчиков основана на непрерывном отмеривании и отсчете равных объемных порций газа. Число этих объемов регистрируется счетным механизмом (рис. 4.4).

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

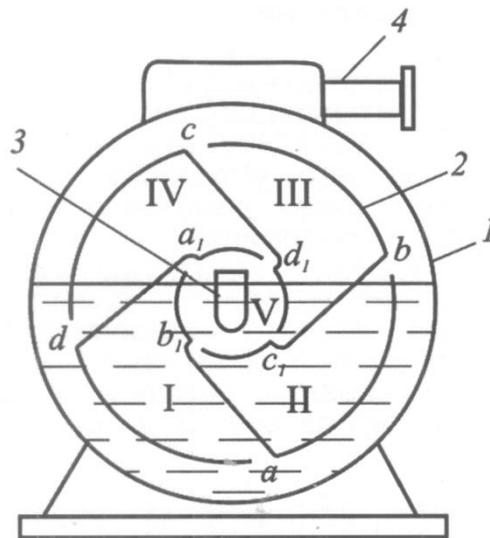


Рис.4.4. Барабанный счетчик:  
1-кожух; 2-барабан;  
3-подающая газ труба;  
4-отводящая газ труба;  
I-V - камеры

В герметичном цилиндрическом кожухе 1, заполненном несколько более, чем наполовину затворной жидкостью, вращается концентрично расположенный барабан 2, разделенный четырьмя радиальными и одной цилиндрической перегородками на пять камер I-V. Камеры I-IV сообщаются с пространством кожуха 1 щелями  $a$ ,  $b$ ,  $c$ , и  $d$  внутренней камерой V через щели  $a_1$ ,  $b_1$ ,  $c_1$  и  $d_1$ .

В камеру V через полую ось входит подающая газ труба 3, а в верхней части кожуха установлена отводящая труба 4. Радиальные перегородки и соединяющие щели расположены так, что газ последовательно заполняет камеры I - IV. Перепад давлений в трубах 3 и 4 заставляет барабан вращаться по часовой стрелке. Входная и выходная щели каждой камеры никогда не могут быть одновременно над уровнем жидкости, следовательно, прямой переток газа из трубы 3 в трубу 4 исключается. Каждая камера заполняется определенным постоянным объемом газа, вытесняемым из камеры в кожух прибора при выходе выпускной щели из под уровня запирающей жидкости. Вращение

барабана 2 передается счетному механизму, расположенному снаружи кожуха. За один оборот через барабан «проходит объем газа, равный сумме объемов камер, отсекаемых жидкостью. Запирающей жидкостью служит обычно вода. В случае опасности замерзания воды используют водный раствор хлорида магния или глицерин. Барабанные счетчики применяют для измерения светильного, газогенераторного, коксового и других нейтральных газов, заметно не растворяющихся в затворной жидкости и не воздействующих на материал счетчика. Обязательным условием работы барабанных газовых счетчиков является постоянство уровня жидкости в кожухе счетчика. Для контроля уровня жидкости счетчик снабжают водомерным стеклом или устройством для поддержания постоянства уровня.

Барабанные счетчики газа представляют собой очень точные приборы, их погрешность не превышает 0,2%. Однако, они редко выпускаются производительностью более 3 м<sup>3</sup>/ч, так как при большой производительности габариты их слишком велики.

### **Ротационные счётчики для газов**

Из счетчиков для газов наиболее распространены ротационные счетчики (рис. 4.5). Они предназначены для измерения больших количеств газа. Счетчик состоит из кожуха 2, внутри которого вращаются на параллельных горизонтальных валах роторы 1.

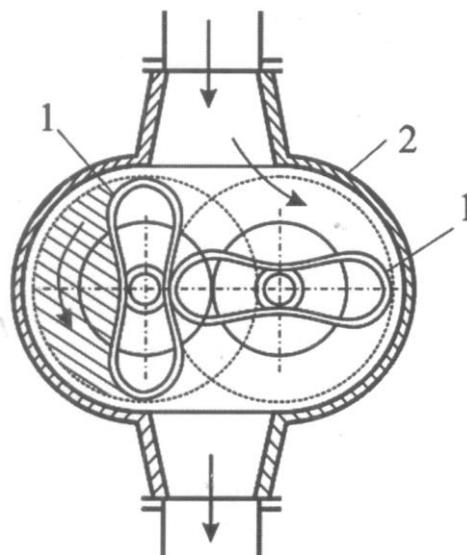


Рис.4.5. Принципиальная схема  
ротационного счетчика:  
1-роторы; 2-кожух

Валы роторов связаны зубчатыми колесами, находящимися вне кожуха. От одного из валов вращение передается счетному механизму. Шарико- или роликоподшипники валов, а также зубчатые колеса находятся в масляных ваннах и заключены в картеры. Тонкий валик, соединяющий вал ротора со счетным механизмом, проходит через сальник в стенке картера. Зазор между роторами и кожухом очень мал (порядка 0,12 мм).

В положении, изображенном на схеме, правый ротор не вращается под действием газа (давления на обе стороны ротора одинаковые). На верхнюю часть левого ротора действует газ с более высоким давлением, чем на нижнюю; левый ротор поворачивается, увлекая за собой правый. Когда правый ротор стоит вертикально (а левый горизонтально), то он поворачивает левый. За один оборот обоих роторов объем газа, прошедшего через прибор, равен объему измерительной камеры

счетчика. Перепад давлений газа в счетчике контролируется дифференциальным манометром.

Ротационные счетчики применяют для измерения расхода газа от 40 до 10 000 м<sup>3</sup>/ч. Погрешность измерений составляет  $\pm 2-3$  %. Счетчик допускает кратковременную перегрузку до 30 %.

### 3. Насосы - дозаторы

Насосы-дозаторы с возвратно-поступательным движением поршня (рис.4.6) служат для дозирования различных химически активных жидкостей.

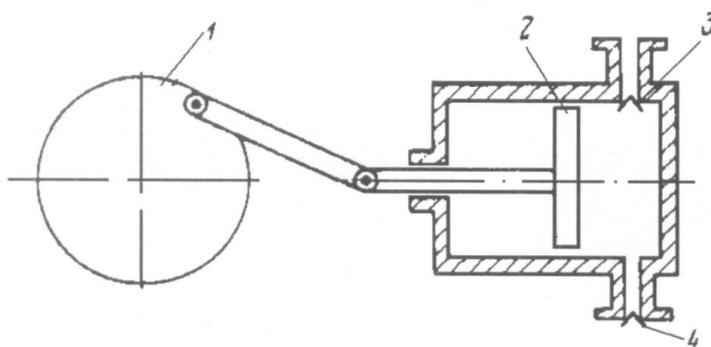


Рис.4.6 Насос-дозатор:

- 1-привод; 2-поршень;
- 3-входной клапан;
- 4-выходной клапан

На всасывающей и нагнетательной линиях этих насосов установлены клапаны. Когда привод 1 перемещает поршень 2 справа налево, происходит наполнение цилиндра через входной клапан 3, а когда поршень, достигнув крайнего положения, перемещается слева направо, клапан 3 на входе закрывается, а клапан 4 на выходе открывается, и жидкость вытеснится в приемное устройство.

## **ЛЕКЦИЯ по теме № 2.5.2. Измерение расхода жидкости и газа**

### ВОПРОСЫ

1. Расходомеры переменного перепада давления.
3. Средства и методы градуировки и поверки расходоизмерительных систем.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Чистофорова Н.В., Колмогоров А.Г. Технические измерения и приборы. Ч.1. Измерение теплоэнергетических параметров. Учебное пособие. 2008. с. 134-144.
2. Хансуваров К.И., Цейтлин В.Г. Техника измерения давления, расхода, количества и уровня жидкости, газа и пара. Учебное пособие для техникумов. М.: Издательство стандартов, 1990, 287 с. (с. 198-218).

### **1. Расходомеры переменного перепада давления**

Из парка существующих расходомеров более 60% составляют расходомеры переменного перепада давления. Такое широкое их применение объясняется невысокой стоимостью, простотой конструкции и эксплуатации, а также отсутствием необходимости в дорогостоящих образцовых установках для градуировки. Из более чем двухсот типов используемых в мировой практике расходомеров, эти расходомеры являются единственными нормализованными средствами измерения расхода.

Измерение расхода по этому методу основано на изменении потенциальной энергии (статического давления) вещества, протекающего через сужающее устройство в трубопроводе. Сужающим устройством называется техническое устройство, устанавливаемое в измерительном

трубопроводе, со сквозным отверстием для создания перепада давления среды путем уменьшения площади сечения трубопровода (сужения потока).

В измерительной технике в качестве сужающих устройств (первичных преобразователей) используют диафрагмы, сопла, сопла и трубы Вентури.

Диафрагма (рис. 4.8) представляет собой тонкий диск, установленный в трубопроводе так, чтобы отверстие в диске было концентрично внутреннему контуру сечения трубопровода.

При измерении расхода по методу переменного перепада давлений протекающее вещество должно полностью заполнять все сечение трубопровода и сужающего устройства; поток в трубопроводе должен быть практически установившимся; фазовое состояние веществ не должно изменяться при прохождении их через сужающее устройство (жидкость не должна испаряться, пар должен оставаться перегретым и т.п.).

Сужение потока (рис. 4.7) начинается до диафрагмы (сечение I-I); затем на некотором расстоянии за ней (сечение II-II) благодаря действию сил инерции поток сужается до минимального сечения (диаметр  $d_2$ , а далее постепенно расширяется до полного сечения трубопровода. Перед диафрагмой и за ней образуются зоны с вихревым движением, причем зона вихрей за диафрагмой больше, чем перед ней.

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

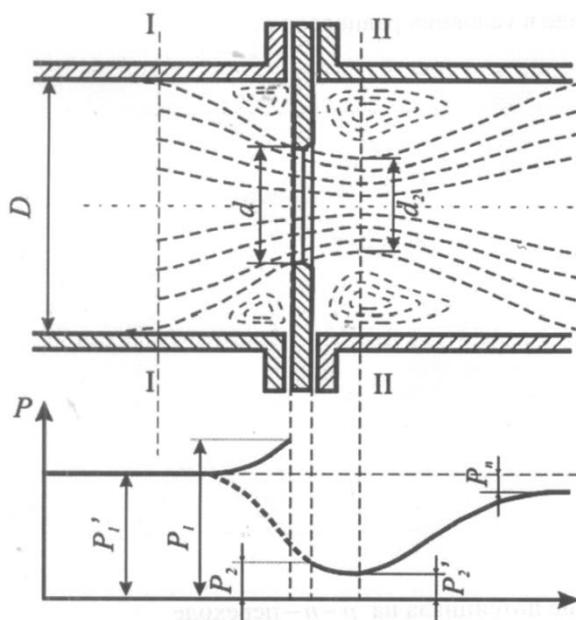


Рис.4.7. Вид потока и изменение давления при прохождении потока через сужающее устройство

Давление потока около стенки трубопровода несколько возрастает до величины  $P_1$  из-за подпора перед диафрагмой и снижается до минимального значения  $P_2'$  за диафрагмой в наиболее узком сечении потока.

Далее, по мере расширения струи, давление потока около стенки снова повышается, но не достигает прежнего значения. Потеря части давления  $P_n$  определяется, главным образом, потерей энергии на трение и завихрения.

Изменение давления потока по оси трубопровода практически совпадает с изменением давления около его стенки, за исключением участка перед диафрагмой и непосредственно в ней, где давление потока по оси трубы снижается (штриховая линия). Разность давлений ( $P_1' - P_2'$ ) является перепадом, зависящим от расхода протекающей через трубопровод среды. По конструктивным соображениям и в виду невозможности практического определения зоны для измерения  $P_2'$  в

расчет принимается перепад давления  $(P_1 - P_2)$ , т.е. непосредственно около стенок трубопровода до и после сужающего устройства.

Компенсация разницы между  $(P'_1 - P'_2)$  и  $(P_1 - P_2)$  достигается введением поправочных коэффициентов.

Теория и основные уравнения метода переменного перепада давлений одинаковы для сужающих устройств всех видов; различаются лишь некоторые коэффициенты в уравнениях, определяемые опытным путем.

Выведем уравнение расхода для случая, когда в трубопроводе установлена диафрагма, и по трубопроводу протекает несжимаемая жидкость, плотность которой  $\rho$  до и после сужения остается неизменной.

Запишем уравнение Бернулли для несжимаемой жидкости при постоянной плотности и отсутствии обмена энергии с окружающей средой с учетом потерь и неравномерности распределения скоростей для сечений I и II горизонтального трубопровода:

$$\frac{P_1}{\rho} + \phi_1 \frac{v_1^2}{2} + \psi_1 \frac{v_1^2}{2} = \frac{P_2}{\rho} + \phi_2 \frac{v_2^2}{2} + \psi_2 \frac{v_2^2}{2} + \xi \frac{v_2^2}{2}, \quad (4.4)$$

где  $v_1, v_2$  - средние скорости потока в сечениях I и II соответственно;  $\phi_1, \phi_2$  - коэффициенты Кориолиса, равные отношению действительной кинетической энергии потока к его средней кинетической энергии в указанных сечениях потока;  $\psi_1, \psi_2$  - доли скоростного напора до и после сужающего устройства, учитывающие разность значений измеренного давления от давления в сечениях I и II;  $\xi \frac{v_2^2}{2}$  - потери кинетической энергии на участке I-II;  $\xi$  - коэффициент сопротивления.

Из условия неразрывности струи следует:

$$S_1 v_1 = S_0 v_0 = S_2 v_2,$$

где  $S_1$ ,  $S_0$ ,  $S_2$  - площади поперечного сечения соответственно трубопровода, отверстия диафрагмы и наиболее суженного места струи.

Отношение  $S_0 / S_1 = \beta^2$  называется относительной площадью сужающего устройства (коэффициент  $\beta = d / D$  называется относительным диаметром отверстия сужающего устройства), а отношение  $S_2 / S_0 = \mu$  - коэффициентом сужения потока.

С учетом этих коэффициентов значения скорости потока  $v_1$  и  $v_2$  через скорость  $v_0$  в отверстии диафрагмы площадью сечения  $S_0$  рассчитываются по формулам:

$$v_1 = v_0 \beta^2, \quad (4.5)$$

$$v_2 = v_0 \mu. \quad (4.6)$$

Подставив (4.5) и (4.6) в уравнение (4.4) и решив его относительно  $v_0$ , получим:

$$v_0 = \frac{\mu}{\sqrt{\phi_2 + \psi_2 + \xi - \phi_1 \beta^4 \mu^2 - \psi_1 \beta^4 \mu^2}} \sqrt{\frac{2}{\rho} (P_1 - P_2)}. \quad (4.7)$$

Подставив (4.7) в уравнение (4.1) для вычисления объемного расхода, получим расход, проходящий через отверстие сужающего устройства

$$Q = S_0 v_0 = S_0 \frac{\mu}{\sqrt{\phi_2 + \psi_2 + \xi - \phi_1 \beta^4 \mu^2 - \psi_1 \beta^4 \mu^2}} \sqrt{\frac{2}{\rho} (P_1 - P_2)}. \quad (4.8)$$

Умножив и разделив правую часть уравнения (4.8) на коэффициент скорости входа

$$E = \sqrt{\frac{1}{1 - (S_0 / S_1)^2}}$$

получим следующее уравнение:

$$Q = S_0 CE \sqrt{\frac{2}{\rho} (P_1 - P_2)},$$

где

$$C = \frac{\mu \sqrt{1 - \beta^4}}{\sqrt{\phi_2 + \psi_2 + \xi - \phi_1 \beta^4 \mu^2 - \psi_1 \beta^4 \mu^2}}$$

называется коэффициентом истечения. Существующие теоретические методы расчета коэффициента истечения, как правило, не обеспечивают достаточную для практики точность. Поэтому значения коэффициентов истечения, стандартизованные в отечественных и зарубежных нормативных документах, являются результатом обработки высокоточных многочисленных экспериментальных исследований.

Произведение  $\alpha = CE$  называется коэффициентом расхода. Коэффициент расхода учитывает неравномерное распределение скоростей по сечению потока, обусловленное вязкостью жидкости и трением о стенки трубопровода, измерение давления не в центре потока, а у стенок трубопровода и введение в уравнение расхода сечения  $S_0$  вместо неопределенного наименьшего сечения струи  $S_2$ . Коэффициент расхода для сужающих устройств различных типов определяют опытным путем.

Уравнение расхода для несжимаемой жидкости в объемных ( $\text{м}^3 / \text{с}$ ) и массовых ( $\text{кг} / \text{с}$ ) единицах будут соответственно иметь вид:

$$Q = \alpha S_0 \sqrt{\frac{2}{\rho} (P_1 - P_2)}; \quad (4.9)$$

$$Q_M = \alpha S_0 \sqrt{2\rho (P_1 - P_2)}. \quad (4.10)$$

При выводе уравнения (4.9) было сделано допущение, что плотность среды при ее течении через сужающее устройство не изменяется. Это

допущение справедливо для несжимаемых сред. Для газов такое допущение может привести к значительной неопределенности результатов измерений. Поэтому, при измерении расхода сжимаемых сред (газов и паров), особенно при больших перепадах давлений в сужающем устройстве, необходимо учитывать уменьшение плотности  $\rho$ , вызванное снижением давления при прохождении через сужающее устройство, поэтому массовый расход (а также объемный), отнесенный к начальному значению  $\rho$ , несколько уменьшится.

Время прохождения газов и паров через сужающее устройство настолько незначительно, что их сжатие и последующее расширение происходит практически без обмена тепла с окружающей средой, т.е. адиабатически. Поэтому уравнения расхода для газов и паров в объемных и массовых долях имеют вид:

$$Q = \alpha s_0 \varepsilon \sqrt{\frac{2}{\rho} (P_1 - P_2)}; \quad (4.11)$$

$$Q_M = \alpha s_0 \varepsilon \sqrt{2\rho (P_1 - P_2)}. \quad (4.12)$$

где  $\varepsilon$  – поправочный множитель на расширение измеряемой среды, называемый коэффициентом расширения;  $\rho_1$  – плотность потока перед входом потока в отверстие сужающего устройства.

Уравнения (4.11) и (4.12) действительны до тех пор, пока скорость потока в сужающем устройстве остается меньше критической, т.е. меньше скорости звука в данной среде. Уравнения расхода для газов и паров отличаются от уравнений расхода для несжимаемой жидкости только коэффициентом  $\varepsilon$ . Значения коэффициента расширения  $\varepsilon$  для различных сужающих устройств и разных случаев измерения даны в справочниках.

### **Стандартные сужающие устройства**

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

Для всех стандартных сужающих устройств коэффициенты расхода в широком диапазоне достаточно достоверны и воспроизводимы, поэтому указанные устройства можно применять без индивидуальной градуировки.

К стандартным (нормализованным) сужающим устройствам относятся диафрагмы (ГОСТ 8.586.2-2005), сопла и сопла Вентури (ГОСТ 8.586.3-2005), а также трубы Вентури (ГОСТ 8.586.4-2005).

**Стандартные диафрагмы** (рис. 4.8) являются самым распространенным типом сужающего устройства.

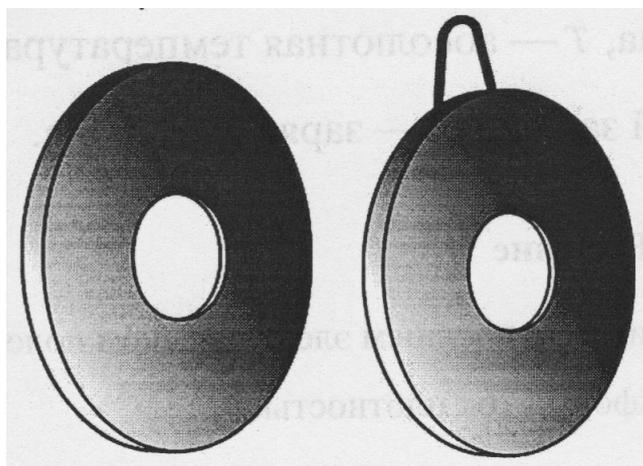


Рис. 4.8. Диафрагмы:

а – камерная; б – бескамерная

Она представляет собой тонкий металлический диск с круглым концентрическим отверстием, которое имеет со стороны входа острую цилиндрическую кромку, а далее расточено под углом  $\varphi = 30 - 60^\circ$ . Диафрагмы бывают двух основных типов: камерные (рис. 4.8, а) и бескамерные (рис. 4.8, б). Бескамерные диафрагмы отличаются от камерных отсутствием кольцевых камер, а также наличием металлического ушка, приваренного к боковой поверхности диска.

Камерные диафрагмы используются для трубопроводов с условным диаметром  $D_y$  от 50 до 500 мм, а бескамерные – от 300 до 1000 мм.

Камерная диафрагма состоит из диска и корпусов кольцевых камер (рис. 4.9), служащих для замера статического давления.

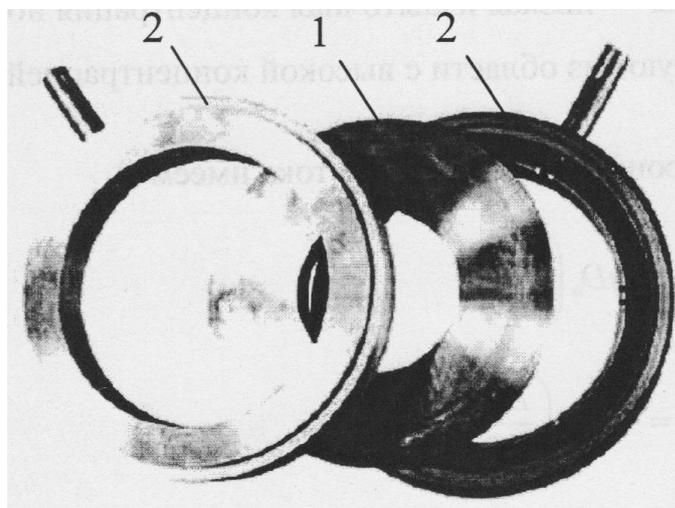


Рис. 4.9. Камерная диафрагма:

1 – диск; 2 – кольцевые камеры

Поперечное сечение в осевой плоскости стандартной камерной диафрагмы приведено на рис. 4.10.

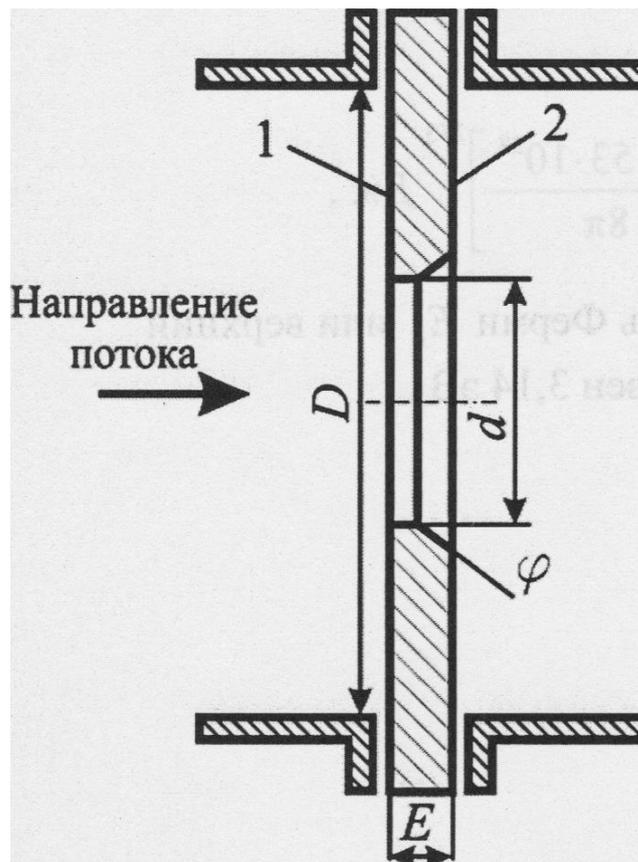


Рис. 4.10. Сечение диафрагмы:

1– входной торец диафрагмы; 2. выходной торец диафрагмы

Толщина диафрагмы  $E$  не должна превышать  $0,05 D$ , где  $D$  – диаметр трубопровода. Диаметр отверстия диафрагмы  $d$  должен быть больше 12,5 мм. Определение этого диаметра – сложная расчетная процедура, определяемая ГОСТом.

Диафрагму можно изготавливать из любых материалов, при выборе которых следует учитывать свойства контролируемой среды. Разъедание (притупление) острой входной кромки резко изменяет коэффициент  $\varphi$ , измерения становятся неточными. Наиболее подходящие материалы – нержавеющие стали (например, 12X18H9Т).

При измерении расхода газов и жидкостей допускается применять как угловой (рис. 4.11,а), так и фланцевый (рис. 4.11,б) способы отбора перепада давления на диафрагмах.

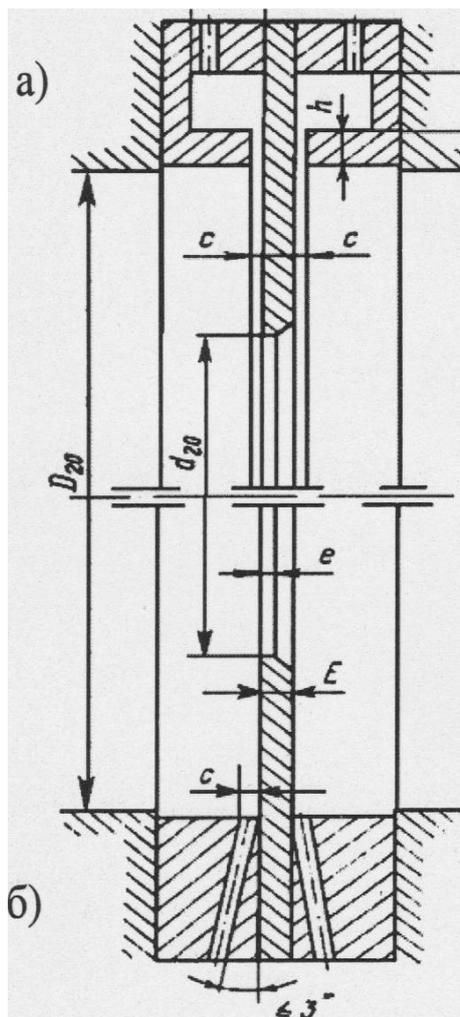


Рис. 4.11. Отбор давления:

а– диафрагма с фланцевым способом отбора давления; б– диафрагма с угловым способом отбора давления

Перепад давлений при фланцевом способе отбора следует измерять через отдельные цилиндрические отверстия.

Допустимые интервалы диаметров трубопроводов  $D$  и коэффициента  $\beta$  для диафрагм должны находиться в следующих пределах:  $50 \text{ мм} \leq D \leq 1000 \text{ мм}$ ; при  $0,1 \leq m \leq 0,75$ .

В случае измерения расхода газа отношение абсолютных давлений на выходе из сужающего устройства и входе в него должно быть больше или равно 0,75.

**Стандартное сопло** (рис. 4.12) – тип стандартного сужающего устройства, имеющего плавно сужающуюся часть на входе, переходящую на выходе в горловину. Сопла могут применяться без индивидуальной градуировки в трубопроводах  $50 \text{ мм} \leq D \leq 630 \text{ мм}$ , при условии, что  $0,2 \leq \beta \leq 0,65$ .

Сопло особенно удобно при измерении расхода газов и перегретого пара, если  $((P_1 - P_2) / P_1) < 0,1$ , а также для измерения расхода пара высокого давления и агрессивных газов в трубопроводах диаметром  $D < 200 \text{ мм}$ .

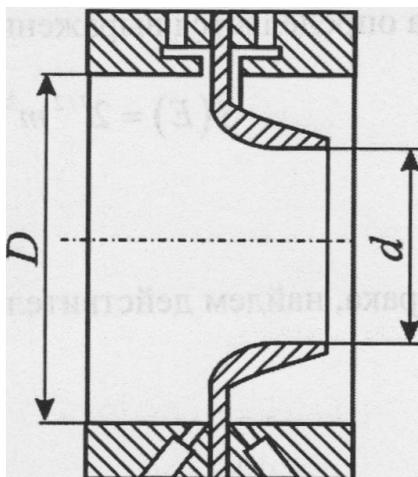


Рис. 4.12. Стандартное сопло

По сравнению с диафрагмами они менее чувствительны к коррозии, загрязнениям и обеспечивают несколько большую точность измерения.

Профильная часть отверстия сопла должна быть выполнена с плавным сопряжением дуг. Поверхность входной части сопла не должна быть шероховатой; для цилиндрической части исключается конусность. Выходная кромка цилиндрической части отверстия должна быть острой, без заусенцев, фаски или закругления. Для изготовления сопел обычно применяют те же материалы, что и для диафрагм.

Стандартное **сопло Вентури** (рис. 4.13) – сопло, которое состоит из

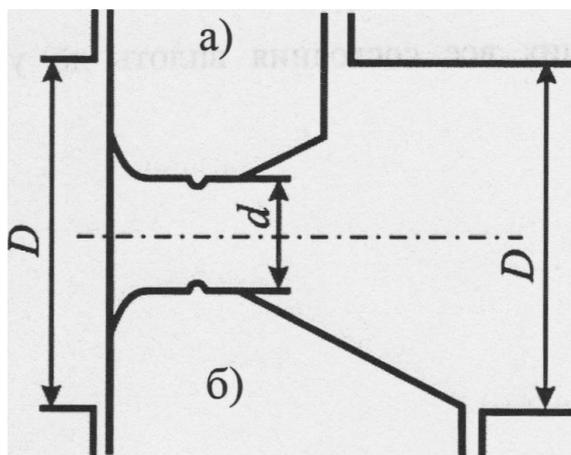


Рис. 4.13. Сопло Вентури: а– короткое; б – длинное

входной части в виде сопла, горловины и выходной части в виде расходящегося конуса (диффузора).

Они могут применяться без индивидуальной градуировки для диаметров трубопроводов  $65 \text{ мм} \leq D \leq 500 \text{ мм}$ , при  $0,316 \leq \beta \leq 0,775$  и при  $d \geq 50 \text{ мм}$ .

Сопло Вентури состоит из профильной входной части, цилиндрической средней части и выходного конуса. Сопло Вентури может быть длинным и коротким: у первого наибольший диаметр выходного конуса равен диаметру трубопровода, у второго – меньше. Перепад давлений следует измерять через кольцевые камеры.

Стандартные **трубы Вентури** (рис.4.14) можно применять в трубопроводах диаметром от 50 до 1200 мм при условии, что  $0,3 \leq \beta \leq 0,75$ . Труба Вентури называется длинной, если наибольший диаметр выходного конуса равен диаметру трубопровода, или короткой, если указанный диаметр меньше диаметра трубопровода.

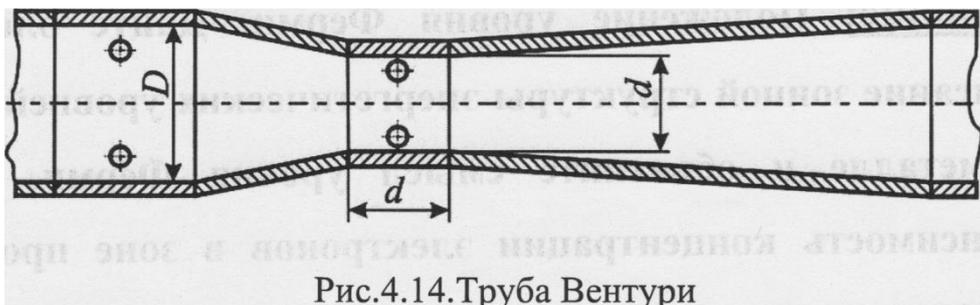


Рис.4.14. Труба Вентури

Давление в горловине и входном патрубке следует отбирать через отверстия в стенках и через усредняющие камеры.

К преимуществам труб Вентури следует отнести меньшую потерю давления по сравнению с потерями в сужающих устройствах других типов.

### Комплектация расходомера

Расходомер переменного перепада давления (рис. 4.15) состоит из следующих основных частей: измерительных участков трубопровода 1 до и после сужающего устройства, сужающего устройства 2, импульсных линий 3, служащих для соединения с дифманометром измерительных участков трубопровода, дифференциального манометра 4.

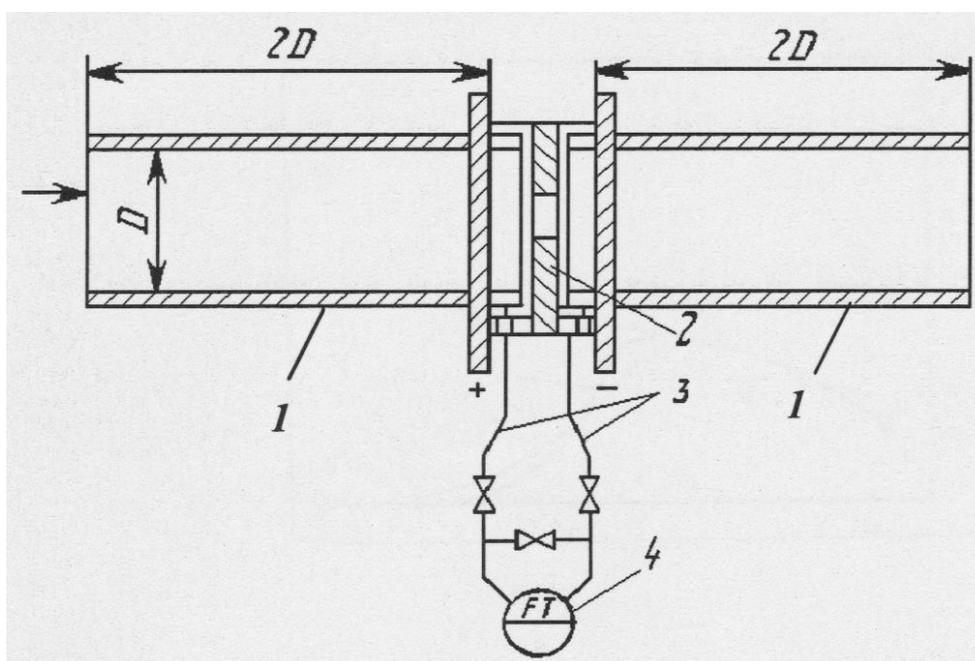


Рис. 4.15. Комплектация расходомера переменного перепада давления:

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

1 – участок трубопровода; 2 – сужающее устройство; 3 – импульсные линии; 4 – дифференциальный манометр

Требования к исполнению монтажа измерительных участков трубопровода изложены в ГОСТ 8.586.1-5-2005. В них устанавливаются требования к выполнению расходомерных устройств при их разработке, проектировании, монтаже, эксплуатации и поверке.

Расходомерные дифманометры обычно устанавливаются совместно с диафрагмами, перепад давления на которых однозначно связан с расходом среды.

Заполнение дифманометра уравнивающей жидкостью, его монтаж и подключение к соединительным линиям для измерения перепада давлений на сужающем устройстве следует производить в соответствии с руководством по монтажу и эксплуатации прибора.

Выбор дифманометра по параметрам окружающей среды и его применения для заданных рабочих условий измерения расхода должны соответствовать требованиям технической документации завода-изготовителя.

Допускается подключение к одному сужающему устройству двух и более дифманометров; при применении интегрирующих дифманометров одновременная их работа не допускается. Допускается подключение соединительных линий одного дифманометра к соединительным линиям другого дифманометра и подключение манометра к "плюсовой" импульсной линии дифманометра, если это не оказывает влияния на процесс измерения. Соединительные линии для подключения элементов телемеханики должны быть проложены отдельно от других соединительных линий по кратчайшему расстоянию вертикально или с уклоном к горизонтали не менее 1:10. Длина линий не должна превышать наибольшей допустимой длины, указанной в руководстве по монтажу и

эксплуатации дифманометра. Соединительные линии должны быть защищены от действия внешних источников тепла или холода.

При измерении расхода горячего вещества ( $t \geq 100^\circ C$ ) необходимо обеспечить равенство температур в обеих соединительных линиях. Соединительные линии должны прокладываться таким образом, чтобы исключить в них скопление воздушных пузырьков (при измерении расхода жидкости) и конденсата (при измерении расхода газа или пара). Для этих целей на соединительных линиях рекомендуется устанавливать газосборник или отстойные сосуды). При измерении расхода агрессивных средств передача измеряемого давления должна осуществляться через разделительную жидкость, заливаемую в дифманометр. Жидкость служит для защиты внутренних полостей дифманометров от воздействия измеряемой среды. В этом случае на участках соединительных линий между дифманометром и сужающим устройством подключают разделительные сосуды.

## **2. Средства и методы градуировки и поверки расходоизмерительных систем**

### **2.3. Основы градуировки и поверки расходомеров**

**Основы градуировки расходомеров.** Между измеряемым расходом  $Q(M)$  и показаниями  $\Pi$  любого расходомера существует зависимость, характеризуемая его уравнением измерений (статической характеристикой преобразования). В общем случае коэффициенты, входящие в эти уравнения, зависят как от конструктивных параметров расходомеров, так и от физико-химических свойств измеряемой среды. В

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

подавляющем большинстве случаев рассчитать с достаточной для практических целей точностью значения этих коэффициентов аналитическим путем невозможно. Кроме того, из-за отсутствия полного геометрического подобия элементов эти коэффициенты различны для разных расходомеров одной конструкции и одного типоразмера (исключения составляют лишь стандартизированные типы расходомеров переменного перепада давления, для которых геометрическое подобие, а следовательно, и возможность косвенной градуировки обеспечивается стандартизированной технологией изготовления и производственного контроля сужающих устройств). Поэтому большинство существующих расходомеров индивидуально градуируют с помощью описанных выше расходомерных установок.

Целью градуировки является количественное определение зависимости между измеряемым расходом и показаниями расходомера и представления этой зависимости в виде уравнения, таблицы, графика или оцифрованных в единицах расхода делений шкалы градуируемого расходомера.

Процесс градуировки состоит в следующем: регулировочным устройством устанавливают определенный расход на установке, затем одновременно точно измеряют расход на установке и снимают показания градуируемого расходомера. Эту операцию повторяют многократно на различных расходах.

Имея совокупность определенных на установке расходов и соответствующих им показаний расходомера, можно определить искомую градуировочную зависимость и аппроксимировать значения расхода на всю шкалу прибора и весь диапазон измерений.

Поскольку вид градуировочной зависимости, как правило, известен, он характеризуется уравнением измерений расходомера; необходимые для количественной оценки и аппроксимации расчеты проводят способом наименьших квадратов.

Число расходов, на которых градуируют расходомер, обычно выбирают равным 10 (через каждые 10% верхнего предела измерений расходомера). В этом случае предельная погрешность полученной градуировочной зависимости

$$\delta_r = \pm 3 \sqrt{\frac{1}{10-n} \sum_1^{10} \left[ \frac{f(P_i) - Q_i}{Q_i} \right]^2} + \frac{\delta_y^2}{3}, \quad (P=0,997) \quad (8.11)$$

где  $n$  – число неизвестных коэффициентов, которые определялись при градуировке;  $\delta_y$  – погрешность градуировочной установки, оцененная при ее метрологической аттестации.

Для индивидуально градуируемых приборов (каковыми являются расходомеры) процедура градуировки (нахождение числа градуировочных точек, их номинальных значений, числа измерений на каждой точке, характеристик средств градуировки) должна регламентироваться в нормативно-технической документации на эти приборы.

**Основы поверки расходомеров.** Существуют два технологических процесса поверки расходомеров: поверка на образцовых расходомерных установках и поэлементная поверка.

На образцовых расходомерных установках осуществляется поверка индивидуальных градуируемых расходомеров. Процесс поверки при этом сводится к сравнению расхода  $Q_d$ , измеренного с помощью установки, с

показаниями расходомера (при этом же расходе)  $Q_p$ , определенными по шкале прибора или по его градуировочной зависимости  $f(H)$ .

Если значения разности  $(Q-Q_d)$  на всех поверяемых точках (поверочных значениях расхода) не превосходит определенного нормированного классом точности или предельной относительной погрешностью расходомера значения, результаты поверки считают положительными, а прибор – пригодным для использования. В противном случае, прибор необходимо переградуировать.

Процедура и методика проведения поверочных операций (определение числа и значения поверяемых точек, числа измерений на каждой точке, точность средств поверки и др.) определяются поверочной схемой, точностью поверяемого расходомера, допустимыми вероятностями брака поверки (вероятностью забраковать заведомо годный прибор и вероятностью пропустить негодный прибор) и регламентируются в соответствующей нормативно-технической документации.

Поэлементный способ применяют при поверке расходомеров переменного перепада давления. При этом методе образцовые расходомерные установки не нужны; сужающее устройство и дифманометр поверяют отдельно.

При поверке сужающего устройства необходимо:

- проверить правильность расчета сужающего устройства;
- убедившись в правильности расчета, измерить диаметр сужающего устройства. Диаметр цилиндрической части отверстия диафрагмы измеряют не менее, чем в четырех диаметральных направлениях, а сопла и сопла Вентури – в двух поперечных сечениях и не менее,

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

чем в четырех диаметральных направлениях. Погрешность измерений не должна превышать  $1/3$  допуска на диаметр;

- проверить соответствие действительного (измеренного) диаметра сужающего устройства расчетному;
- установить нормальное техническое состояние сужающего устройства, т.е. проверить остроту входной кромки диафрагмы или геометрию профильной части отверстия сопла, плоскостность входного торца и чистоту поверхностей сужающего устройства и установить отсутствие заусенцев и зазубрин на кромках входного отверстия.

Для проверки дифманометров используют различные образцовые манометрические устройства и установки.

## **ЛЕКЦИЯ по теме № 2.5.3. Измерение расхода жидкости и газа**

### ВОПРОСЫ

1. Расходомеры постоянного перепада давления.
2. Электромагнитные и ультразвуковые расходомеры.
3. Методы и средства поверки счетчиков количества жидкостей.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Чистофорова Н.В., Колмогоров А.Г. Технические измерения и приборы. Ч.1. Измерение теплоэнергетических параметров. Учебное пособие. 2008. с. 144-151.
2. Хансуваров К.И., Цейтлин В.Г. Техника измерения давления, расхода, количества и уровня жидкости, газа и пара. Учебное пособие для техникумов. М.: Издательство стандартов, 1990, 287 с. (с. 240-253).

### **1. Расходомеры постоянного перепада давления**

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

Наиболее распространенными приборами этой группы являются расходомеры со свободно перемещающимся в корпусе поплавком (ротаметры). Принципиальная схема ротаметра показана на рис. 4.16.

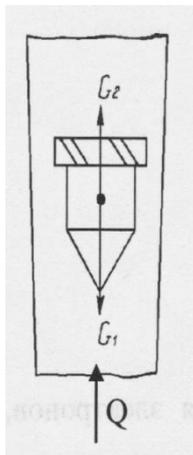


Рис. 4.16. Принципиальная схема ротаметра

Проходящий через ротаметр снизу поток жидкости или газа поднимает поплавок вверх до тех пор, пока расширяющаяся кольцевая щель между телом поплавка и стенками конусной трубки не достигнет такой величины, при которой действующие на поплавок силы уравновешиваются, и он останавливается на той или иной высоте, в зависимости от величины расхода. При неизменном расходе поплавок неподвижен.

В работающем ротаметре поплавок полностью погружен в измеряемую среду. Вес погруженного поплавка  $G_1$  определяется уравнением:

$$G_1 = V_{\text{п}} g (\rho_{\text{п}} - \rho_{\text{с}}), \quad (4.13)$$

где  $V_{\text{п}}$  – объем поплавка;  $\rho_{\text{п}}$  – и  $\rho_{\text{с}}$  – плотности материала поплавка и измеряемой среды соответственно;  $g$  – ускорение свободного падения.

Сила  $G_2$ , действующая на поплавок со стороны измеряемого потока, равна

$$G_2 = (P_1 - P_2) F_0, \quad (4.14)$$

где  $P_1$  и  $P_2$  – давления среды перед поплавком и за ним;  $F_0$  – наибольшее поперечное сечение поплавка.

В состоянии равновесия (поплавок неподвижен)  $G_1 = G_2$ , т.е.

$$V_{\text{п}} g (\rho_{\text{п}} - \rho_{\text{с}}) = (P_1 - P_2) F_0 \quad (4.15)$$

или

$$(P_1 - P_2) = V_{\Pi} g (\rho_{\Pi} - \rho_c) / F_o. \quad (4.16)$$

Из полученного уравнения видно, что независимо от положения поплавка перепад давлений на нем постоянен и не зависит от измеряемого расхода. Это объясняется постоянством скорости измеряемой среды при изменении ее расхода, что обусловлено изменением площади кольцевого зазора между поплавком и трубкой. Уравнение для объемного расхода можно представить в виде:

$$Q = \alpha S_{\kappa} \sqrt{\frac{2V_{\Pi} g (\rho_{\Pi} - \rho_c)}{\rho_c F_o}}, \quad (4.17)$$

где  $\alpha$  – коэффициент расхода, учитывающий особенности потока;  $S_{\kappa}$  – площадь кольцевого зазора между трубкой и боковой поверхностью поплавка.

Так как величины под корнем в уравнении (4.17) практически постоянны, то их можно заменить коэффициентом  $K$ , тогда

$$Q = \alpha S_{\kappa} K,$$

т.е. эта зависимость линейна, поэтому шкала ротометра равномерная.

Ротометры выполняют со стеклянной или металлической трубкой. На рис. 4.17 показан ротаметр со стеклянной конической трубкой 1, закрепленной в двух металлических головках 2 и 3, снабженных сальниками и фланцами для включения в вертикальный участок трубопровода.

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

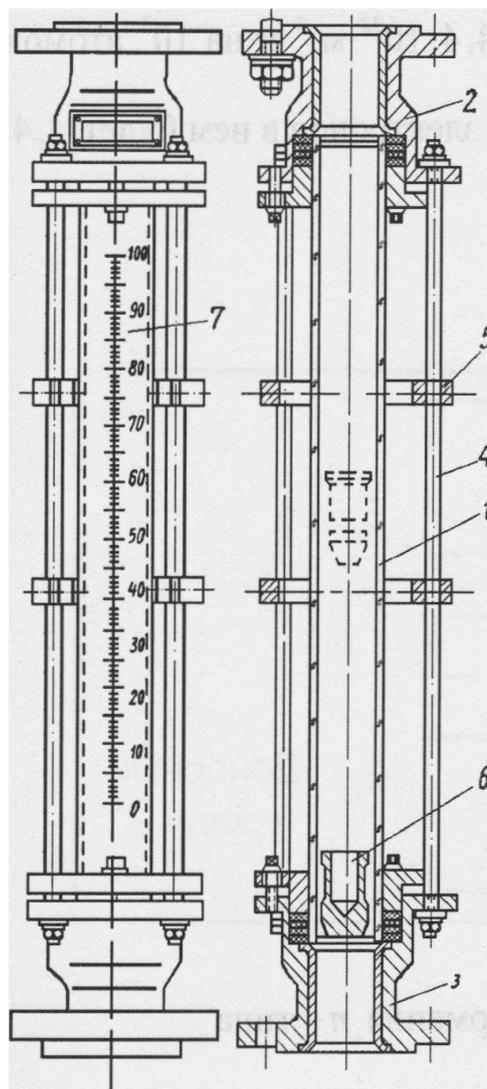


Рис. 4.17. Стекланный ротаметр: 1– полая коническая трубка; 2,3 – металлические головки; 4 – тяги; 5 – поперечены; 6 – поплавок; 7 – шкала

Головки стянуты одна с другой несколькими тягами 4, образующими вместе с поперечными 5 защитную решетку вокруг стеклянной трубки. Внутри трубки свободно перемещается поплавок 6, имеющий форму волчка. В нижней головке находится седло, на которое опускается поплавок при прекращении потока. Верхняя головка снабжена ограничителем хода поплавка. Седло и ограничитель хода не позволяет поплавку выйти за пределы стеклянной трубки. Шкала 7 прибора вытравлена на верхней горизонтальной плоскости поплавка. В верхней части поплавка делают косые прорезы, которые позволяют поплавку вращаться вокруг вертикальной оси. При вращении поплавков центрируется внутри трубки, не соприкасаясь со стенками, его

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

чувствительность повышается. Ротаметры со стеклянной трубкой изготавливают на давление, не превышающее 600 КПа. При более высоком давлении измеряемой среды, а также для измерения расхода пара применяют ротаметры с металлической трубкой.

На рис. 4.18 приведена принципиальная схема ротаметра с электрической дифференциально-трансформаторной системой передачи показаний на расстояние.

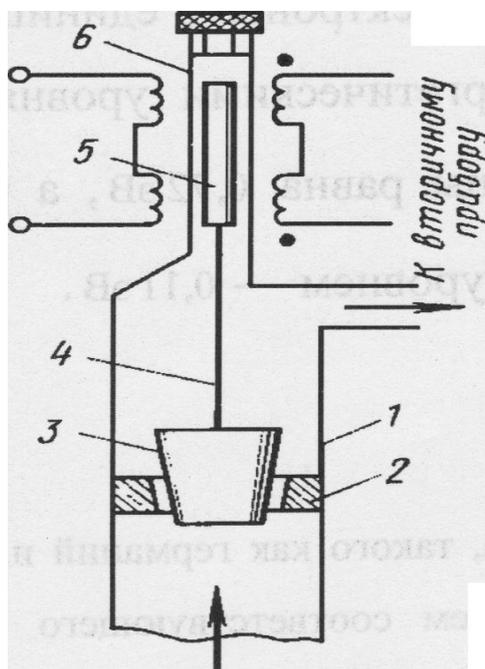


Рис. 4.18. Ротаметр с электрической дифференциально-трансформаторной системой передачи показаний: 1 – цилиндр; 2 – диафрагма; 3 – поплавок; 4 – шток; 5 – сердечник; 6 – разделительная трубка

Ротаметры изготавливают на рабочее давление 6,2 МПа. Основная погрешность комплекта (преобразователя и вторичного прибора) составляет 3% от верхнего предела измерения.

## 2. Электромагнитные и ультразвуковые расходомеры

### Электромагнитные расходомеры

Расходомеры данного типа относятся к бесконтактным, т.е. в них отсутствует контакт измеряемой среды с узлами прибора. Эти расходомеры подразделяются на приборы с электромагнитными преобразователями скорости потока.

Приборы с электромагнитным преобразователем расхода основаны на взаимодействии движущейся жидкости с магнитным полем. Это взаимодействие

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

подчиняется закону Фарадея, согласно которому в жидкости, пересекающей магнитное поле, индуцируется ЭДС, пропорциональная скорости движения жидкости.

Принципиальная схема электромагнитного расходомера показана на рис. 4.19.

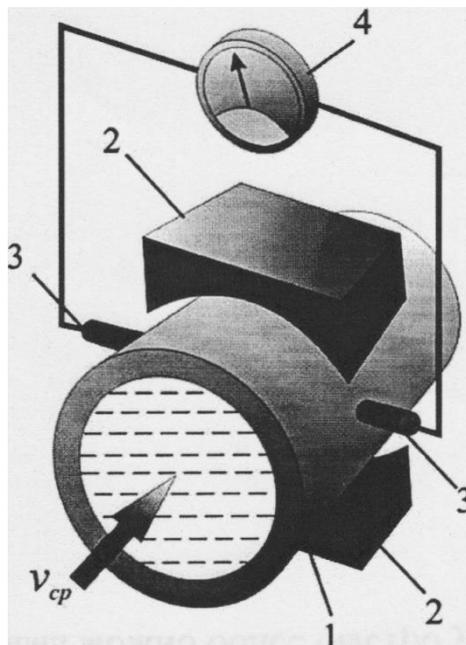


Рис. 4.19. Электромагнитный расходомер: 1 – трубопровод; 2 – катушка индуктивности; 3 – электроды; 4 – измерительный прибор

Трубопровод 1 с перемещающейся в нем электропроводной жидкостью помещен в магнитное поле, создаваемое двумя катушками индуктивности (индукторами) 2. В стенки трубопровода диаметрально противоположно в одном поперечном сечении введены электроды 3 (заподлицо с внутренним диаметром трубы). К электродам подключают какой-либо высокочувствительный измерительный прибор 4, шкала которого градуирована в единицах скорости или единицах расхода.

Трубопровод изготавливают из изоляционного материала, для этой цели используют фторопласт, эбонит, резину и другие материалы в зависимости от свойств измеряемой жидкости.

Известно, что в движущемся проводнике, пересекающем силовые линии постоянного магнитного поля, индуцируется ЭДС, величина которой определяется по формуле:

$$E = Blv, \quad (4.18)$$

где  $E$  – индуцируемая в проводнике ЭДС;  $B$  – магнитная индукция;  $l$  – длина проводника;  $v$  – скорость движения проводника.

В случае измерения расхода жидкости можно записать

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

$$E = BDv_{\text{cp}}, \quad (4.19)$$

где  $D$  – внутренний диаметр трубопровода;  $v_{\text{cp}}$  – средняя скорость протекания жидкости через поперечное сечение трубы в зоне индуцируемой ЭДС.

Выразив скорость через объемный расход  $Q$ , получим (для трубопровода круглого сечения)

$$E = \frac{4BQ}{\pi D}. \quad (4.20)$$

Из этой формулы следует, что при однородном магнитном поле ЭДС прямо пропорциональна объемному расходу.

Следовательно, электромагнитный расходомер является по существу генератором, в котором проводником, перемещающимся в магнитном поле, служит электропроводящая жидкость. Проводимость жидкости должна быть не ниже  $10^{-5} - 10^{-6}$  См, что соответствует проводимости водопроводной воды.

Существенные и основные недостатки электромагнитных расходомеров с постоянным магнитным полем: возникновение на электродах гальванической ЭДС и ЭДС поляризации затрудняют или делают невозможным правильное измерение ЭДС, индуцируемой магнитным полем в двигающейся жидкости. Другим недостатком расходомеров с постоянным магнитным полем является трудность усиления напряжения постоянного тока. В связи с этим расходомеры с постоянным магнитным полем применяют лишь при измерении расхода жидких металлов, пульсирующих потоков жидкости и при кратковременных измерениях, когда поляризация не успевает оказать заметного влияния.

В настоящее время в подавляющем большинстве электромагнитных расходомеров применяют переменное магнитное поле. Если магнитное поле изменяется во времени  $t$  с частотой  $f$ , то для трубопроводов круглого сечения ЭДС равна

$$E = \frac{4BQ}{\pi D} B_{\text{max}} \sin \omega t, \quad (4.21)$$

где  $B_{\text{max}} = B / \sin \omega t$  – амплитудное значение магнитной индукции;  $\omega = 2\pi f$  – круговая частота.

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

При переменном магнитном поле электрохимические процессы оказывают меньшее влияние, чем при постоянном.

В современных электромагнитных расходомерах для усиления сигнала, снимаемого с преобразователя, используют электронный усилитель с большим входным сопротивлением. При этом условии в большинстве случаев измерение сопротивления преобразователя при изменении параметров контролируемой среды не сказывается на показаниях. Это важное преимущество электромагнитных расходомеров.

В расходомерах с переменным магнитным полем возникают помехи, как в преобразователе, так и вне его. В основном на погрешность измерения влияют помехи: паразитные от внешних цепей; емкостные от переменного тока, питающего электромагнит; индукционные ("трансформаторные") от магнитного поля преобразователя. Первые две помехи удастся устранить экранированием прибора.

Для исключения трансформаторной ЭДС используют различные способы. Один из способов заключается в применении двух индукционных преобразователей (с самостоятельными магнитами), включенных таким образом, что магнитные поля в них направлены в противоположные стороны. Дополнительные ЭДС взаимной индукции при этом (как разные по величине и по фазе, но противоположные по направлению) взаимно уничтожаются в первичной обмотке выходного трансформатора.

Комплект общепромышленного электромагнитного расходомера (ЭМР) состоит из преобразователя расхода и измерительного блока. Конструктивно преобразователь включает два узла – трубу и электромагнит. Преобразователь содержит также контур для подавления трансформаторной ЭДС.

Электромагнитные расходомеры имеют ряд преимуществ. Прежде всего, они практически безинерционны, что очень важно при измерении быстроизменяющихся расходов и при использовании их в системах автоматического регулирования. Результат измерения не зависит от наличия взвешенных частиц в жидкости и пузырьков газа.

Измерения в достаточной степени независимы от профиля потока и таких свойств среды, как давление, температура, вязкость, плотность, состав, электропроводность и загрязнение электродов. В расходомере отсутствуют потери давления, отсутствуют движущиеся части.

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

Вследствие линейной зависимости возникающей ЭДС от расхода шкала вторичного прибора линейна. Электромагнитные расходомеры обеспечивают измерение расхода в интервале 0,002 – 300000 м<sup>3</sup>/ч и более при трубопроводах с внутренним диаметром от 3 до 3000 мм.

**Ультразвуковые расходомеры**

Ультразвуковой (частота выше 20 КГц) метод измерения расхода основан на явлении смещения звукового колебания движущейся жидкой или газообразной средой. Измерение расхода, в основном, осуществляется путем косвенных измерений следующих величин:

- 1) разности времен  $\Delta t$  (временной импульсный метод) прохождения ультразвуковых импульсов по потоку и против него;
- 2) разности фаз  $\Delta \varphi$  (фазовый метод) между ультразвуковыми колебаниями, распространяющимися по потоку и против него;
- 3) разности частот  $\Delta f$  (частотный метод) двух автогенераторов, в качестве элемента обратной связи которых используется контролируемая среда.

Современные расходомеры, как правило, реализуют временной импульсный метод. На рис.4.20 представлена принципиальная схема измерения расхода ультразвуковым расходомером, использующим временной импульсный метод.

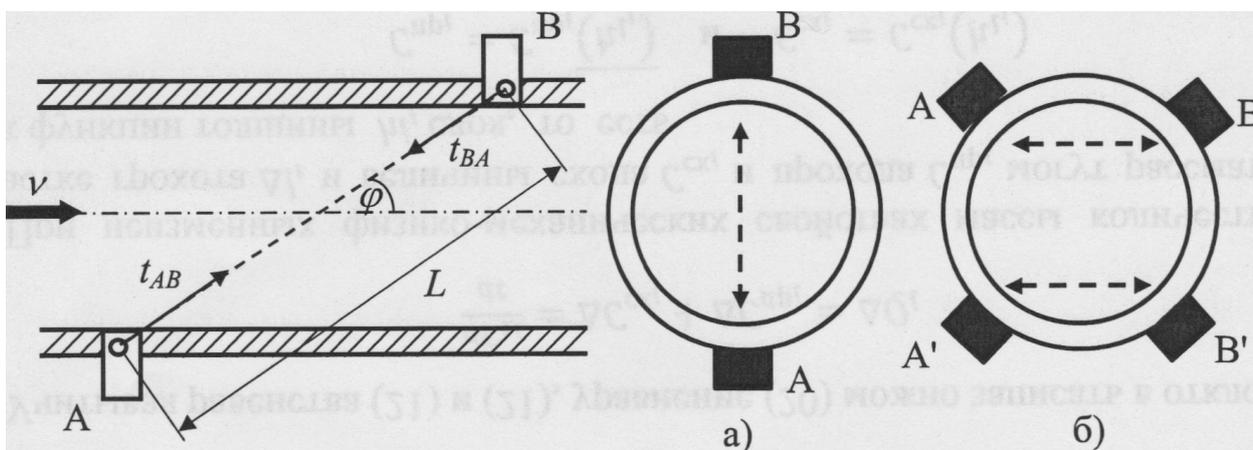


Рис.4.20. Схема измерения ультразвуковым расходомером: а - с двумя преобразователями; б - с четырьмя преобразователями

Расходомер включает в себя два (рис.4.20, а) или четыре (рис.4.20, б) электроакустических приемопередающих преобразователя А (А') и В (В'), монтируемых с внешней стороны трубопровода. Преобразователи работают как в

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

режиме источника ультразвукового сигнала, так и в режиме приемника. Расстояние между преобразователями равно  $L$ .

Если ультразвуковые колебания распространяются по направлению скорости потока  $v$ , то они проходят расстояние  $L$  за время

$$t_{AB} = \frac{L}{(a+v)} = \frac{L}{a} \frac{1}{(1+v/a)}, \quad (4.22)$$

где  $a$  – скорость звука в данной среде.

При распространении колебаний против скорости потока

$$t_{BA} = \frac{L}{(a-v)} = \frac{L}{a} \frac{1}{(1-v/a)}. \quad (4.23)$$

Отношение  $v/a$  весьма мало по сравнению с единицей (для жидкостей  $a \approx 1000-1500$  м/сек,  $v \approx 3-4$  м/сек), поэтому с большой степенью точности можно принять:

$$t_{AB} = \frac{L}{a} \left(1 - \frac{v}{a}\right) = \frac{L}{a} - \frac{Lv}{a^2}; \quad (4.24)$$

$$t_{BA} = \frac{L}{a} \left(1 + \frac{v}{a}\right) = \frac{L}{a} + \frac{Lv}{a^2}. \quad (4.25)$$

В ультразвуковых расходомерах фиксируется разность времени

$$\Delta t = t_{BA} - t_{AB}.$$

Из уравнений (4.24) и (4.25):

$$\Delta t = t_{BA} - t_{AB} = \frac{2Lv}{a^2}. \quad (4.26)$$

Эта разность времен прохождения импульсов по потоку и против потока является мерой расхода.

Ультразвуковые расходомеры предназначены для измерения расхода почти всех продуктов, будь то жидкости или газы, агрессивные или коррозионные. Единственным условием является отсутствие в потоке большого количества твердых и газовых включений.

Измерение не зависит от электропроводности, вязкости, температуры, плотности и давления среды. Полнопроходное сечение исключает накопление отложений, потери давления и износ.

### 3. Методы и средства поверки счетчиков количества жидкостей

#### 10.3. Основы поверки счетчиков количества жидкостей

Метрологическая часть поверки счетчиков состоит в определении относительных погрешностей их показаний по формуле

$$\delta = \left[ \frac{V_c - V_d}{V_d} + \beta_{ж} (t_1 - t_2) \right] \cdot 100\% , \quad (10.3)$$

где  $V_c$  — объем жидкости, отсчитанный по счетчику;  $V_d$  — объем жидкости, измеренный установкой;  $\beta_{ж}$  — коэффициент объемного расширения жидкости;  $t_1$  — температура жидкости в мерном баке или весовом резервуаре установки;  $t_2$  — температура жидкости непосредственно у счетчика.

На весовых испытательных установках объем жидкости  $V_d$  определяют как

$$V_d = \frac{M \Theta}{\rho} , \quad (10.4)$$

где  $M$  — масса жидкости, налитой в весовой резервуар, определенная по показаниям весов;  $\Theta = 1,001$  — коэффициент, учитывающий потерю веса в воздухе;  $\rho$  — плотность жидкости в резервуаре.

Погрешности показаний счетчика вычисляют на трех поверочных расходах 100, 50 и 10 % от верхнего предела измерений.

Количество жидкости, пропускаемое через счетчик за время поверочного пропуска, должно быть не менее количества, соответствующего 500 наименьших делений его счетного указателя. При этом продолжительность пропуска жидкости должна быть не менее 2 мин.

При поверке необходимо тщательно следить за наличием воздуха в рабочей жидкости и температурным режимом установки. Если в смотровом сосуде установки появятся пузырьки воздуха, то поверку необходимо прекратить до устранения причин подсоса воздуха.

Это общие положения по поверке счетчиков жидкостей, изложенные в соответствующих инструкциях и методических указаниях, пригодны лишь для поверки счетчиков на рабочих жидкостях, т. е. на тех средах, для измерения количества которых предназначены счетчики.

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

Если рабочие жидкости взрывоопасны, токсичны, агрессивны, обладают большой вязкостью или высокой температурой, поверка счетчиков непосредственно на этих жидкостях сопряжена с большими техническими или экономическими трудностями. В этих случаях объемные счетчики возможно поверять на жидкостях-заменителях, которые выбирают из соображений: безвредности и безопасности для обслуживающего персонала, нейтральности по отношению к материалам, из которых изготовлены узлы испытательной установки, малой испаряемости, недифицитности и невысокой стоимости, возможности быстрой и полной очистки счетчика после поверки.

Из приведенного видно, какие огромные преимущества имеет поверка счетчиков, применяемых в химической промышленности, атомной энергетике, ракетной технике и т. п., на жидкостях-заменителях, и как важно, уметь правильно осуществлять эту „иммитационную“ поверку.

Методика этой поверки (базирующаяся на основных положениях общей теории объемных счетчиков жидкостей) сводится к определению погрешностей показаний счетчиков на жидкостях-заменителях с последующим пересчетом их на реальную измеряемую среду (для измерения количества которой предназначен счетчик). При этом пересчетные формулы имеют вид:

- для шестеренчатых и дисковых счетчиков калибром до 80 мм:
- для рабочих жидкостей вязкостью  $\mu \geq 21\Pi$  (перепад давления на счетчике практически целиком определяется потерей напора на чисто жидкостное трение в механизме счетчика)

$$\delta_p = C_0 - (C_0 - \delta_3) \frac{Re_{op}}{Re_{oz}}, \quad (10.5)$$

где  $\delta_p$  — погрешность показаний счетчика на рабочей измеряемой среде;  $\delta_3$  — погрешность показаний на жидкостях-заменителе;  $C_0$  — постоянная счетчика, зависящая от его конструктивных параметров;  $Re_{op}$ ,  $Re_{oz}$  - числа Рейнольдса, приведенные к зазору в счетчике и определяемые в зависимости от вязкости жидкостей-заменителя и вязкости рабочей среды;

- для рабочих жидкостей вязкостью  $0,2\Pi \leq \mu \leq 21\Pi$  (перепад давления на счетчике определяется как жидкостным, так и граничным трением в его механизме)

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

$$\delta_p = C_0 - (C_0 - \delta_3) \left( \frac{\mu_3}{\mu_p} \right)^n, \quad (10.6)$$

где  $\mu_3, \mu_p$  — динамические коэффициенты вязкости жидкостей, П;  $n$  — показатель степени, зависящий от типа счетчика и равный для шестеренчатых счетчиков 0,6 и для дисковых счетчиков — 0,2;

- для рабочих жидкостей вязкостью  $\mu < 0,20$  П (перепад давления на счетчике определяется граничным и сухим трением в его механизме)

$$\delta_p = C_0 - (C_0 - \delta_3) \times \frac{\text{Re}_{op}^{k_p} \text{Re}_p^{1-k_p} + m_p \left( \frac{dG}{Q_{\mu_p}} \right)^{1,27}}{\text{Re}_{o3}^{k_3} \text{Re}_3^{1-k_3} + m_3 \left( \frac{dG}{Q_{\mu_3}} \right)^{1,27}}, \quad (10.7)$$

где  $\text{Re}$  — число Рейнольдса, отнесенное к калибру счетчика,  $d$  — характерный диаметр поршня счетчика, см;  $G$  — вес поршня, дин;  $Q$  — расход жидкости, см<sup>3</sup>/с;  $m$  и  $k$  — величины, зависящие от вязкости рабочей жидкости, жидкости-заменителя и числа Рейнольдса.

Для того, чтобы воспользоваться пересчетными формулами (10.5)—(10.7), необходимо предварительно определить постоянную счетчика  $C_0$ . Наиболее точный метод определения  $C_0$  состоит в том, что счетчик поверяют на двух жидкостях-заменителях с различными вязкостями. Затем, воспользовавшись простейшей пересчетной формулой (10.6), в которую вместо параметров рабочей среды подставляют известные (определенные в процессе поверки) параметры второй жидкости-заменителя, рассчитывают  $C_0$ . Исходя из целесообразности использования для расчетов  $C_0$  формулы (10.6), а также учитывая вышеизложенные требования, в качестве поверочных жидкостей-заменителей для объемных счетчиков применяют воду, керосин и подобные им жидкости с вязкостью  $0,01 \pm 0,002$  П, трансформаторное и соляровое масла вязкостью  $0,20 \pm 0,03$  П.

Пересчетная формула для счетчиков с кольцевым поршнем имеет вид

$$\delta_p = C_0 - (C_0 - \delta_3) \times \left( \frac{\mu_3}{\mu_p} \right)^{k_k}. \quad (10.8)$$

Причем, величина  $C$  и показатель степени  $k_k$  определяются уравнениями

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

$$C = \frac{\delta_2 \delta'_1 - \delta_1 \delta'_2}{(\delta_2 - \delta_1) - (\delta'_2 - \delta'_1)} \quad (10.9)$$

$$k_K = \frac{\lg\left(-\frac{\delta_2 - C}{\delta_1 - C}\right)}{\lg\left(\frac{\mu_1}{\mu_2}\right)}, \quad (10.10)$$

где  $\delta_1$  и  $\delta'_1$  — погрешности счетчика на поверочной жидкости вязкостью  $\mu_1$ ;  $\delta_2$  и  $\delta'_2$  — погрешности счетчика на поверочной жидкости вязкостью  $\mu_2$ .

При этом  $\delta_1$  и  $\delta_2$  соответствуют номинальному расходу через счетчик, а  $\delta'_1$  и  $\delta'_2$  — любому другому расходу, при котором  $\delta'_2 - \delta'_1$  отличается от  $\delta_2 - \delta_1$  не менее чем на 0,5 %.

Таким образом, в данном случае показатель степени  $k_K$  не принимают постоянным для типа счетчика (как это было в случае шестеренчатых и дисковых счетчиков), а рассчитывают по уравнению (10.10), характеризующему качество изготовления и сборки конкретного поверяемого экземпляра счетчика, что, естественно, превышает достоверность „иммитационной” поверки на жидкостях-заменителях.

При поверке счетчиков, предназначенных для работы в условиях низких или высоких температур (значительно отличающихся от  $20 \pm 10^\circ \text{C}$ ), необходимо дополнительно корректировать расчетные погрешности показаний, полученные по формулам (10.5)-(10.6), (10.7) или (10.8). Данные формулы учитывают лишь различие вязкостей поверочной (в условиях поверки) и рабочей (в условиях эксплуатации счетчика) жидкостей, но не характеризуют изменение погрешности, связанное с термическим изменением рабочих зазоров счетчика.

С учетом изложенного погрешность показаний счетчиков в рабочих условиях необходимо дополнительно корректировать по формуле

$$\delta'_p = \frac{1}{1 + 3\alpha\Delta t} (\delta_p - 300\alpha\Delta t), \quad (10.11)$$

где  $\delta_p$  — погрешность показаний, вычисленная по формулам (10.5), (10.6), (10.7) или (10.8),  $\alpha$  — коэффициент линейного расширения материала камеры счетчика,  $\Delta t$  — разность температур в условиях работы и поверки счетчика.

Как следует из вышеизложенного, поверка счетчиков на жидкостях-заменителях с последующим пересчетом их погрешностей на рабочую среду сопряжена с некоторыми техническими (поверка на двух жидкостях различной вязкости) расчетными трудностями. Но иначе и быть не может, так как в данном случае поверка фактически сводится к моделированию чрезвычайно сложных физических процессов, происходящих в работающем счетчике.

## **ЛЕКЦИЯ по теме № 2.5.4. Измерение расхода жидкости и газа**

### **ВОПРОСЫ**

1. Расходомеры Кориолиса.
2. Вихревые, вихреакустические и калориметрические расходомеры.
3. Методы и средства поверки счетчиков количества газов.

### **ЛИТЕРАТУРА**

1. Чистофорова Н.В., Колмогоров А.Г. Технические измерения и приборы. Ч.1. Измерение теплоэнергетических параметров. Учебное пособие. 2008. с. 151-162.
2. Хансуваров К.И., Цейтлин В.Г. Техника измерения давления, расхода, количества и уровня жидкости, газа и пара. Учебное пособие для техникумов. М.: Издательство стандартов, 1990, 287 с. (с. 256-265).

### **1. Расходомеры Кориолиса**

Расходомеры Кориолиса получили свое название по фамилии французского математика Густава Кориолиса. В 1835 г. Кориолис показал, что

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

силу инерции следует учитывать при описании движения тел во вращающейся системе координат. Землю часто приводят в качестве примера силы, открытой Кориолисом. Поскольку Земля постоянно вращается, предмет, брошенный с Северного или Южного полюса по направлению к экватору, скорее всего, отклонится от намеченной траектории.

Основой расходомера является сенсор (рис. 4.21), который состоит из одной или двух измерительных (сенсорных) трубок 1, имеющих изогнутую форму (на рис. 4.21 показаны сенсор с двумя U-образными трубками), которые приварены к участку трубопровода с фланцами. Между трубками на специальном креплении расположена задающая катушка 2, создающая колебания трубок. По бокам трубок на входе и выходе установлены детекторы 3, определяющие положение трубок друг относительно друга.

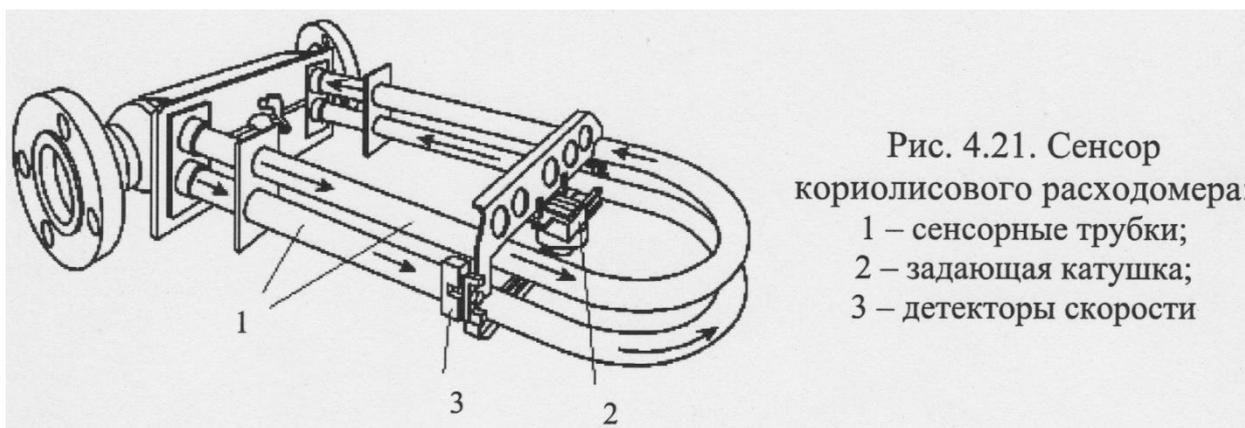


Рис. 4.21. Сенсор кориолисового расходомера:  
1 – сенсорные трубки;  
2 – задающая катушка;  
3 – детекторы скорости

Измеряемая среда, поступающая в сенсор, разделяется на равные половины, протекающие через каждую из измерительных трубок.

Работа задающей катушки приводит к тому, что трубки колеблются вверх-вниз в противоположном направлении друг к другу (рис. 4.22). Колебания трубок подобны колебаниям камертона и имеют амплитуду менее 1 мм и частоту около 100 Гц.

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

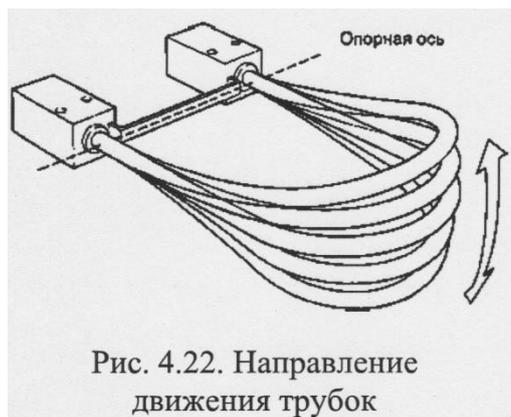


Рис. 4.22. Направление движения трубок

Сборки магнитов и катушек- соленоидов, называемых детекторами, установлены на измерительных трубках. Катушки смонтированы на одной трубке, магниты на другой. Каждая катушка движется сквозь однородное магнитное поле постоянного магнита. Сгенерированное напряжение от каждой катушки имеет форму синусоидальной волны. Эти сигналы представляют собой движение одной трубки относительно другой.

Жидкости, протекающей через трубу, придается вертикальная составляющая движения вибрирующей трубки. При движении трубки вверх во время первой половины цикла колебания (рис.4.23) жидкость, вытекающая в трубку создает сопротивление движению вверх давя на трубку вниз.

Поглотив вертикальный импульс при движении вокруг изгиба трубки, жидкость, вытекающая из нее, сопротивляется уменьшению вертикальной составляющей движения, толкая трубку вверх (рис.4.23). Это приводит к закручиванию трубки.

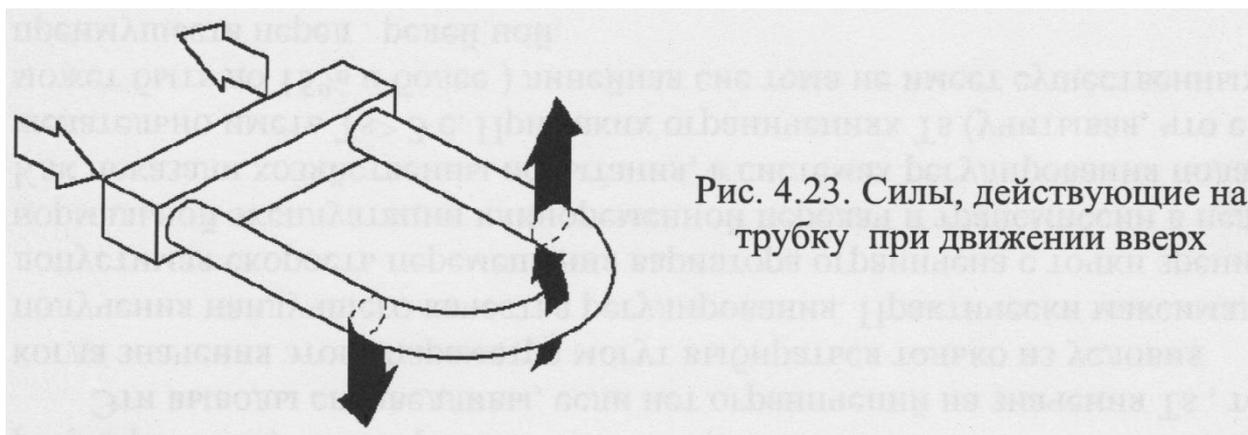


Рис. 4.23. Силы, действующие на трубку при движении вверх

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

Когда трубка движется вниз во время второй половины цикла колебания, она закручивается в противоположную сторону. В этом закручивании и проявляется эффект Кориолиса.

Исходя из второго закона Ньютона, угол закручивания трубки прямо пропорционален количеству жидкости, проходящей через трубку в единицу времени (рис.4.24).

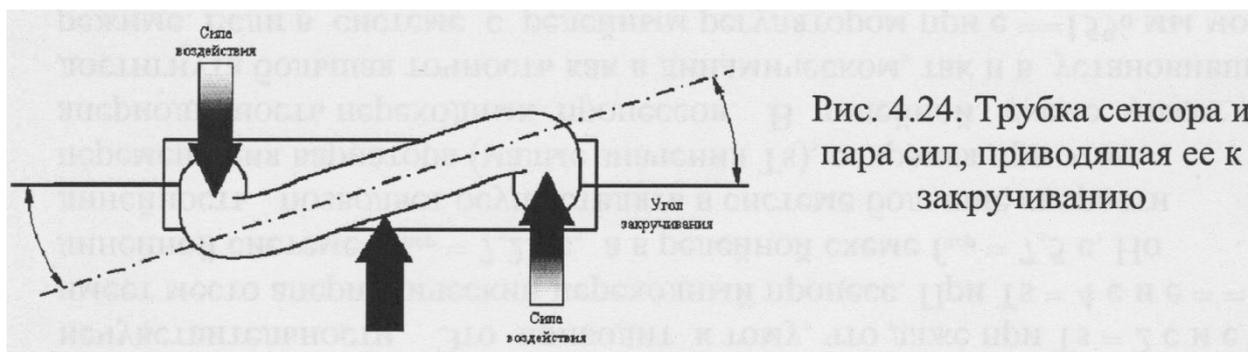


Рис. 4.24. Трубка сенсора и пара сил, приводящая ее к закручиванию

Детекторы измеряют фазовый сдвиг при движении противоположных сторон сенсорной трубки. Когда расход отсутствует, синусоидальные сигналы, поступающие с детекторов, находятся в одной фазе (рис. 4.25, а). При наличии расхода, как результат изгиба трубок генерируемые детекторами сигналы не совпадают по фазе (рис. 4.25,б), т.к. сигнал от входной стороны запаздывает по отношению к сигналу с выходной стороны. Разница во времени между сигналами  $\Delta t$  измеряется в микросекундах и прямо пропорциональна массовому расходу. Чем больше  $\Delta t$ , тем больше массовый расход.

Большинство расходомеров Кориолиса снабжены изогнутыми трубками, которые имеют разнообразную конструкцию. Однако, некоторые производители разработали счетчики Кориолиса с прямыми трубками. Расходомеры с прямыми трубками работают по тому же принципу, что и расходомеры, на которых установлены изогнутые трубки. В первой половине счетчика жидкость разгоняется под воздействием собственной инерции, а затем снижает скорость в его второй половине.

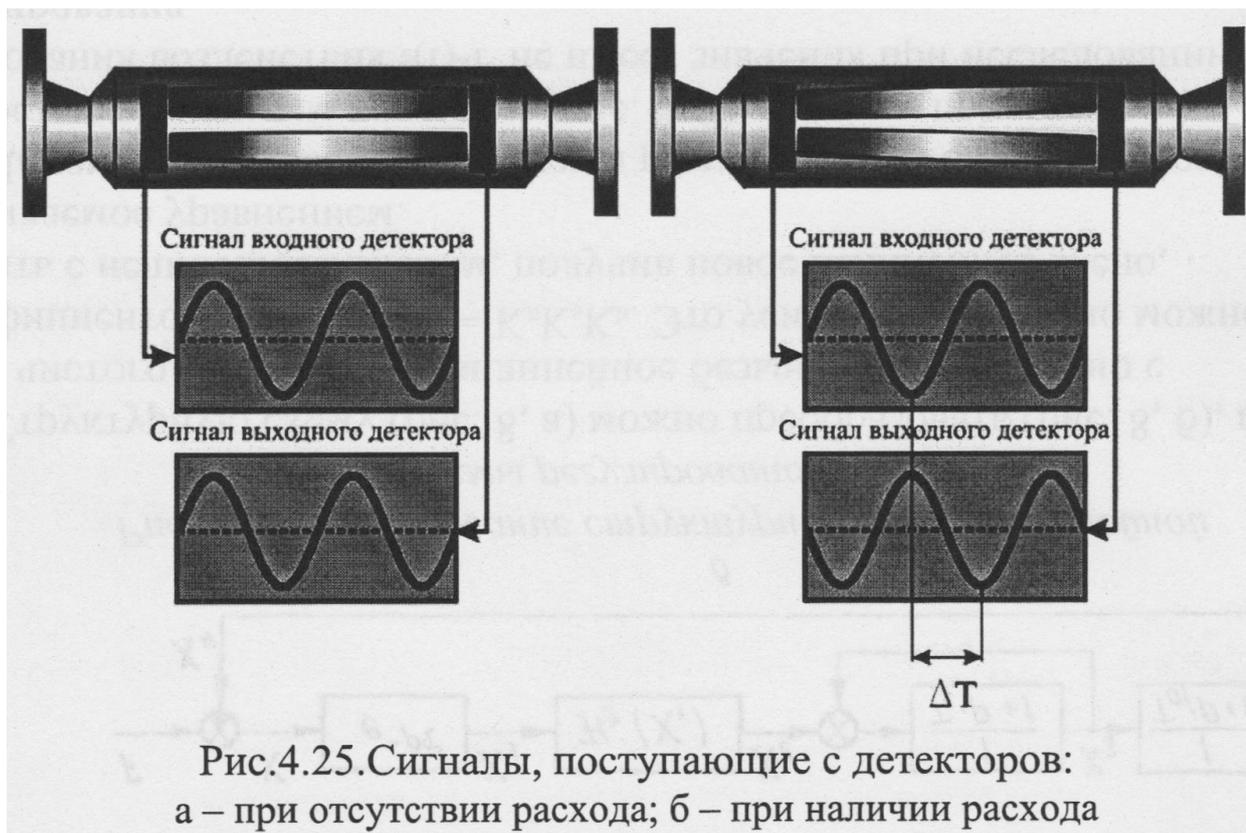


Рис.4.25.Сигналы, поступающие с детекторов:  
а – при отсутствии расхода; б – при наличии расхода

Инерция жидкости создает силу Кориолиса, которая незначительно искривляет измерительную трубку. Степень искривления пропорциональна массовому расходу. Для определения степени искривления используются сенсоры. Температура трубки постоянно измеряется, поскольку ее колебательные свойства изменяются в зависимости от температурных изменений. Благодаря этому в измерения удастся внести любые требуемые поправки.

Расходомеры Кориолиса могут применяться для измерения расхода как жидкостей, так и газов с диаметром труб от 3 до 150 мм. Класс точности от 0,5 до 1,5.

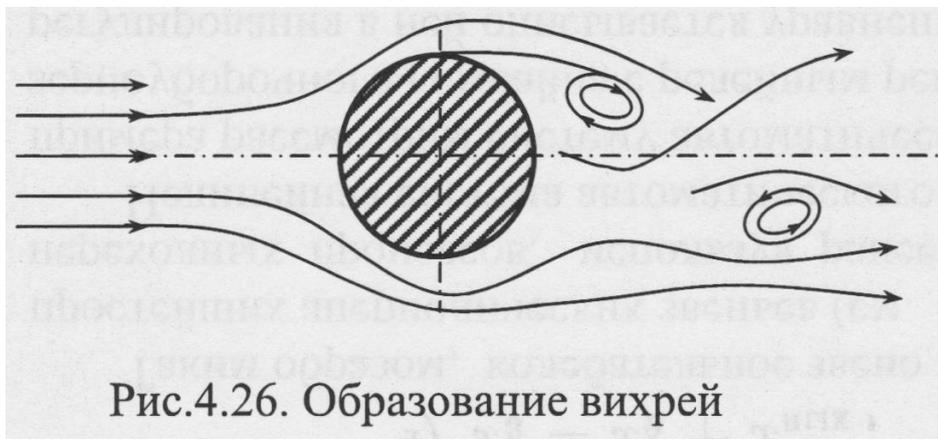
## 2. Вихревые, вихреакустические и калориметрические расходомеры

### Вихревые и вихреакустические расходомеры

Принцип действия этих расходомеров основан на явлении, носящим название «эффект Ван Кармана», согласно которому при обтекании

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

неподвижного твердого тела потоком жидкости за телом образуется вихревая дорожка, состоящая из вихрей, поочередно срывающихся с противоположных сторон тела. На рис.4.26 показано обтекание цилиндра потоком и образование вихрей.



Частота образования вихрей за телом пропорциональна скорости потока. Детектирование вихрей и определение частоты их образования позволяет определить скорость и объемный расход среды.

В зависимости от способа детектирования частоты вихрей различают вихревые и вихреакустические расходомеры.

**В вихревых** расходомерах определение частоты вихреобразования производится при помощи двух пьезодатчиков, фиксирующих пульсации давления в зоне вихреобразования ("съем сигнала по пульсациям давления").

Конструктивно датчик представляет собой моноблок, состоящий из корпуса проточной части и электронного блока. В корпусе проточной части датчика размещены первичные преобразователи объемного расхода, избыточного давления и температуры (рис.4.27).

Электронный блок представляет собой плату цифровой обработки сигналов первичных преобразователей, заключенную в корпус. На входе в проточную часть датчика установлено тело обтекания *1*.

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

За телом обтекания, по направлению потока газа, симметрично расположены два пьезоэлектрических преобразователя пульсаций давления 2. При протекании потока газа (пара) через проточную часть датчика за телом обтекания образуется вихревая дорожка, частота следования вихрей в которой с высокой точностью пропорциональна скорости потока, а, следовательно, и расходу. В свою очередь, вихреобразование приводит к появлению за телом обтекания пульсаций давления среды. Частота пульсаций давления идентична частоте вихреобразования и, в данном случае, служит мерой расхода. Пульсации давления воспринимаются пьезоэлектрическими преобразователями, сигналы с которых в форме электрических колебаний поступают на плату цифровой обработки, где происходит вычисление объемного расхода и объема газа при рабочих условиях и формирование выходных сигналов по данным параметрам в виде цифрового кода.

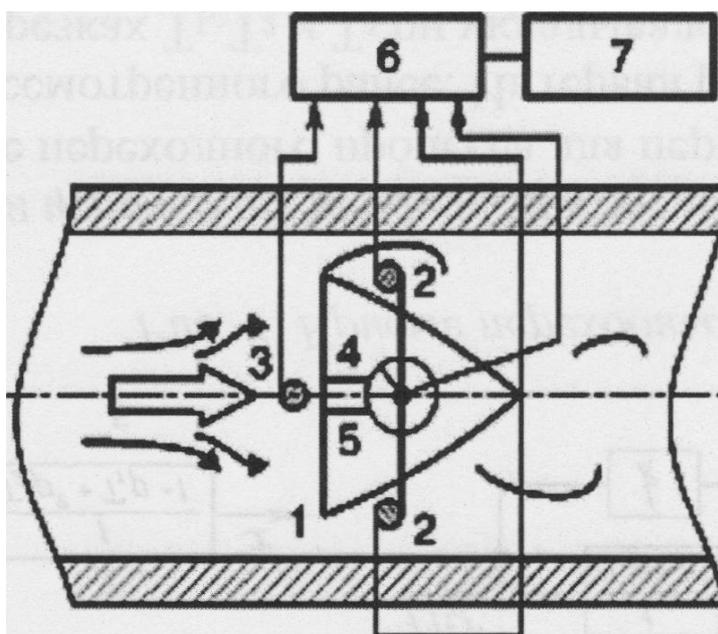


Рис.4.27. Вихревой расходомер:

- 1 - тело обтекания; 2 - преобразователь пульсаций давления; 3 - преобразователь избыточного давления; 4 - термопреобразователь; 5 - отверстия;  
6 - плата цифровой обработки; 7 - вычислитель

Преобразователь избыточного давления 3 тензорезистивного принципа действия размещен перед телом обтекания вблизи места его крепления. Он осуществляет преобразование значения избыточного давления потока в трубопроводе в электрический сигнал, который с выхода мостовой схемы преобразователя поступает на плату цифровой обработки. Термопреобразователь сопротивления платиновый (ТСП) 4 размещен внутри тела обтекания. Для обеспечения непосредственного контакта ТСП со средой в теле обтекания выполнены отверстия 5. Электрический сигнал термопреобразователя также подвергается цифровой обработке.

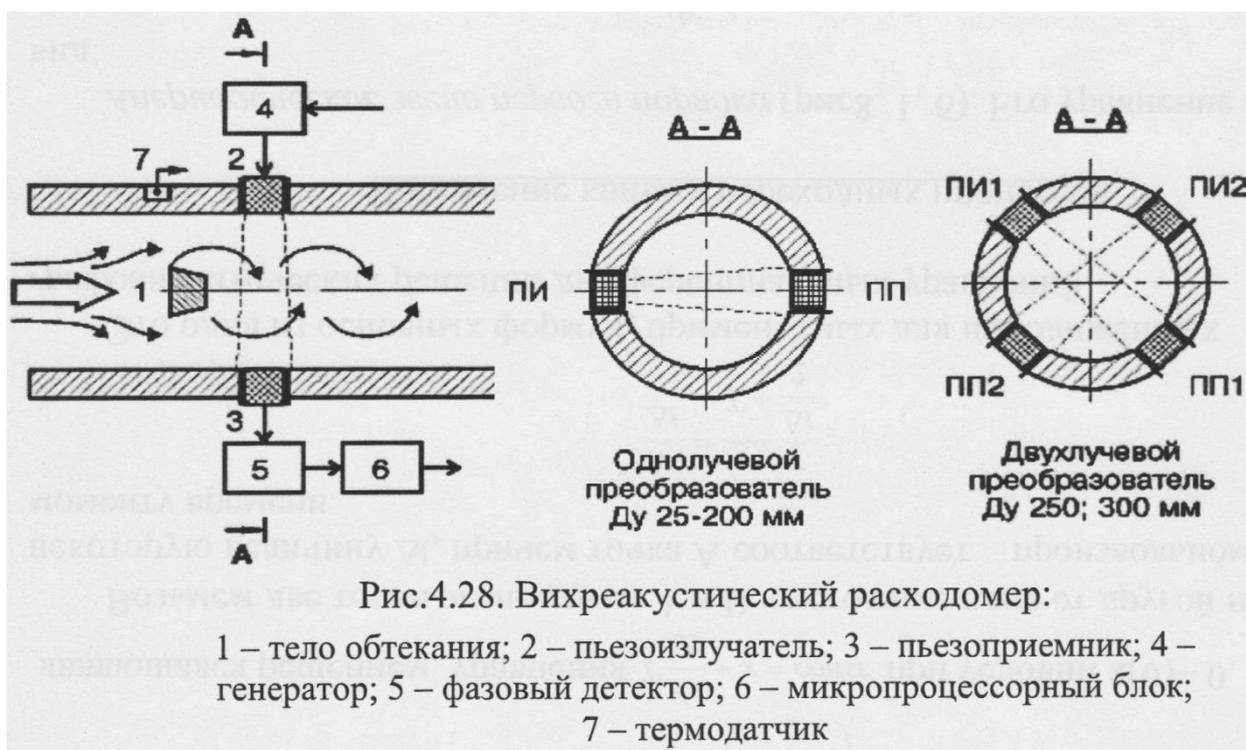
Плата цифровой обработки 6, содержащая два микропроцессора, производит обработку сигналов преобразователей пульсаций давления, избыточного давления и температуры, в ходе которой обеспечивается фильтрация паразитных составляющих, обусловленных влиянием вибрации, флуктуаций давления и температуры потока, и происходит формирование выходных сигналов многопараметрического датчика по расходу, объему при рабочих условиях, давлению и температуре в виде цифрового кода. Выходные сигналы передаются на вычислитель 7.

**В вихреакустических** расходомерах (рис.4.28) в качестве тела обтекания применяется призма трапецеидального сечения, а детектирование вихрей производится с помощью ультразвуковых преобразователей.

Расходомер состоит из проточной части и электронного блока. В корпусе проточной части расположены тело обтекания - призма трапецеи-дальной формы 1, пьезоизлучатели (ПИ) 2, пьезоприемники (ПП) 3 и термодатчик 7.

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

Электронный блок включает в себя генератор 4, фазовый детектор 5, микропроцессорный фильтр с блоком формирования выходных сигналов 6. Тело обтекания расположено на входе жидкости в проточную часть. При обтекании этого тела потоком жидкости за ним образуется вихревая дорожка, частота следования вихрей в которой с высокой точностью пропорциональна расходу.



За телом обтекания в корпусе проточной части расположены диаметрально противоположно друг другу стаканчики, в которых собраны ультразвуковой пьезоизлучатель ПИ и пьезоприемник ПП. На ПИ от генератора подается переменное напряжение, которое преобразуется в ультразвуковые колебания. Пройдя через поток, эти колебания в результате взаимодействия с вихрями оказываются модулированными по фазе. На ПП ультразвуковые колебания преобразуются в электрические и подаются на фазовый детектор. На фазовом детекторе определяется разность фаз между сигналами с ПП и опорного генератора. На выходе фазового детектора образуется напряжение, которое по частоте и

амплитуде соответствует интенсивности и частоте следования вихрей, которая в силу пропорциональности скорости потока является мерой расхода.

Вихреакустические расходомеры применяются в чистых жидкостях с низкой вязкостью без завихрений, которые движутся со средней или высокой скоростью. В потоке не должно быть завихрений, поскольку они могут повлиять на точность измерений. Любая эрозия, коррозия или отложения, которые могут изменить форму плохо обтекаемого тела могут повлиять на калибровку расходомера, и поэтому идеальные условия предусматривают чистые жидкости.

### **Калориметрические расходомеры**

Принцип действия калориметрических расходомеров основан на нагреве потока жидкости или газа посторонним источником энергии, создающим в потоке разность температур, зависящую от скорости потока и расхода теплоты в нагревателе. Если пренебречь теплом, отдаваемым потоком через стенки трубопровода в окружающую среду, то уравнение теплового баланса между расходом тепла, потребляемым нагревателем, и теплом, сообщенным потоку, принимает вид

$$q_t = kQ_m c_p \Delta t, \quad (4.27)$$

где  $k$  - поправочный множитель на неравномерность распределения температур по сечению трубопровода;  $c_p$  - теплоемкость (для газа при постоянном давлении) при температуре  $t = (t_1 + t_2) / 2$ ;  $\Delta t$  - разность температур до и после нагревателя.

Тепло к потоку в калориметрических расходомерах подводится обычно электронагревателями, для которых

$$q_t = 0,24I^2R, \quad (4.28)$$

где  $I$  - сила тока;  $R$  - сопротивление нагревателя.

На основании выражений (4.27) и (4.28) получим уравнение массового расхода

$$Q_m = \frac{0,24I^2 R}{kc_p \Delta t} . \quad (4.29)$$

Возможны и существуют два способа измерения массового расхода в соответствии с выражением (4.29):

- расход определяют по значению мощности, потребляемой нагревателем и обеспечивающей постоянную разность температур  $\Delta t$ ;
- расход определяют по разности температур  $\Delta t$  при неизменной мощности, подводимой к нагревателю.

В первом случае расходомеры работают как регуляторы температуры нагрева потока, у которых измерительным и регулирующим элементом является уравновешенный мост с термометрами сопротивления до и после нагревателя. При изменении разности температур мост выходит из равновесия и включает устройство, которое изменяет регулировочное сопротивление до тех пор, пока не восстановится заданная степень нагрева. Массовый расход при этом определяют по показаниям ваттметра, включенного в цепь нагревателя.

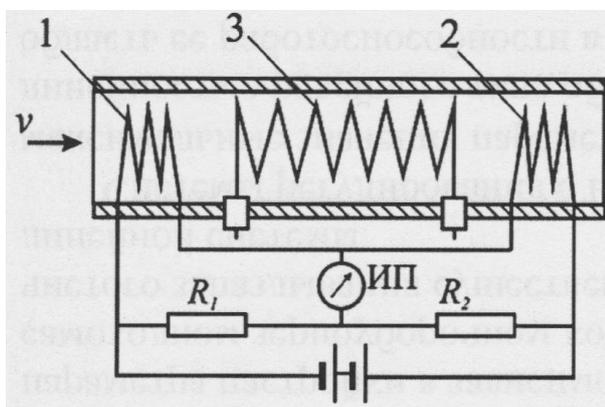


Рис. 4.25. Калориметрический расходомер:  
1 и 2 – термометры сопротивления;  
3 – электрический нагреватель

Датчики калориметрических расходомеров второго типа (рис. 4.25) состоят из двух последовательно соединенных термометров сопротивления 1 и 2, устанавливаемых до и после нагревателя 3. Последовательное соединение термометров обеспечивает равенство токов в их цепях, что

позволяет градуировать их непосредственно по разности температур. Кроме термометров сопротивления используют также термисторы и термопары. Термометры сопротивления обладают тем преимуществом, что их можно выполнять в виде равномерной сетки, перекрывающей все сечения потока, и таким образом измерять среднюю по сечению температуру. Термометры сопротивления включают в плечи моста, два плеча которого составляют резисторы сопротивлением  $R_1$  и  $R_2$

Калориметрические расходомеры обладают достаточно высокой точностью, оцениваемой (в условиях индивидуальной градуировки) приведенной погрешностью  $\pm (0,5 - 1,0)\%$ , большим диапазоном измерений (10:1 и выше), малой инерционностью.

Недостатками их являются сложность измерительных схем и нестабильность характеристик, связанная с коррозией приемных устройств и осаждением на них различных частиц, переносимых потоком.

Данные приборы можно применять для измерения массового расхода как жидкостей, так и газов, но в настоящее время ими измеряют, главным образом, малые (в трубках диаметром 2-3 мм) и средние расходы чистых газов.

### **3. Методы и средства поверки счетчиков количества газов**

#### **Принцип действия и основные конструктивные элементы испытательных установок для счетчиков количества газов**

Принципиальная схема испытательной установки для поверки газо-счетчиков показана на рис. 121. Установка состоит из колокольного газового мерника 2-го разряда, компрессора, регулировочного устройства, указателя расхода, а также ряда устройств и элементов (отмеченных на схеме), необходимых как для нормальной работы установки, так и для полной и качественной поверки счетчиков.

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

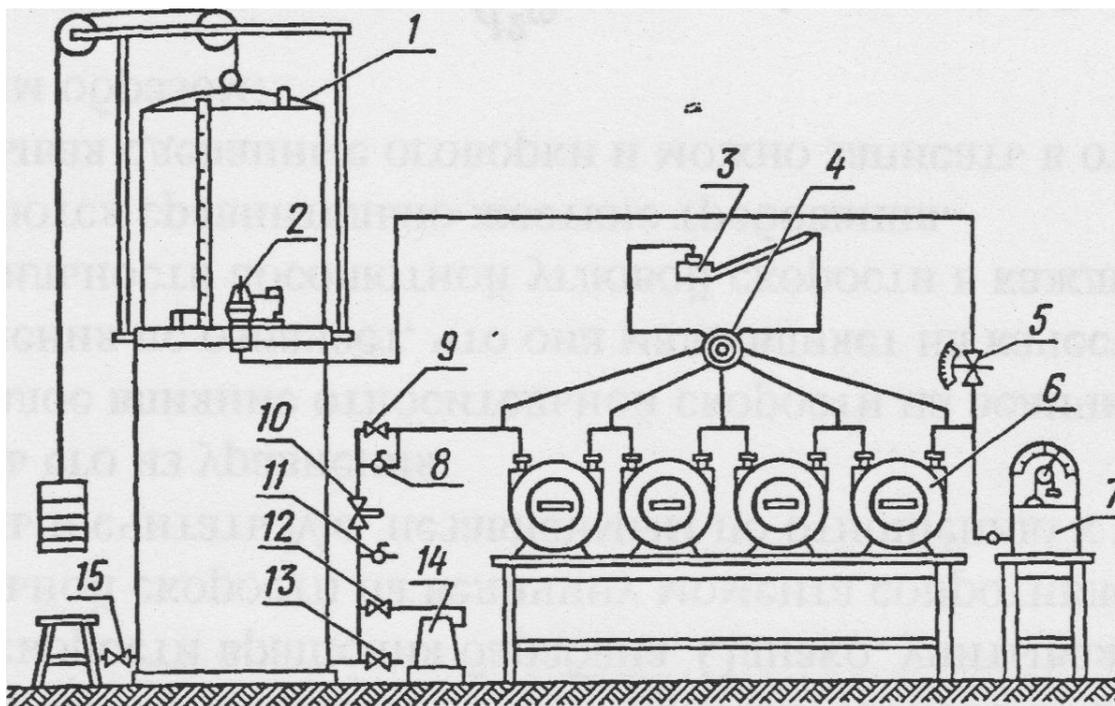


Рис. 121. Схема установки для поверки газосчетчиков:

- 1 — колокол мерника; 2 — клапан автоматического останова; 3 — микроманометр; 4 — переключатель микроманометра; 5 — регулировочный кран; 6 — поверяемый газосчетчик; 7 — указатель расхода; 8 — обходной кран; 9 — проходной кран; 10 — кран для приема воздуха из помещения; 11 — кран для подсоединения манометра; 12 — приемный кран; 13 — пробка; 14 — компрессор; 15 — кран для слива воды из мерника

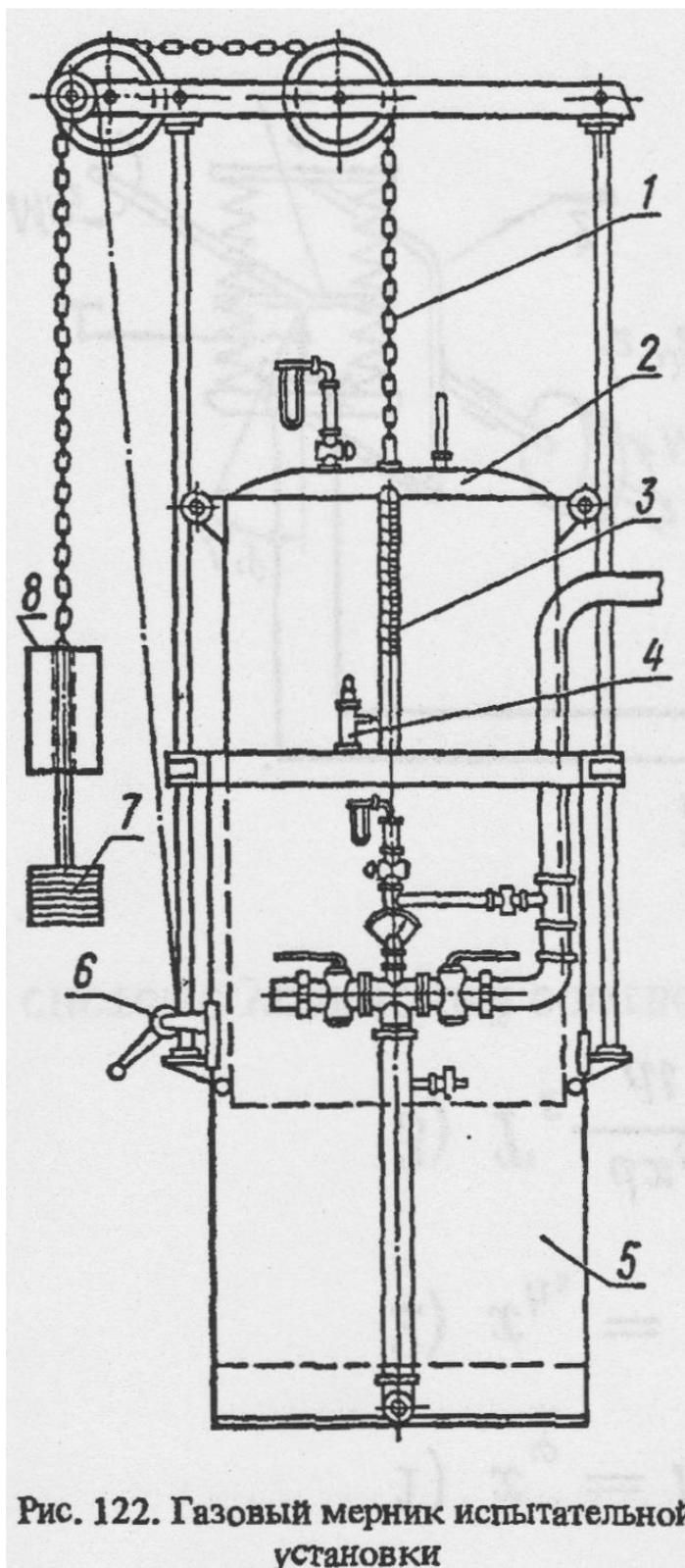


Рис. 122. Газовый мерник испытательной установки

Газовый мерник (рис. 122) предназначен для вытеснения строго определенных объемных порций газа, подаваемых на поверяемый счетчик, при определенном давлении и расходе. Мерник состоит из

измерительного колокола **2**, рейки со шкалой **3**, указателя **4**, резервуара с водой **5**, зажимного устройства **6** и приспособления для поддержания постоянного давления под колоколом при его погружении в резервуар. Измерительный колокол представляет собой полый цилиндр с верхним сферическим днищем. Колокол подвешен на цепи или тросе **1** и частично уравновешен противовесом **8** с дополнительными грузами **7**. При работе установки колокол под действием собственного веса погружается в воду, находящуюся в резервуаре **5**. При этом из пространства под колоколом вытесняется объем воздуха, пропорциональный площади внутреннего (пустотелого) сечения колокола и его перемещению по вертикали. Вертикальное перемещение колокола обеспечивается направляющими штангами и роликами. Кроме того, применение направляющих штанг и роликов обеспечивает постоянный зазор между стенками колокола и резервуара с водой, а также между рейкой со шкалой, укрепленной на колоколе, и указателем, укрепленным на резервуаре. Равномерность шкалы мерника обуславливается соответствующими технологическими допусками на конусность и овальность сечения колокола, которые не должны превышать 0,1 %.

Точность отсчета положения колокола по шкале рейки, характеризующая точность определения объема воздуха, вытесненного из-под колокола, должна лежать в пределах  $\pm 0,5$  мм.

Для увеличения точности отсчета указатель, обычно представляющий собой ножевую стрелку, может быть снабжен нониусом или оптическим визирным приспособлением.

Рабочий объем колокола выбирают равным объемному количеству воздуха, протекающему через поверяемый счетчик при наибольшем поверочном расходе за 3 мин.

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

Газосчетчики поверяют, как правило, при рабочих (эксплуатационных) давлениях газа. На большинстве промышленных газопроводов рабочее избыточное давление составляет 40—80 мм вод. ст. Это давление и принято за нормальное при поверке газосчетчиков.

Давление под колоколом создается его весом и регулируется сменой грузов противовеса. Если не принять никаких специальных мер, то при погружении колокола в воду вес его за счет изменения выталкивающей „архимедовой“ силы также будет изменяться, а следовательно, будет меняться и давление газа под колоколом.

Для обеспечения постоянства давления под колоколом при работе установки мерники снабжаются весовыми, рычажными или объемными устройствами, автоматически поддерживающими постоянным вес колокола при его погружении в воду.

Весовое устройство, показанное на рис. 122, основано на изменении длины цепи со стороны колокола и со стороны подвески противовеса. При опускании колокола длина цепи противовеса уменьшается, а длина цепи колокола растет. Вызванное этими изменениями длины различных участков цепи перераспределение их весов компенсирует потерю в весе колокола.

Если  $\Delta G$  — вес воды, вытесненной при опускании колокола на единицу длины (например, на 1 м), то естественно, что для компенсации изменения давления под колоколом вес единицы длины цепи должен быть равен  $g = \Delta G / 2$ .

Рычажное устройство (рис. 123) основано на добавочном утяжелении колокола моментом от веса гирьки, укрепленной на переменном плече  $a$  улитки.

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

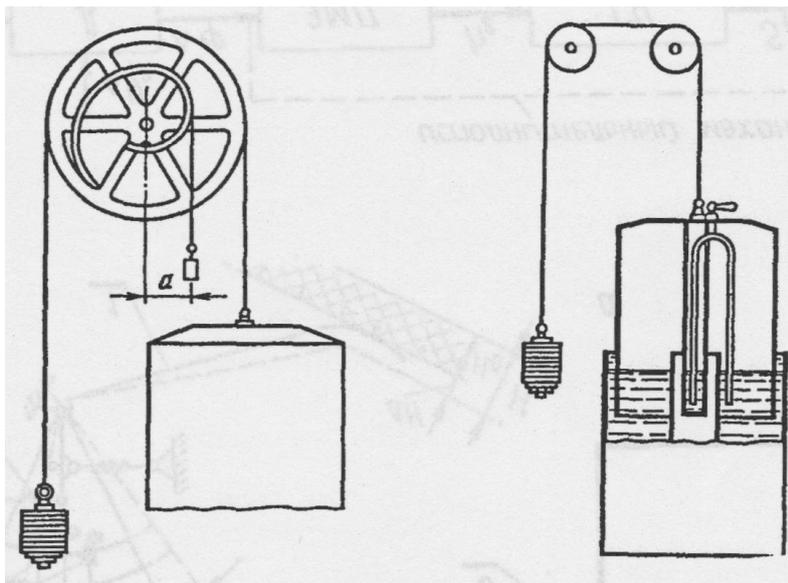


Рис. 123. Рычажное компенсирующее устройство

Рис. 124. Объемное компенсирующее устройство

При расчете рычажного устройства определяют профиль улитки, т. е. определяют зависимость  $r = f(\varphi)$ , где  $r$  — текущий радиус улитки,  $\varphi$  — угол поворота улитки, закрепленной на ролике противовеса.

При опускании колокола на величину  $\Delta h$  момент веса колокола на плече  $R$  ролика противовеса за счет выталкивающей силы изменится на

$$\Delta M = \Delta h F_{\text{к}} \gamma R, \quad (12.1)$$

где  $F_{\text{к}}$  — площадь кольцевого сечения колокола,  $\gamma$  — объемный вес воды, заполняющей мерник.

Для компенсации изменения веса колокола необходимо, чтобы

$$\Delta M = \Delta r g_{\text{г}}, \quad (12.2)$$

где  $g_{\text{г}}$  — масса гирьки рычажного устройства.

Из формул (12.1) и (12.2), приняв во внимание, что  $\Delta h = R\varphi$ , получим расчетную зависимость для определения необходимого профиля улитки

$$r = \varphi R^2 \frac{F_{\text{к}} \gamma}{g_{\text{г}}}. \quad (12.3)$$

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

Объемное компенсирующее устройство (рис. 124) состоит из цилиндрического сосуда с доньшком, прикрепленным к колоколу, и сифонной трубки, один конец которой опущен в цилиндрический сосуд, а другой в резервуар мерника. При опускании колокола вытесняемая им жидкость по сифонной трубке переливается в цилиндрический сосуд. Для компенсации изменения давления под колоколом сечение цилиндрического сосуда  $F_c$  (с учетом сечения сифонной трубки) должно быть таким, чтобы вес воды, переливающейся в сосуд из резервуара мерника, был равен весу воды, вытесненной колоколом, т. е.

$$\Delta h F_K \gamma = (\Delta h + \Delta h_y) F_c \gamma, \quad (12.4)$$

где  $\Delta h_y$  — возрастание уровня жидкости в резервуаре при опускании колокола на величину  $\Delta h$ .

Приняв во внимание, что  $\Delta h_y = \Delta h F_K / F_p$ , где  $F_p$  — площадь свободной поверхности жидкости в резервуаре мерника, на основании формулы (12.4) получим искомую площадь сосуда

$$F_c = \frac{F_p F_K}{F_p + F_K}. \quad (12.5)$$

Сифонное устройство в отличие от весового и рычажного не только компенсирует потерю веса колокола, но и поддерживает постоянство уровня воды в резервуаре мерника.

Колебания давления воздуха под колоколом могут быть вызваны также и трением при движении роликов по направляющим штангам и перемещении цепи противовеса по подпятникам. Для уменьшения трения ролики свободно насаживаются на оси, которые крепятся к стенкам колокола с помощью упругих пластин. Между направляющими штангами и роликами должен быть небольшой зазор, а штанги смазываться вазели-

ном. Подпятники для цепи или троса противовеса имеют шариковые подшипники с хорошей смазкой. Звенья цепи или трос выбирают достаточно гибкими.

Выполнение всех указанных конструктивных и технологических требований обеспечивает постоянство давления под колоколом при работе установки  $\pm 5$  мм вод. ст. Для измерения и контроля давления применяют стеклянные микроманометры с наклонной трубкой.

Существенно на работу газового мерника влияет нестабильность температуры окружающего воздуха во времени и непостоянство температуры по высоте колокола. Изменение температуры влечет за собой изменение объема вытекающего из-под колокола воздуха. Вследствие этого при работе установки не допускаются колебания температуры воды, заполняющей резервуар мерника, и температуры окружающего воздуха более чем на  $\pm 0,1^\circ \text{C}$  во время проведения опыта и по высоте колокола. Кроме того, температуры воды и воздуха не должны отличаться более чем на  $0,5^\circ \text{C}$ . Столь высокие требования к температурному режиму работы мерника обуславливают необходимость тщательного термостатирования лабораторных помещений для поверки газосчетчиков с помощью колокольных испытательных установок.

Конструкция и методы расчета устройств для регулирования расхода (регулирующих насадок с указателями расхода) на газомерных испытательных установках не отличаются от регулирующих устройств испытательных установок для счетчиков жидкостей.

Для автоматического прекращения подачи воздуха из-под колокола в поверяемый счетчик применяют пружинные клапаны, срабатывающие от контактных устройств, сблокированных с перемещающимся колоколом.

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

Для поверки газосчетчиков большой производительности (более 40 м<sup>3</sup>/ч) находят применение автоматизированные газомерные установки с двумя колоколообразными мерниками, работающими в непрерывном режиме. Пока один колокол опускается и вытесняет воздух, другой, поднимаясь, заполняется воздухом от непрерывно действующей воздуходувки.

В последние годы существенное развитие в отечественной и зарубежной практике получают газомерные трубопоршневые установки, установки с жидкостным вытеснением газа и другие.

**Поверка испытательных установок для газосчетчиков**

Установки с колокольными мерниками, предназначенные для поверки газосчетчиков, после изготовления, ремонта и установленного срока эксплуатации подлежат обязательной государственной поверке.

Метрологическая часть поверки установок сводится к оценке погрешностей указателей расхода и показаний газового мерника.

В основе поверки указателей расхода газомерных установок лежат те же принципы, что и в основе поверки указателей расхода испытательных установок для жидкостных счетчиков.

Поверка образцового газового мерника заключается в проверке его герметичности и установлении правильности нанесения отметок на шкале колокола. При проверке мерника на герметичность нагнетают воздух под колокол до тех пор, пока он не займет верхнего положения. Закрепляют цепь противовеса с тем, чтобы при наличии утечки колокол оставался неподвижным. При этом о герметичности мерника судят по показаниям микроманометра, подсоединенного к выходному газопроводу установки (см. рис. 122). Если в течение 2 мин положение мениска манометрической

жидкости, заполняющей трубку дифманометра, не изменится, мерник считается герметичным.

Правильность нанесения отметок на шкале колокола проверяют, измеряя количество воздуха, выходящего из-под колокола, образцовыми газовыми мерниками 1-го разряда, номинальный объем которых определен весовым методом с погрешностью не более 0,03 %.

При выборе объема и количества образцовых мерников следует исходить из допустимой продолжительности поверки всей шкалы мерника, которая не должна быть более 1 ч. В процессе поверки поддерживают равенство и постоянство температур воздуха и воды в пределах  $\pm 0,2^{\circ}\text{C}$ .

Образцовый газовый мерник 1-го разряда показан на рис. 125.

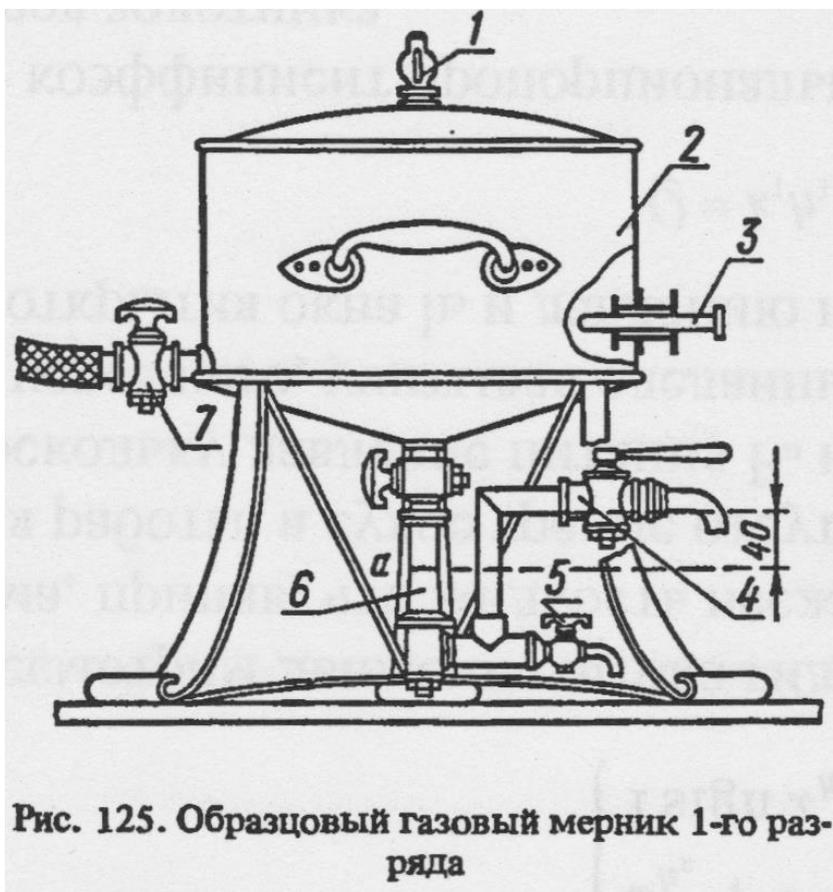


Рис. 125. Образцовый газовый мерник 1-го разряда

Колбу 2 мерника через кран 7, соединенный гибким шлангом со специальным хранилищем, предварительно заполняют водой. Полный

залив колбы контролируют при помощи ниппельного крана 1, установленного на шарообразной крышке мерника. Затем мерник при помощи резиновой трубки, накидываемой на ниппель крана 1, соединяют с пространством под поверяемым колоколом. Если после этого открыть кран 4, то вода из колбы будет вытекать, и колба будет заполняться воздухом, поступающим из-под колокола. Вода из колбы будет вытекать до тех пор ее уровень не установится на отметке 0, нанесенной на толстостенной стеклянной трубке 6. Обычно эта отметка наносится на 40 мм ниже уровня сливной трубы, что соответствует давлению воздуха под колоколом, равному 40 мм вод. ст. Таким образом, количество воздуха, поступившего в мерник, равно объему вытекшей из мерника воды. Если объем мерника известен (его определяют в процессе аттестации самого мерника и подгоняют под номинальное значение при помощи регулирующего цилиндра 3), можно подсчитать погрешности отметок шкалы колокола. Для полного опорожнения мерника служит кран 5.

### **Основы поверки газосчетчиков**

В процессе поверки газосчетчиков определяют соответствие их герметичности, чувствительности, потерь давления, колебаний потерь давления (мигания) и погрешностей показаний требованиям нормативных документов.

При проверке герметичности счетчика компрессором или воздуходувкой закачивают в него воздух с избыточным давлением, равным 2 кгс/см<sup>2</sup> для ротационных газосчетчиков, 0,075 кгс/см<sup>2</sup> — для газосчетчиков с мерными мехами; 0,12 кгс/см<sup>2</sup> — для барабанных газосчетчиков и наблюдают за давлением воздуха по показаниям манометров. Если в течение 5 мин показания манометров не изменятся, то счетчик считается герметичным.

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

Чувствительность газосчетчиков проверяют на испытательных установках. При этом на установке создают расход газа, соответствующий 2,5 % номинального расхода для ротационных газосчетчиков, 0,0375 м<sup>3</sup>/ч - для газосчетчиков с мерными мехами и номинальным расходом 2,5 м<sup>3</sup> /ч; 0,060 м<sup>3</sup>/ч — для газосчетчиков с мерными мехами и номинальным расходом 6 м<sup>3</sup>/ч, 1 % номинального расхода — для барабанных счетчиков.

Прибор считают удовлетворяющим требованиям по чувствительности, если большая стрелка или наименьший ролик счетного механизма при указанных значениях расхода на установке (контролируемых по показаниям микроманометра) будут вращаться.

Методика поверки погрешности показаний газосчетчиков на испытательных установках не отличается от методики, принятой при поверке счетчиков количества жидкостей на рабочих средах.

Разность показаний счетчиков и испытательной установки для метрологически исправных счетчиков (признаваемых по результатам поверки годными) не должна превышать 2 % при расходах 100 и 50 % номинального и 3 % при расходе 10 % номинального.

Потери давления на счетчике и колебания этих потерь (мигания) при его работе определяют при помощи микроманометра и переключательного крана, соединяющего с микроманометром попеременно входной и выходной патрубки работающего счетчика.

Допустимые потери давления и колебания потери давления при номинальных расходах для различных типов газосчетчиков составляют: для ротационных газосчетчиков 30 и 3 мм вод. ст. соответственно; для барабанных газосчетчиков 8 и 3 мм вод. ст.; для газосчетчиков с мерными мехами 11 и 5 мм вод. ст. при номинальных расходах до 6 м<sup>3</sup>/ч и 20 и 8 мм вод. ст. при номинальных расходах свыше 6 м<sup>3</sup>/ч.

## ЛЕКЦИЯ по теме № 2.6.1. Измерение уровня

### ВОПРОСЫ

1. Основные понятия, классификация приборов измерения уровня.
2. Уровнемеры непрерывного действия: визуальные.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Чистофорова Н.В., Колмогоров А.Г. Технические измерения и приборы. Ч.1. Измерение теплоэнергетических параметров. Учебное пособие. 2008. с. 162-164.

## **1. Основные понятия, классификация приборов измерения уровня**

### **Основные понятия**

В настоящее время операция измерения уровня является ключевой для организации контроля и управления технологическими процессами в химическом, нефтехимическом и нефтеперерабатывающем производствах, в пищевой промышленности, промышленности строительных материалов, в системах экологического мониторинга и во многих других отраслях. К приборам для измерения уровня заполнения ёмкостей и сосудов, или **уровнемерам**, предъявляются различные требования: в одних случаях требуется только сигнализировать о достижении определённого предельного значения, в других необходимо проводить непрерывное измерение уровня заполнения.

### **Классификация приборов для измерения уровня**

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

Существует широкая номенклатура средств контроля и измерения уровня, использующих различные физические методы: поплавковый, буйковый, ёмкостный, гидростатического давления, ультразвуковой, радарный и др. Эти методы и средства позволяют контролировать уровень различных сред: жидких (чистых, загрязнённых), пульп, нефтепродуктов, сыпучих твёрдых различной дисперсности. При выборе уровнемера необходимо учитывать такие физические и химические свойства контролируемой среды, как температура, абразивные свойства, вязкость, электрическая проводимость, химическая агрессивность и т.д. Кроме того, следует принимать во внимание рабочие условия в резервуаре или около него: давление, вакуум, нагревание, охлаждение, способ заполнения или опорожнения (пневматический или механический), наличие мешалки, огнеопасность, взрывоопасность и другие.

Устройства для измерения уровня жидкостей можно подразделить на следующие:

- *визуальные*;
- *поплавковые*, в которых для измерения уровня используется поплавок или другое тело, находящееся на поверхности жидкости;
- *буйковые*, в которых для измерения уровня используется массивное тело (буй), частично погружаемое в жидкость;
- *гидростатические*, основанные на измерении гидростатического давления столба жидкости;
- *электрические*, в которых величины электрических параметров зависят от уровня жидкости;
- *ультразвуковые*, основанные на принципе отражения от поверхности звуковых волн;

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

- *радарные и волноводные*, основанные на принципе отражения от поверхности сигнала высокой частоты (СВЧ);
- *радиоизотопные*, основанные на использовании интенсивности потока ядерных излучений, зависящих от уровня жидкости.

Помимо классификации уровнемеров по принципу действия, эти приборы делятся на:

- 1) приборы для непрерывного слежения за уровнем;
- 2) приборы для сигнализации о предельных значениях уровня (сигнализаторы уровня).

## 2. Уровнемеры непрерывного действия

### Визуальные уровнемеры

Простейшим измерителем уровня жидкости служат указательные стекла (рис. 5.1).

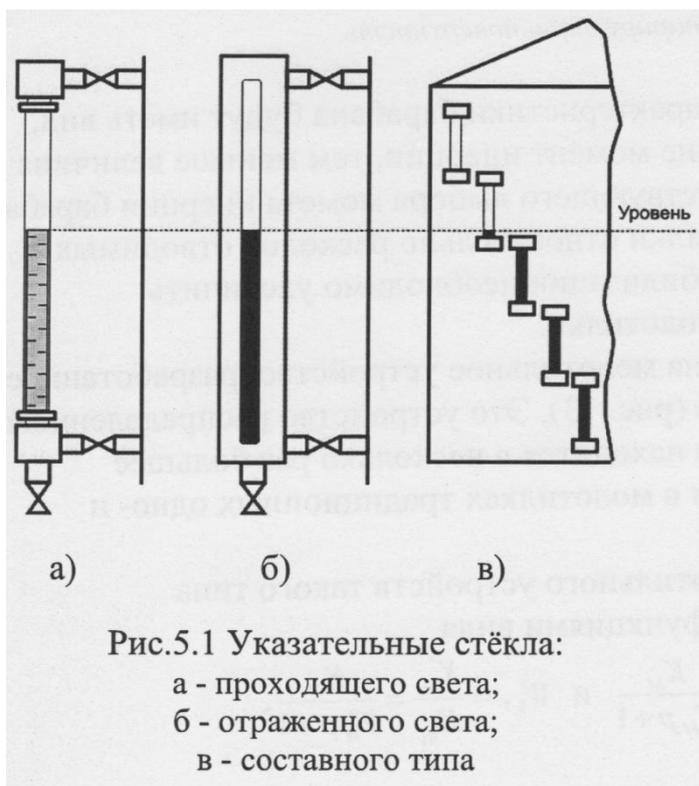


Рис.5.1 Указательные стёкла:  
а - проходящего света;  
б - отраженного света;  
в - составного типа

Работа указательных стекол основана на принципе сообщающихся сосудов. Указательное стекло соединяют с сосудом нижним концом (для

открытых сосудов) или обоими концами (для сосудов с избыточным давлением или разрежением). Наблюдая за положением уровня жидкости в стеклянной трубке, можно судить об изменении уровня в сосуде. Указательные стёкла снабжают вентилями или кранами для отключения их от сосуда и продувки системы.

В арматуру указательных стекол сосудов, работающих под давлением, обычно вводят предохранительные устройства, автоматически закрывающие каналы в головках при случайной поломке стекла.

Существуют указательные стекла проходящего (рис.5.1,а) и отраженного света (рис.5.1,б). Плоские указательные стекла рассчитаны на давление до 2,94 МПа и температуру до 300 °С.

Указательные стекла не рекомендуется употреблять длиной более 0,5 м, поэтому при контроле уровня, изменяющегося больше чем на 0,5 м, устанавливают несколько стекол (рис. 5.1, в) так, чтобы верх предыдущего стекла перекрывал низ последующего.

## **ЛЕКЦИЯ по теме № 2.6.2. Уровнемеры непрерывного действия**

### **ВОПРОСЫ**

1. Уровнемеры непрерывного действия:

-  поплавковые;
-  буйковые;
-  гидростатические;
-  электрические.

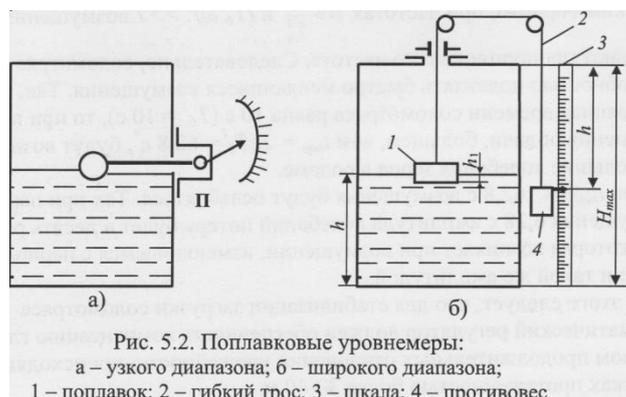
### **ЛИТЕРАТУРА**

1. Чистофорова Н.В., Колмогоров А.Г. Технические измерения и приборы. Ч.1. Измерение теплоэнергетических параметров. Учебное пособие. 2008. с. 164-174.

## 1. Уровнемеры непрерывного действия

### Поплавковые уровнемеры

Среди существующих разновидностей уровнемеров поплавковые являются наиболее простыми. Получили распространение поплавковые уровнемеры узкого и широкого диапазонов. Поплавковые уровнемеры узкого диапазона (рис. 5.2, а) обычно представляют собой устройства, содержащие шарообразный поплавок диаметром 80 - 100 мм, выполненный из нержавеющей стали. Поплавок плавает на поверхности жидкости и через штангу и специальное сальниковое уплотнение соединяется либо со стрелкой измерительного прибора, либо с преобразователем  $\Pi$  угловых перемещений в унифицированный электрический или пневматический сигналы.



Поплавковые уровнемеры широкого диапазона (рис.5.2, б) представляют собой поплавок 1, связанный с противовесом 4 гибким тросом 2. В нижней части противовеса укреплена стрелка, указывающая по шкале 3 значения уровня жидкости в резервуаре. При расчетах поплавковых уровнемеров подбирают такие конструктивные параметры поплавка, которые обеспечивают состояние равновесия системы

«поплавок — противовес» только при определенной глубине погружения поплавка. Если пренебречь силой тяжести троса и трением в роликах, состояние равновесия системы «поплавок — противовес» описывается уравнением:

$$G_{\Gamma} = G_{\Pi} + Sh_1\rho_{ж}g , \quad (5.1)$$

где  $G_{\Gamma}$ ,  $G_{\Pi}$  – силы тяжести противовеса и поплавка;  $S$ -площадь поплавка;  $h_1$  -глубина погружения поплавка;  $\rho_{ж}$  -плотность жидкости.

Повышение уровня жидкости изменяет глубину погружения поплавка и на него действует дополнительная выталкивающая сила. В результате равенство (5.1) нарушается и противовес опускается вниз до тех пор, пока глубина погружения поплавка не станет равной  $h_1$ . При понижении уровня действующая на поплавок выталкивающая сила уменьшается и поплавок начинает опускаться вниз до тех пор, пока глубина погружения поплавка не станет равной  $h_1$ .

### **Буйковые уровнемеры**

В основу работы буйковых уровнемеров положено физическое явление, описываемое законом Архимеда. Он гласит, что на тело, погруженное в жидкость, действует выталкивающая сила  $F$ , пропорциональная весу вытесненной им жидкости. Чувствительным элементом в этих уровнемерах является цилиндрических боек, изготовленный из материала с плотностью, большей плотности жидкости. Зачастую боек выполнен в виде трубы из нержавеющей стали длиной  $H_6$ , запаянной с обеих сторон, к одному из концов которой приделан крючок. Боек находится в вертикальном положении и частично погружен в жидкость. Длина буйка  $H_6$  подбирается приближенной к максимальному измеряемому уровню в аппарате.

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

При изменении уровня жидкости в аппарате согласно закону Архимеда вес буйка в жидкости изменяется пропорционально изменению уровня. Выталкивающая сила, действующая на буюк, равна:

$$F = \rho g V_{\text{ж}} = \rho g S h , \quad (5.2)$$

где  $\rho$  - плотность измеряемой жидкости;  $g$  - ускорение свободного падения;  $V_{\text{ж}}$  - объем вытесненной буйком жидкости;  $S$  - площадь поперечного сечения буйка;  $h$  - длина буйка, погруженного в жидкость.

Измерительная схема буйкового уровнемера приведена на рис. 5.3. Уровнемер работает следующим образом. Когда уровень жидкости в аппарате равен или меньше начального  $h_0$  (величина  $h_0$  называется зоной нечувствительности уровнемера), измерительная штанга 2, на которую подвешен буюк 1, находится в равновесии, так как момент  $M_1$  создаваемый весом буйка  $G_1$ , уравновешивается моментом  $M_2$ , создаваемым противовесом 4.

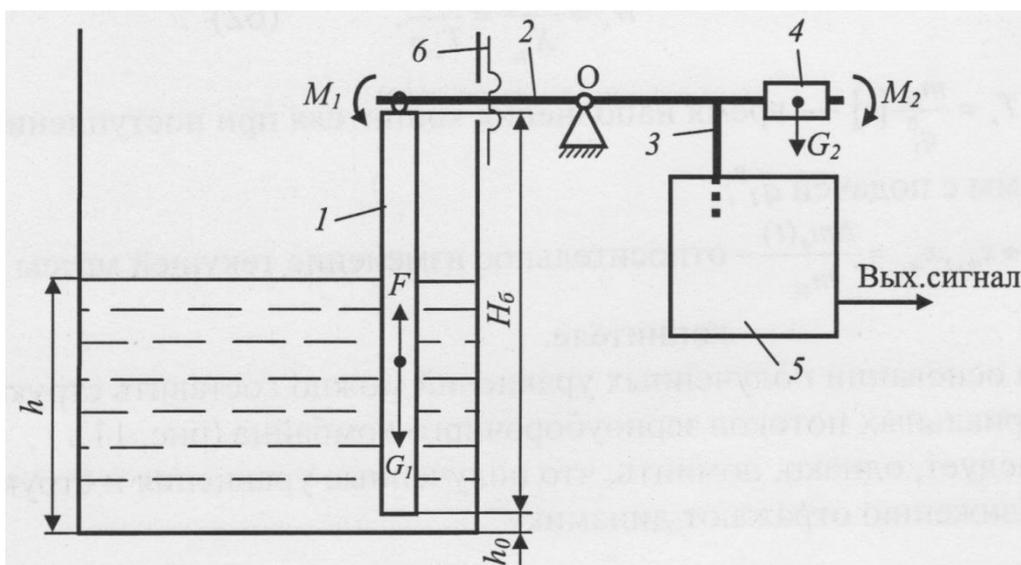


Рис.5.3. Измерительная схема буйкового уровнемера:  
1 – буюк; 2 – штанга; 3 – рычаг; 4 – противовес;  
5 – преобразователь; 6 – уплотнительная мембрана

Когда уровень жидкости становится больше  $h_0$  (например,  $h$ ), часть буйка длиной  $(h - h_0)$  погружается в жидкость, поэтому вес буйка уменьшается на величину

$$F = \rho g S(h - h_0), \quad (5.3)$$

а следовательно, уменьшается и момент  $M_1$ , создаваемый буйком на штанге 2. Так как  $M_2$  становится больше  $M_1$ , штанга поворачивается вокруг точки О по часовой стрелке на небольшой угол и перемещает рычаг 3 преобразователя 5. Преобразователь (электрический или пневматический) формирует выходной сигнал, который является выходным сигналом уровнемера. Движение измерительной системы преобразователя происходит до тех пор, пока сумма моментов всех сил, действующих на рычаг 2, не станет равной нулю.

Герметизация технологического аппарата при установке в нем чувствительного элемента достигается уплотнительной мембраной 6. При необходимости боек может быть установлен в выносной камере, располагаемой вне технологического аппарата.

Минимальный верхний предел измерений буйковых уровнемеров - 0,025 м, максимальный - 16 м. Значение верхнего предела измерений приборов должно выбираться из ряда: 250; 400; 600; 1000; 1600; 2500; 4000; 6000; 8000; 10000 мм, хотя по согласованию с заказчиком длина буйка может быть выполнена индивидуально.

### **Гидростатические уровнемеры**

Данный метод измерения уровня основан на определении гидростатического давления, оказываемого жидкостью на дно резервуара. Величина гидростатического давления на дно резервуара  $P$  зависит от высоты столба жидкости над измерительным прибором  $h$  и от плотности жидкости

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

$\rho$ , т.е.  $P_r = \rho gh$ , соответственно  $h = P_r / \rho g$ , где  $g=9,81$  м/с (это справедливо только для неподвижных жидкостей).

Измерение гидростатического давления может осуществляться:

- датчиком избыточного давления (манометром), подключаемым на высоте, соответствующей нижнему предельному значению уровня;
- дифференциальным манометром, подключаемым к резервуару на высоте, соответствующей нижнему предельному значению уровня, и к газовому пространству над жидкостью;
- измерением давления газа (воздуха), прокачиваемого по трубке, опущенной в заполняющую резервуар жидкость на фиксированное расстояние (пьезометрический метод).

На рис. 5.4 приведена схема измерения уровня датчиком избыточного давления (манометром). Применяемый для этих целей датчик **ДИ** может быть любого типа с соответствующими пределами измерений, определяемыми зависимостью  $P_r = \rho gh$ .

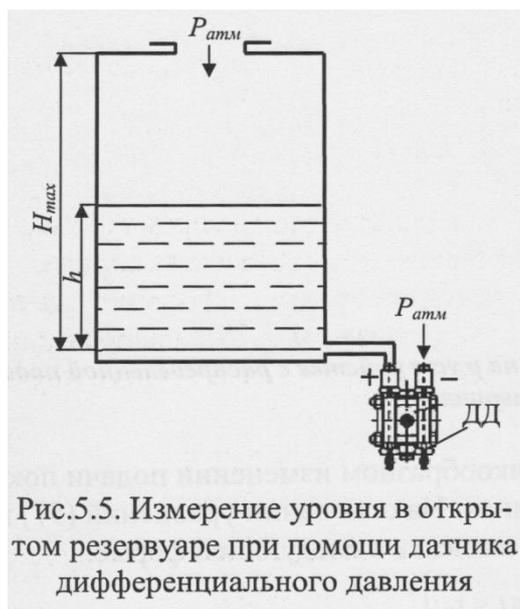


При измерении уровня данным способом имеют место погрешности измерения, определяемые классом точности измерительного прибора, изменениями плотности жидкости, а также колебаниями атмосферного

давления. Если сосуд находится под избыточным давлением, данная измерительная схема непригодна, т.к. к гидростатическому давлению прибавляется избыточное давление над поверхностью жидкости, не учитываемое данной измерительной схемой.

Более широкое применение получили схемы измерения уровня с использованием дифференциальных датчиков давления (дифманометров). Эти схемы используются для измерения уровня жидкости в технологических аппаратах, находящихся под избыточным давлением. С помощью дифференциальных датчиков давления возможно также измерение уровня жидкости в открытых резервуарах, уровня раздела жидкостей.

Измерение уровня в открытых резервуарах, находящихся под атмосферным давлением, осуществляется по схеме, представленной на рис. 5.5.



Дифманометр ДД через импульсную трубку плюсовой камеры соединен с резервуаром в его нижней точке. При этом минусовая камера должна сообщаться с атмосферой. В этом случае устраняется погрешность, связанная с колебаниями атмосферного давления, т.к. результирующий перепад давления на дифманометре равен:

$$\Delta P = (P_{\Gamma} + P_{\text{атм}}) - P_{\text{атм}} = P_{\Gamma}.$$

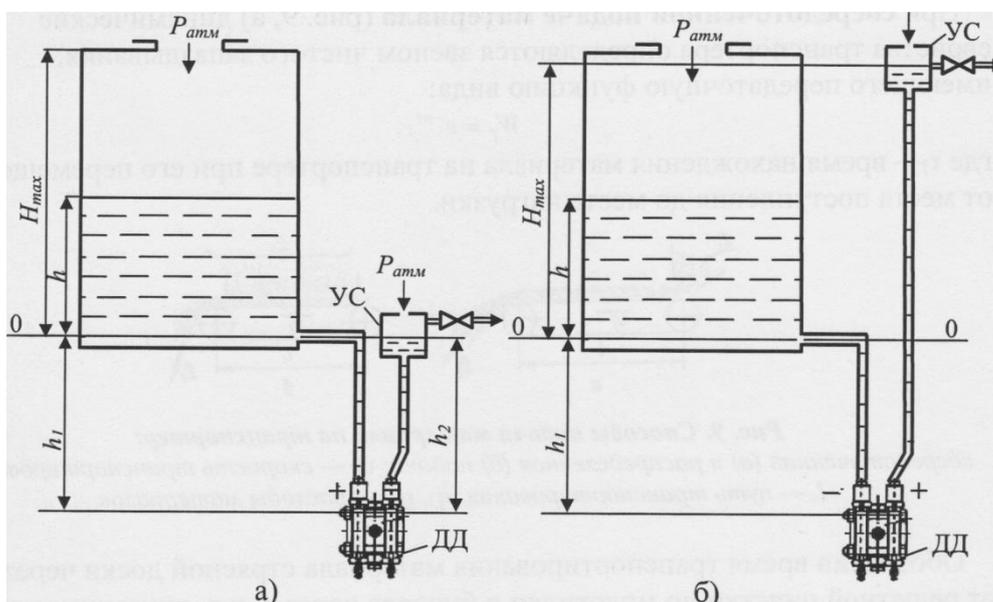
Данная измерительная схема используется, если дифманометр расположен на одном уровне с нижней плоскостью резервуара. В случае, если дифманометр оказывается ниже него на высоту  $h_1$  целесообразно использование **уравнительных сосудов** (УС). Схемы измерения с уравнительным сосудом для резервуаров, находящихся под атмосферным давлением представлены на рис. 5.6.

Уравнительный сосуд применяется для компенсации статического давления, создаваемого столбом жидкости  $h_1$  в импульсной трубке.

При измерении уровня в аппаратах, находящихся под избыточным давлением  $P_{\text{изб}}$ , применяют схему, приведенную на рис. 5.7.  $P_{\text{изб}}$  поступает в обе импульсные трубки дифманометра, поэтому измеряемый перепад давления  $\Delta P$  можно представить в виде:

$$\Delta P = \rho g H_{\text{max}} - \rho g h. \quad (5.5)$$

При  $h = 0$  max  $\Delta P = \Delta P_{\text{тах}}$ , а при  $h = H_{\text{тах}}$ ,  $\Delta P = 0$ . Как следует из уравнения, шкала измерительного прибора уровнемера будет обращенной.



Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

Рис.5.6. Измерение уровня в открытом резервуаре при помощи датчика дифференциального давления с использованием уравнивающего сосуда: а - с нижним расположением уравнивающего сосуда; б — с верхним расположением уравнивающего сосуда

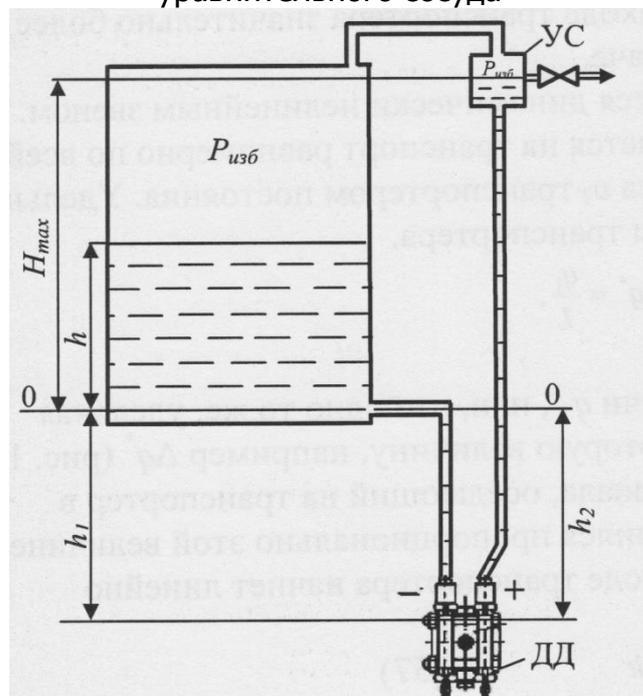
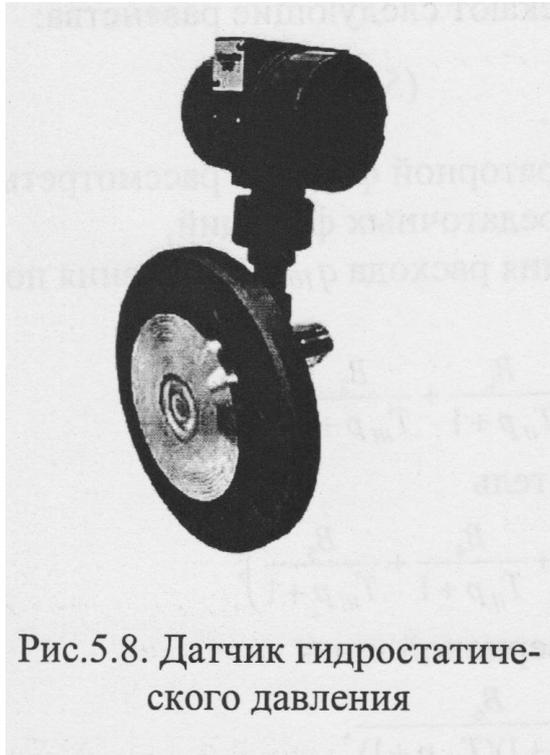


Рис.5.7. Измерение уровня в закрытом резервуаре при помощи датчика дифференциального давления с использованием уравнивающего сосуда.

В последнее время широкое распространение получили датчики гидростатического давления ДГ (рис. 5.8). У них, как и у дифманометров, имеются две измерительные камеры, одна из которых выполнена в виде открытой мембраны, а вторая в виде штуцера. Данный уровнемер всегда закрепляется непосредственно у дна резервуара, поэтому не имеет импульсных трубок, а значит, отсутствует необходимость в компенсации высоты импульсной труб

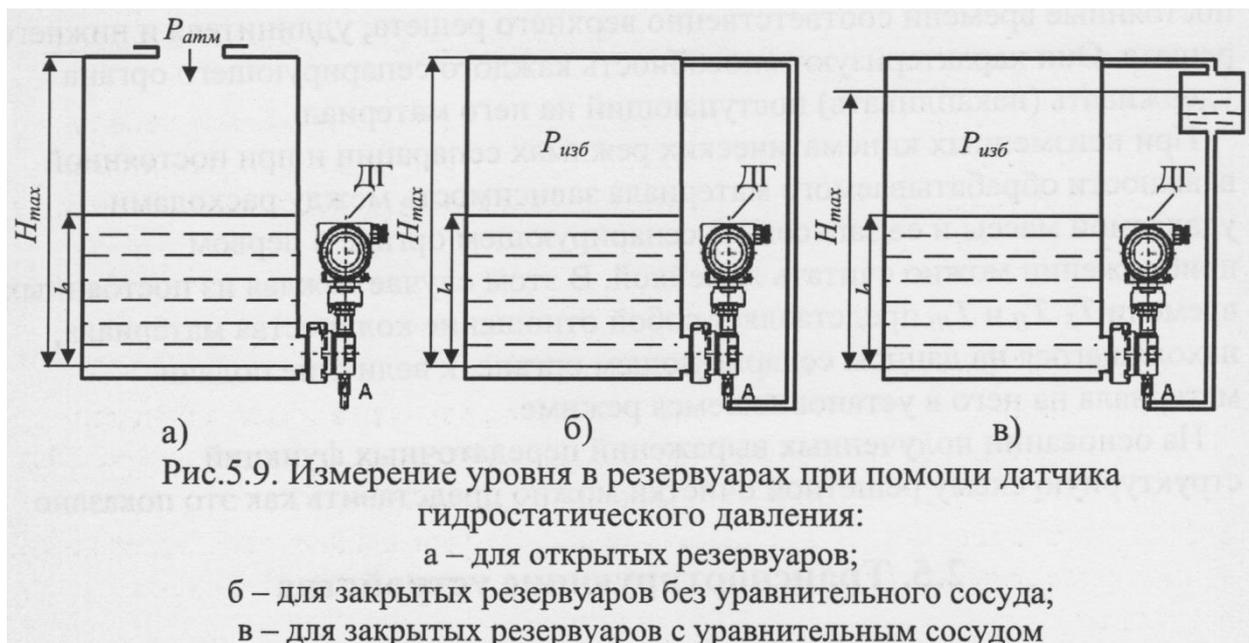
ки  $h_1$ . Возможные измерительные схемы с использованием гидростатического датчика давления представлены на рис.5.9. Схему, представленную на рис. 5.9, в, целесообразно использовать для процессов, где невозможно избежать обильного образования и

накопления конденсата в трубе, соединяющей датчик с объемом над жидкостью.

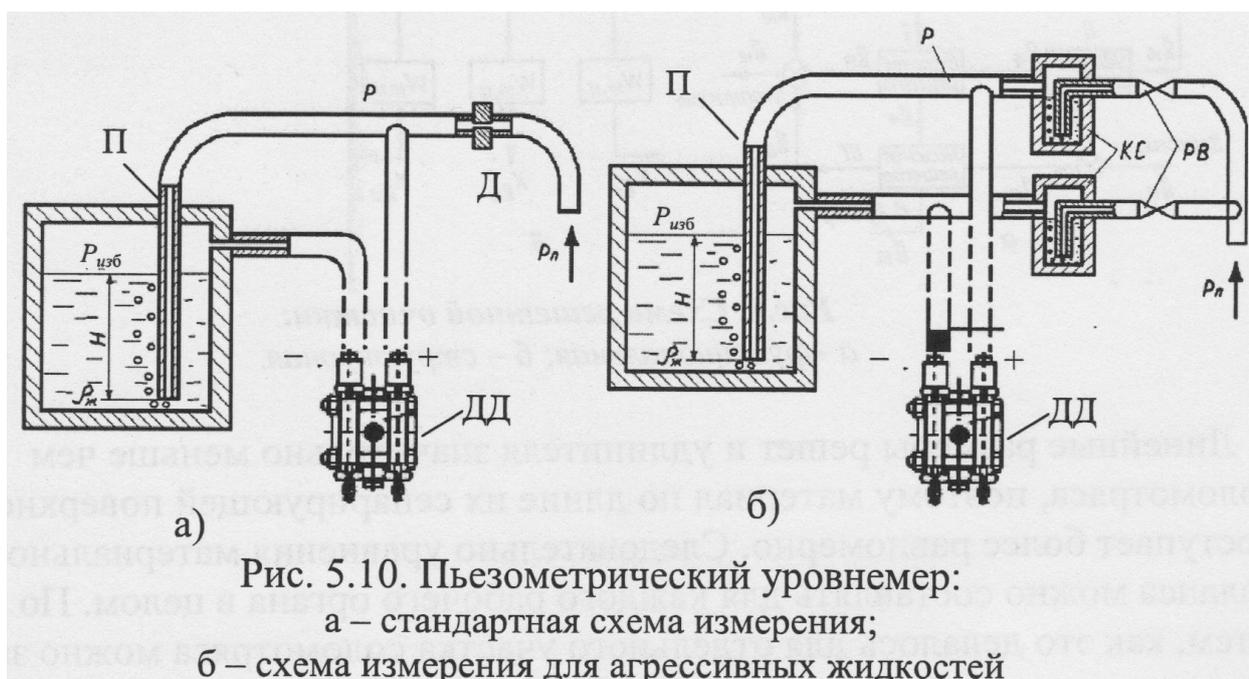


Уровнемеры, в которых измерение гидростатического давления осуществляется путем измерения давления газа, прокачиваемого по трубке, погруженной на фиксированную глубину в жидкость, заполняющую ре-

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений



резервуар, называют **пьезометрическими**. Схема пьезометрического уровнемера приведена на рис. 5.10.



Принцип их работы основан на принципе гидравлического затвора. Пьезометрическая трубка **П** размещается в аппарате, в котором измеряется уровень. Для измерения уровня используют воздух или инертный газ под давлением  $P_n$ , который продувают через слой жидкости.

Газ поступает в трубку через дроссель  $D$ , служащий для ограничения расхода. Давление  $P$  газа после дросселя измеряется дифманометром ДД.

При подаче газа давление в пьезометрической трубке постепенно повышается до тех пор, пока не станет равным давлению столба жидкости высотой  $H$  плюс давление над жидкостью  $P_{изб}$  (если имеется). Когда давление в трубке станет равным сумме этих давлений, из нижнего открытого конца трубки начинает выходить газ. Расход подбирают такой, чтобы газ покидал трубку в виде отдельных пузырьков (примерно один пузырек в секунду).

Уровень жидкости определяется по установившемуся давлению ( $P_{изв}$ ) в системе:

$$P - P_{изб} = H \rho_{ж} g ,$$

где  $P_{изб}$  — избыточное давление в аппарате (в частном случае  $P_{изб} = P_{атм}$ ).

Отсюда

$$H = (P - P_{изб}) / \rho_{ж} g . \quad (5.6)$$

В случае измерения уровня в сосудах, заполненных агрессивными жидкостями и газами (рис.5.10, б) обязателен непрерывный подвод воздуха или инертного газа в обе линии, подсоединяемые к дифференциальному манометру. Для наблюдения за непрерывностью на каждой линии устанавливают стеклянные контрольные сосуды КС с водяным затвором, по которому видно движение воздуха, или ротаметры. Количество подводимого воздуха устанавливают регулируемыми вентилями РВ.

### Электрические уровнемеры

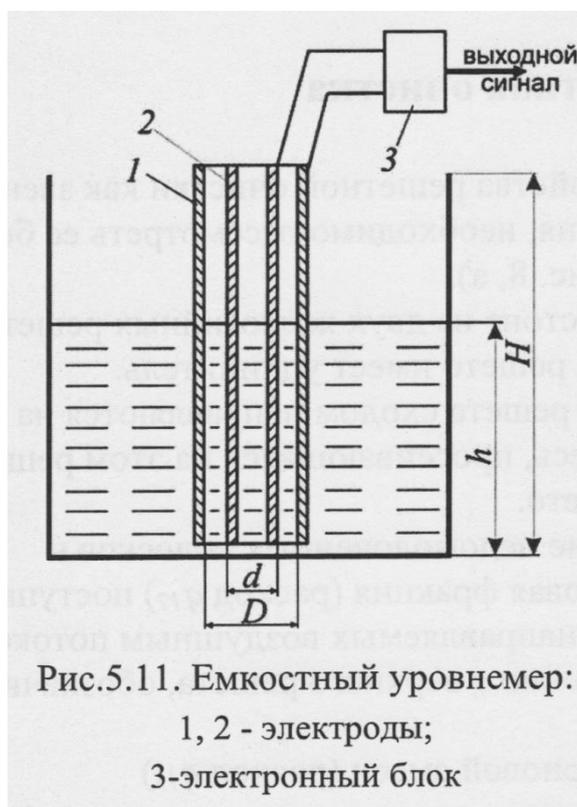
В электрических уровнемерах уровень жидкости преобразуется в какой-либо электрический сигнал. Наиболее распространены емкостные и омические уровнемеры.

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

Работа **емкостных уровнемеров** основана на том, что диэлектрическая проницаемость водных растворов солей, кислот и щелочей отличается от диэлектрической проницаемости воздуха либо водных паров.

Принципиальная схема емкостного уровнемера показана на рис.5.11.

В сосуд с жидкостью, уровень которой необходимо измерить, опущен преобразователь, представляющий собой электрический конденсатор, емкость которого зависит от уровня жидкости. Преобразователи выполняют цилиндрического и пластинчатого типов, а также в виде жесткого стержня.



Цилиндрический емкостной преобразователь выполнен из двух или нескольких концентрично расположенных труб, между которыми находится слой жидкости высотой  $h$ . Емкость преобразователя равна

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

сумме емкостей двух участков - погруженного в жидкость с диэлектрической проницаемостью  $\varepsilon_{ж}$  и находящегося в среде с диэлектрической проницаемостью  $\varepsilon_{cp}$  (для воздуха  $\varepsilon_{cp}=1$ ).

Емкость цилиндрического емкостного преобразователя равна:

$$C = C_h + C_{H-h} = 0,24 \frac{\varepsilon_{ж} h + \varepsilon_{cp} (H - h)}{\lg(D/d)},$$

где  $D$  и  $d$  - наружный и внутренний диаметр труб преобразователя,  $H$  - высота емкости;  $h$  - измеряемый уровень.

При измерении уровня агрессивных, но неэлектропроводных жидкостей обкладки преобразователя выполняют из химически стойких сплавов или покрывают тонкой антикоррозионной пленкой, диэлектрические свойства которой учитывают при расчете. Покрытие обкладок тонкими пленками применяют также при измерении уровня электропроводных жидкостей.

**Омические уровнемеры** используют главным образом для сигнализации и поддержания в заданных пределах уровня электропроводных жидкостей. Принцип их действия основан на замыкании электрической цепи источника питания через контролируемую среду, представляющую собой участок электрической цепи с определенным омическим сопротивлением. Прибор представляет собой электромагнитное реле, включаемое в цепь между электродом и контролируемым материалом. Схемы включения релейного сигнализатора уровня могут быть различны в зависимости от типа объекта и числа контролируемых уровней. На рис. 5.12, а показана схема включения прибора в токопроводящий объект.

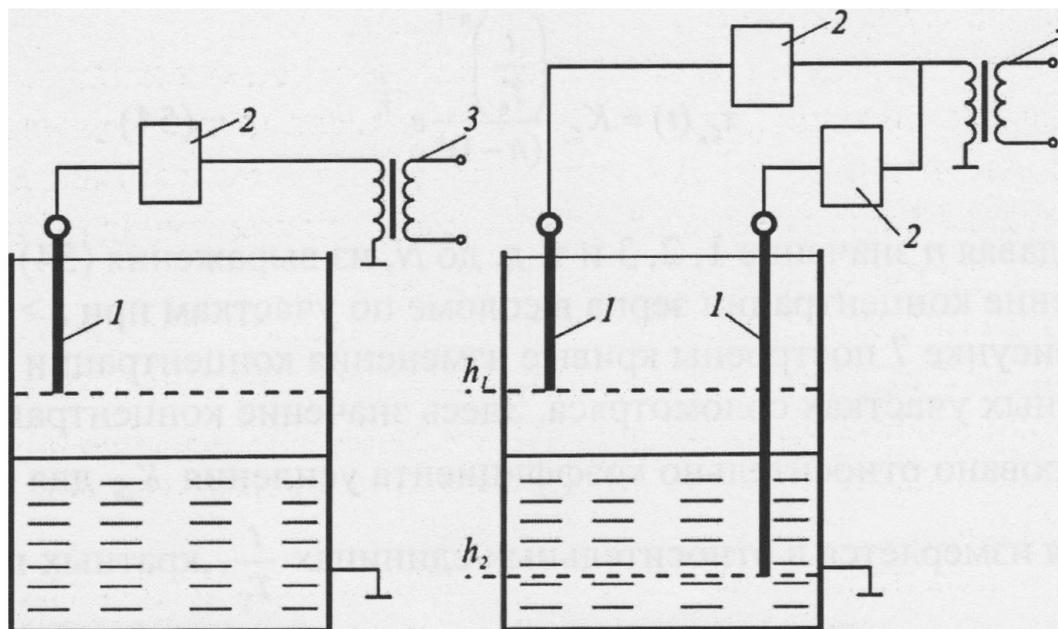


Рис. 5.12. Омические сигнализаторы уровня: а - одного уровня; б - двух уровней.  
1 - электрод; 2 - электромагнитное реле; 3 - источник питания

В этом случае для контроля одного уровня  $h$  можно использовать один электрод, одно реле и один провод. При контроле двух уровней  $h_1$  и  $h_2$  (рис. 5.12, б) их требуется уже по два.

В качестве электродов применяют металлические стержни или трубы и угольные электроды (агрессивные жидкости).

Основной недостаток всех электродных приборов – невозможность их применения в средах вязких, кристаллизующихся, образующих твердые осадки и налипающих на электроды преобразователей.

## ЛЕКЦИЯ по теме № 2.6.3. Уровнемеры непрерывного действия

### ВОПРОСЫ

1. Уровнемеры непрерывного действия:

- ✚ Радиоизотопные;
- ✚ ультразвуковые;

- ✚ радарные;
- ✚ волноводные.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Чистофорова Н.В., Колмогоров А.Г. Технические измерения и приборы. Ч.1. Измерение теплоэнергетических параметров. Учебное пособие. 2008. с.174-185.

### 1. Уровнемеры непрерывного действия

#### Радиоизотопные уровнемеры

Уровнемеры с радиоизотопными излучателями делятся на две группы:

- 1) со следящей системой, для непрерывного измерения уровня;
- 2) сигнализаторы (индикаторы) отклонения уровня от заданного значения.

Принципиальная схема следящего уровнемера приведена на рис. 5.13.

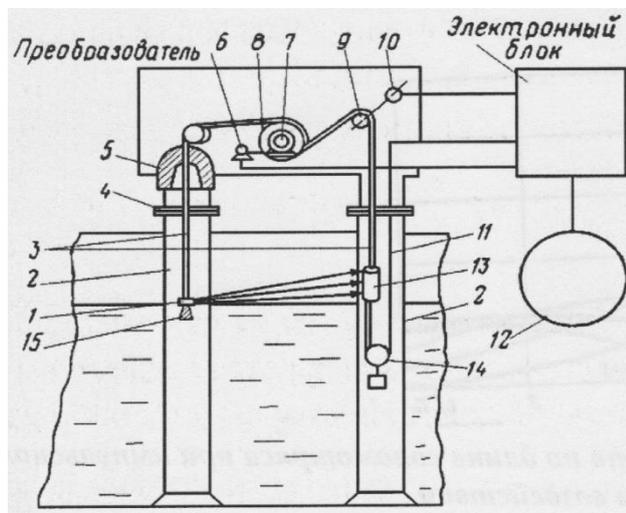


Рис.5.13. Радиоизотопный уровнемер:  
1-источник излучения; 2-трубки; 3-стальная лента; 4-фланцы; 5-свинцовый контейнер; 6-реверсивный двигатель; 7-червячная передача; 8-барабан; 9-зубчатый ролик; 10-первичный сельсин; 11-гибкий кабель; 12-показывающий прибор; 13-приемник излучения; 14-ролик с грузом; 15-свинцовая пробка

Действие прибора основано на сравнении интенсивностей потоков  $\gamma$  - лучей, проходящих выше или ниже уровня раздела двух сред разной плотности. Комплект прибора состоит из трех блоков:

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

1.3.13. преобразователя, содержащего источник и приемник излучения;

1.3.14. электронного блока;

1.3.15. показывающего прибора.

Преобразователь на фланцах 4 присоединен к вертикальным трубкам 2, установленным внутри объекта измерения. Расположенный в герметичном корпусе преобразователя реверсивный двигатель 6 через червячную передачу 7 вращает барабан 8, на котором укреплена стальная лента 3. На концах ленты свободно висят источник излучения 1 и приемник излучения 13. Электрический сигнал от приемника излучения через гибкий кабель 11 передается на электронный блок. При перемещении приемника кабель фиксируется в определенном положении при помощи ролика 14 с грузом. Лента 3 проходит через зубчатый ролик 9, на оси которого расположен первичный сельсин 10.

Вторичный сельсин находится в показывающем приборе. Ось вторичного сельсина через редуктор связана со стрелками показывающего прибора 12, который имеет две шкалы, градуированные в метрах и сантиметрах. В показывающем приборе имеется преобразователь, преобразующий угловое перемещение оси вторичного сельсина, пропорциональное положению уровня, в стандартный пневматический сигнал. Стандартная индукционная катушка служит для связи с вторичными приборами дифференциально-трансформаторной системы.

Для обеспечения радиационной защиты персонала при транспортировке, монтаже и ремонтных работах внутри объекта измерения источник излучения перемещается автоматически в свинцовый контейнер 5. Отверстие в контейнере при этом закрывается свинцовой пробкой 15, жестко

связанной с источником. Диапазон измерения уровня прибором до 10 м, основная погрешность измерения не превышает 1 см.

Использование приборов с радиоизотопными излучателями целесообразно там, где другие методы измерения непригодны.

### Ультразвуковые уровнемеры

Ультразвуковые уровнемеры (частота выше 20 КГц) позволяют измерять уровень в отсутствие контакта с измеряемой средой и в труднодоступных местах. В ультразвуковых уровнемерах обычно используется принцип отражения звуковых волн от границы раздела «жидкость - газ (воздух)». На рис.5.14 показана измерительная схема ультразвукового уровнемера, работающего на отражении звука от границы раздела двух сред.

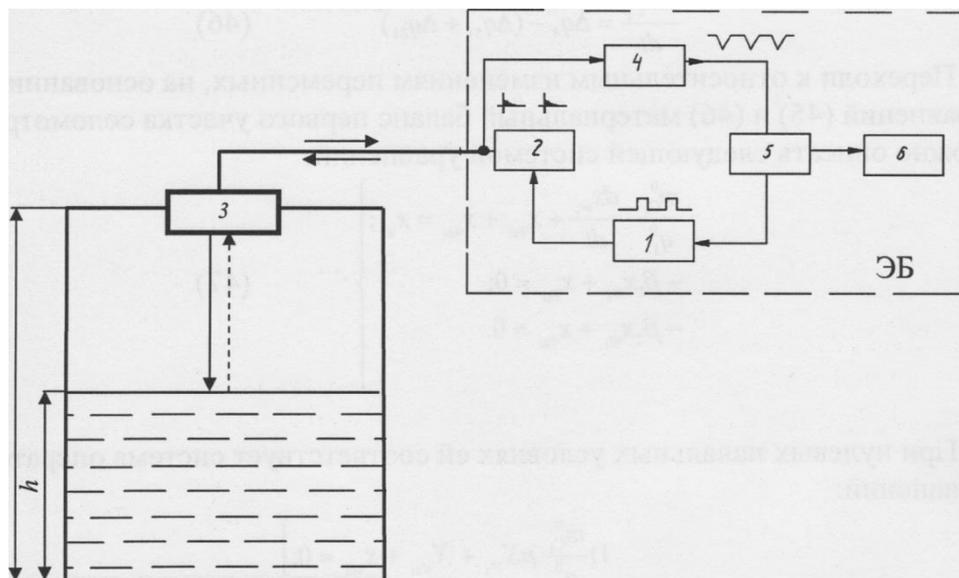


Рис.5.14. Измерительная схема ультразвукового уровнемера:

- 1 - задающий генератор; 2 - генератор импульсов;
- 3 - пьезоэлектрический излучатель; 4 - усилитель;
- 5 - измеритель времени; 6 - вторичный прибор

Прибор состоит из электронного блока (ЭБ), пьезоэлектрического излучателя (преобразователя) и вторичного прибора. Электронный блок

состоит из генератора 1, задающего частоту повторения импульсов, генератора импульсов 2, посылаемых в измеряемую среду, приемного усилителя 4 и измерителя времени 5.

Генератор 1 управляет работой генератора 2 и схемой измерения времени. Генератор 2 формирует короткие импульсы для возбуждения пьезоэлектрического излучателя 3. Электрический импульс, преобразованный в ультразвуковой в пьезоэлектрическом излучателе, распространяется в газовой среде, отражается от границы раздела «жидкость - воздух», возвращается обратно, воздействуя спустя некоторое время на тот же излучатель, и преобразуется в электрический сигнал. Оба импульса: посланный отраженный, разделенные во времени, поступают на усилитель 4.

Время  $\tau$  между моментом посылки импульса и моментом поступления отраженного импульса является функцией высоты измеряемого уровня, т. е.

$$\tau = 2(H_{\max} - h) / c , \quad (5.7)$$

где  $H_{\max}$  - максимальный измеряемый уровень;  $h$  - текущий уровень;  $c$  - скорость распространения ультразвука в измеряемой среде.

Постоянное напряжение, пропорциональное времени запаздывания отраженного сигнала (уровню), получаемое в измерителе времени, подается на вторичный прибор 6.

Химические и физические свойства среды не влияют на результат измерения, полученный ультразвуковым методом, поэтому без проблем может измеряться уровень агрессивных, абразивных, вязких и клейких веществ. Однако необходимо помнить, что на скорость распространения ультразвука оказывает влияние температура воздуха в среде его распро-

странения. Кроме того, будучи сильно зависимой от температуры, скорость ультразвука зависит от давления воздуха: она увеличивается с ростом давления. Связанные с изменениями давления в нормальной атмосфере относительные изменения скорости звука составляют приблизительно 5%. Скорость ультразвука также зависит от состава воздуха, например, от процентного содержания  $\text{CO}_2$  и влажности. Влияние относительной влажности на скорость ультразвука является меньшим по сравнению с влиянием, оказываемым температурой и давлением: дополнительная разница скорости в сухом и насыщенном влагой воздухе составляет около 2%.

#### **Основные достоинства метода:**

- бесконтактный;
- применим для загрязнённых жидкостей;
- реализация метода не предъявляет высоких требований к износостойкости и прочности оборудования;
- независимость от плотности контролируемой среды.

#### **Недостатки:**

- большое расхождение конуса излучения;
- отражения от нестационарных препятствий (например, мешалок) могут вызвать ошибки измерения;
- применим только в резервуарах с нормальным атмосферным давлением;
- на сигнал оказывают влияние пыль, пар, газовые смеси и пена.

#### **Радарные уровнемеры**

Существует множество самых различных методов контроля уровня, позволяющих получать информацию как о предельных его значениях, так и о текущем значении. Гораздо меньшее число методов реализовано в

промышленных системах. Некоторые из реализованных методов являются уникальными, и случаи их применения можно пересчитать по пальцам одной руки, другие - гораздо более универсальны и потому широко используются в серийных системах. Но есть и методы, удачно сочетающие в себе и уникальность, и универсальность. В первую очередь, к ним можно отнести микроволновый бесконтактный метод, в просторечии небезосновательно именуемый **радарным**. Этот метод, с одной стороны, обеспечивает минимальный контакт измерительного устройства с контролируемой средой, а с другой стороны - практически полностью нечувствителен к изменению её температуры и давления. Причем и температура, и давление могут иметь значения, недопустимые для применения других методов, в первую очередь, контактных. Безусловно, уникальность возможностей не может не сказываться на цене приборов. Но прогресс в этой области настолько велик, а преимущества метода столь очевидны, что можно достаточно уверенно прогнозировать очень широкое распространение радарных систем контроля уровня уже в самом недалеком будущем.

При всех существующих различиях общим остается принцип действия: излучённый СВЧ - сигнал отражается от контролируемого объекта, принимается обратно и соответствующим образом обрабатывается (рис. 5.15).

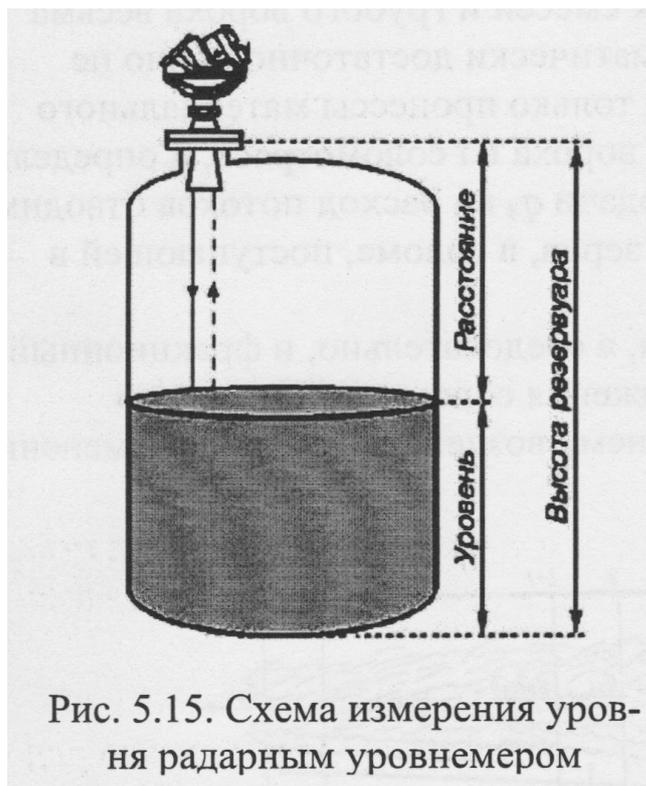


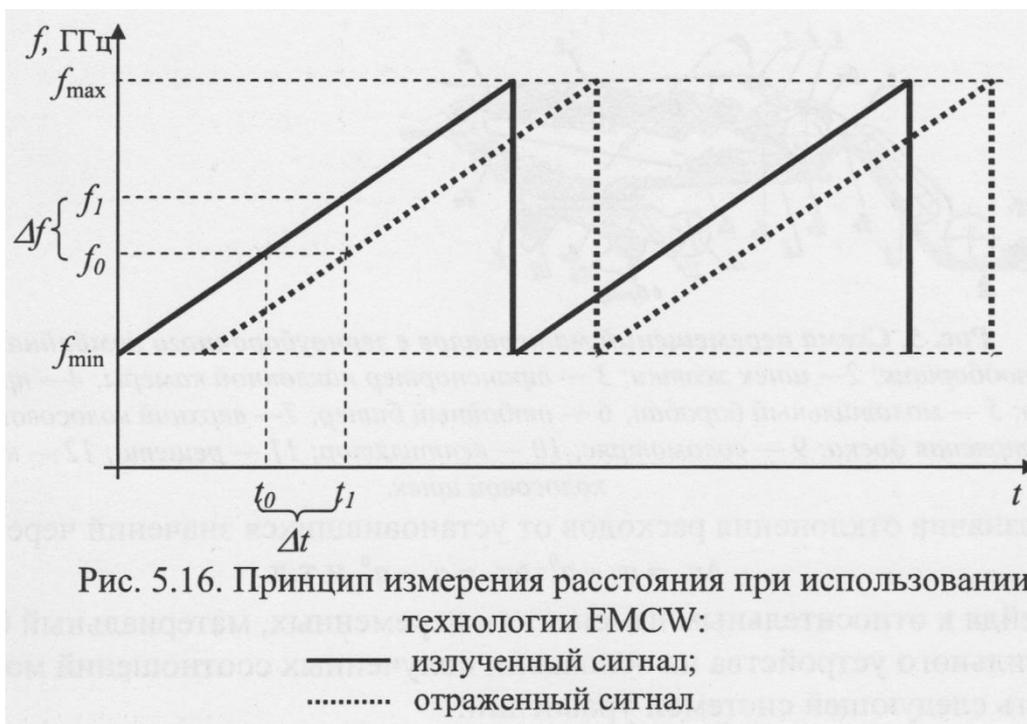
Рис. 5.15. Схема измерения уровня радарным уровнемером

Результатом обработки является значение того или иного параметра объекта: дальность, скорость, направление движения и т.д. Вне зависимости от используемого принципа в радарных уровнемерах применяются СВЧ - сигналы с несущей частотой, лежащей в диапазоне от 5,8 до 26 ГГц.

В настоящее время в радарных системах контроля уровня применяются преимущественно две технологии: **с непрерывным частотно - модулированным излучением** (FMCW - frequency modulated continuous wave) и **импульсным излучением сигнала**.

Технология FMCW реализует косвенный метод измерения расстояния. Уровеньмер излучает микроволновый сигнал, частота которого изменяется непрерывно по линейному закону между двумя значениями  $f_0$  и  $f_1$  (рис. 5.16). Отраженный от поверхности контролируемой среды (жидкость, сыпучий материал) сигнал принимается той же антенной и обрабатывается. Его частота сравнивается с частотой сигнала,

излучаемого в данный момент времени. Значение разности частот  $\Delta f$  прямо пропорционально расстоянию до поверхности  $l$ .



Принцип очень прост, но на пути его практической реализации существует множество технических и технологических проблем. Одной из важнейших, непосредственно влияющих на точность измерения, является обеспечение высокой линейности изменения частоты сигнала и особенно ее температурной стабильности, поскольку уровнемеры, как правило, предназначены для эксплуатации в очень широком температурном диапазоне.

Идеальными для уровнемера FMCW являются условия, когда поверхность контролируемой среды имеет достаточно большую площадь, на ней отсутствуют какие-либо возмущения, а сам резервуар полностью свободен от каких-либо внутренних конструктивных элементов. Однако реальные условия разительно отличаются от идеальных и приносят дополнительные проблемы, связанные с образованием большого числа паразитных эхо-сигналов от элементов конструкции, неровностей

поверхности (особенно при контроле сыпучих материалов) и т.п. (рис. 5.17).

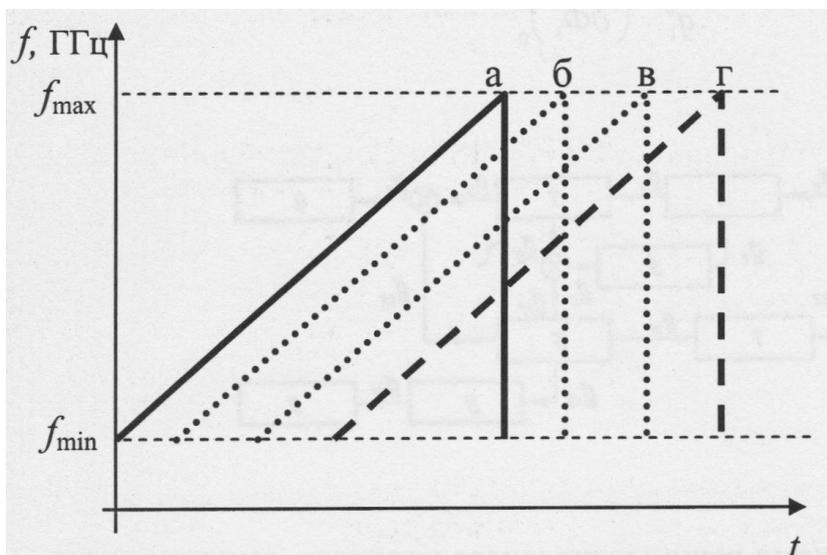


Рис. 5.17. Паразитные отражения при использовании технологии FMCW:  
а – излученный сигнал; б, в – паразитные эхосигналы; г – полезный отраженный сигнал

Кроме того, приём и передача сигнала осуществляются одновременно. В результате на входе приёмника уровнемера присутствует сложная смесь сигналов с очень большим разбросом по амплитуде. Для выделения частот эхосигналов применяется алгоритм, основанный на методе быстрого преобразования Фурье. Для его реализации требуются значительные вычислительные ресурсы и относительно продолжительное время. Выделять полезный эхосигнал и игнорировать остальные позволяет специальное программное обеспечение, установленное на сервисном компьютере или встроенное в уровнемер.

В радарх **импульсного** типа используется метод определения расстояния, основанный на непосредственном измерении времени прохождения СВЧ - импульса от излучателя до контролируемой поверхности и обратно. В результате для отраженного сигнала применение процедуры быстрого преобразования Фурье не требуется. Однако время прохождения сигналом дистанции в несколько метров составляет всего единицы наносекунд. Поэтому для обеспечения измерения столь малых значений с требуемой точностью все-таки требуется применение специальных методов обработки сигнала. Для этого обычно используется преобразование СВЧ - сигнала в сигнал промежуточной частоты ультразвукового диапазона. После такого преобразования к обработке сигналов радарного уровнемера могут быть легко применимы методы и алгоритмы, используемые в ультразвуковых приборах контроля уровня. Радарные уровнемеры импульсного типа обладают рядом преимуществ перед устройствами, использующими технологию FMCW. Во-первых, принимаемые эхо-сигналы вне зависимости от природы их источника разнесены во времени, что обеспечивает их более простое разделение. Во-вторых, среднее энергопотребление импульсных уровнемеров составляет единицы мкВт (пиковая мощность при излучении СВЧ-импульса составляет около 1 мВт), что позволяет использовать для их подключения двухпроводную схему с питанием от измерительной цепи со стандартным токовым сигналом 4-20 мА; в приборах, работающих по технологии FMCW, энергопотребление существенно выше из-за непрерывного характера излучения, а также постоянно выполняемой математической обработки эхо-сигнала. И, в- третьих, в импульсных уровнемерах электроника для выполнения первичной обработки сигнала проще, а сама обработка выполняется исключительно аппаратными

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

средствами; в результате благодаря меньшему числу комплектующих надёжность прибора получается потенциально выше.



Рис. 5.18. Конструкция радарного уровнемера:  
1 – электронный блок; 2 – дисплей;  
3 – распределительная коробка;  
4 - кабельные вводы; 5 – крепежное приспособление; 6 – антенна

Конструкция одного из типов радарного уровнемера представлена на рис. 5.18. Одним из самых важных элементов радарного уровнемера является его антенная система. Именно от антенны зависит, какая часть излучённого сигнала достигнет поверхности контролируемого материала и какая часть отражённого сигнала будет принята и передана на вход электронного блока для последующей обработки. В радарных системах контроля уровня преимущественно используются антенны пяти типов: рупорная; стержневая; трубчатая; параболическая; планарная.



Рис. 5.19. Типы антенн радарных уровнемеров:  
а – стержневая; б – рупорная; в – трубчатая;  
г – параболическая; д – планарная

Стержневая и рупорная антенны (рис. 5.19, а,б) наиболее широко используются в составе приборов, предназначенных для контроля уровня в технологических установках. Трубчатые антенны (рис. 5.19, в) применяются в тех случаях, когда выполнение измерения посредством рупорной или стержневой антенны связано с очень большими трудностями или просто невозможно, например, при наличии пены, сильного испарения или высокой турбулентности контролируемой жидкости.

Параболические и планарные антенны (рис. 5.19, г,д) используются исключительно в составе систем коммерческого учета нефтепродуктов.

При контроле уровня в закрытых емкостях, а это наиболее частое применение радарных уровнемеров, антенна, находясь внутри

резервуара, подвергается воздействию всех неблагоприятных факторов, которые там только могут присутствовать.

К ним относятся и высокое давление, и высокая температура, и агрессивные испарения, и пыль, и т.д. Безусловно, конструкция антенны и материалы, используемые для ее изготовления, должны всему этому успешно противостоять. Кроме того, конструкция самих резервуаров отличается огромным разнообразием и потому способна создать массу проблем при установке уровнемера.

### Волноводные уровнемеры

Данный тип уровнемеров относится к уровнемерам контактного типа. Принцип действия волноводного уровнемера основан на технологии рефлектометрии с временным разрешением TDR (Time Domain Reflectometry). Микроволновые радиоимпульсы малой мощности направляются вниз по зонду, погруженному в технологическую среду, уровень которой нужно определить (рис.5.20).

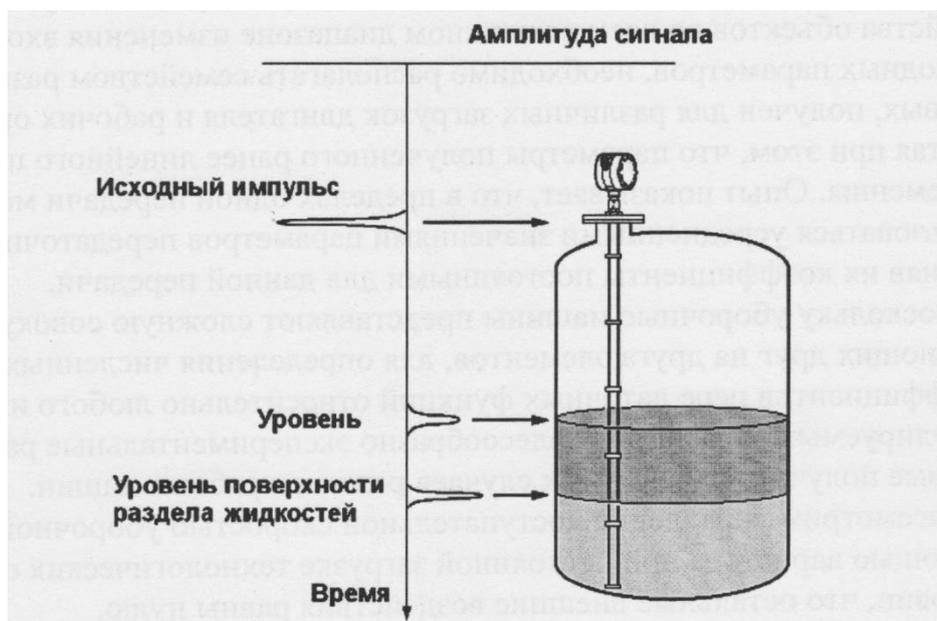


Рис. 5.20. Схема измерения уровня волноводным уровнемером

Когда радиоимпульс достигает среды с коэффициентом диэлектрической проницаемости, отличной от проницаемости газа над

поверхностью среды, то из-за разности коэффициентов диэлектрических проницаемостей происходит отражение микроволнового сигнала в обратном направлении. Временной интервал между моментом передачи зондирующего импульса и моментом приема эхо-сигнала пропорционален расстоянию до уровня контролируемой среды. Аналогичным образом измеряется расстояние между датчиком и границей раздела двух жидких сред с различными коэффициентами диэлектрической проницаемости. Интенсивность отраженного сигнала зависит от диэлектрической проницаемости среды. Чем выше диэлектрическая проницаемость, тем выше интенсивность отраженного сигнала. Волноводная технология имеют ряд преимуществ по сравнению с другими методами измерения уровня, поскольку радиоимпульсы практически невосприимчивы к составу среды, атмосфере резервуара, температуре и давлению.

Поскольку радиоимпульсы направляются по зонду, а не свободно распространяются в пространстве резервуара, то волноводная технология может с успехом применяться для малых и узких резервуаров, а также для резервуаров с узкими горловинами. В случае необходимости съемная голова датчика позволяет заменять модуль электроники, не нарушая герметичности резервуара, что может быть важно при измерении уровня сжиженных газов и аммиака.

Волноводный уровнемер (рис 5.21) включает следующие основные элементы: корпус, электронный модуль, фланцевое или резьбовое соединение с резервуаром и зонд. Корпус уровнемера, состоящий из двух независимых отсеков (отсек электроники и клеммный отсек для подключения кабелей), может быть снят с зонда, при этом открывать резервуар не требуется. Кроме того, корпус такой конструкции повышает надежность и безопасность уровнемера при эксплуатации в опасных производствах.

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

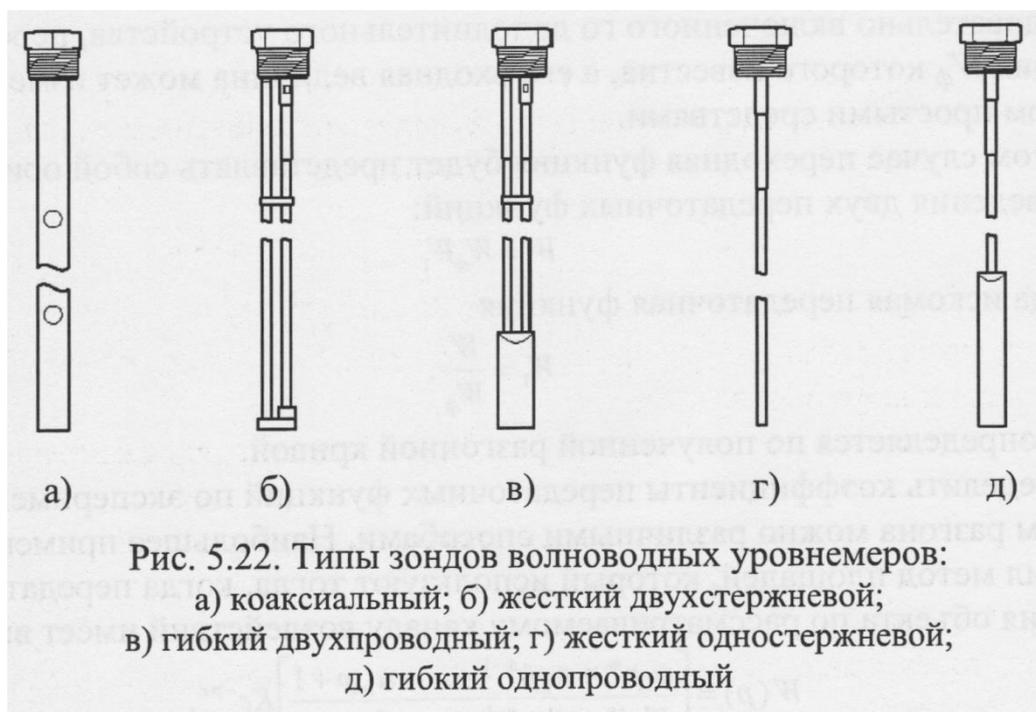
Электронный модуль излучает электромагнитные импульсы, которые распространяются по зонду, выполняет обработку отраженного (принятого) сигнала и выдает информацию в виде аналогового или цифрового сигнала на встроенный жидкокристаллический индикатор или в систему измерения.



В зависимости от условий технологического процесса используется один из пяти типов зондов: коаксиальный, жесткий двухстержневой, жесткий одностержневой, гибкий двухпроводный и гибкий однопроводный. Выбор зонда обуславливается свойствами среды (плотность, вязкость, агрессивность), уровень которой необходимо измерить.

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

Коаксиальный зонд (рис. 5.22, *а*) - оптимальное решение для измерения уровня внешней поверхности и уровня раздела двух жидкостей, например, растворителей, спиртов, водных растворов, сжиженных газов и жидкого аммиака. Коаксиальный зонд обеспечивает самое высокое отношение сигнал/шум. Рекомендуется для измерения уровня жидкостей с низкой диэлектрической проницаемостью, а также для измерений в условиях турбулентности, в присутствии пены или потоков жидкости или пара вблизи зонда (оболочка коаксиального зонда работает как успокоительный колодец).



Он может использоваться в условиях электромагнитных помех, допускается контакт зонда с металлическими конструкциями. Не рекомендуется для сред, склонных к кристаллизации или налипанию, а также для порошков. Максимальный диапазон измерений при использовании коаксиального зонда составляет 6 м.

Двух стержневой жесткий (рис. 5.22, б) или двухпроводной гибкий (рис. 5.22, в) зонды рекомендуются при измерении уровня жидкостей

(нефтепродукты, растворители, водные растворы и т.п.). Возможно применение для измерения уровня и раздела жидких сред. Могут применяться с более вязкими жидкостями, чем рекомендовано для коаксиального зонда, однако не следует применять этот зонд для липких продуктов, когда существует вероятность налипания и образования перемычек между двумя стержнями или проводами зонда. Двухстержневой зонд с жесткими стержнями подходит для измерений в диапазоне до 3 м. Для гибкого двухпроводного зонда диапазон измерений до 23,5 м.

Одностержневой жесткий (рис. 5.22, г) или однопроводной гибкий (рис. 5.22, э) зонды менее восприимчивы к налипанию среды и образованию наростов. Они могут применяться для вязких жидкостей, взвесей, водных растворов и алкогольных напитков, а также использоваться для санитарных целей в пищевой и фармацевтической промышленности. Можно использовать для измерения уровня твердых частиц, гранул и порошков, например, зерна, песка, сажи и т.п. Применяются для измерения уровня вязких жидкостей, например, сиропа, меда и т.п., а также водных растворов. Одностержневой зонд рекомендуется для измерений в диапазоне до 3 м, а однопроводный гибкий - до 23,5 м.

## **ЛЕКЦИЯ по теме № 2.6.4. Сигнализаторы уровня**

### **ВОПРОСЫ**

#### **1. Сигнализаторы уровня:**

-  поплавковые;
-  вибрационные;
-  кондуктометрические;

✚ емкостные;

✚ магнитные

## ЛИТЕРАТУРА

1. Чистофорова Н.В., Колмогоров А.Г. Технические измерения и приборы. Ч.1. Измерение теплоэнергетических параметров. Учебное пособие. 2008. с.185-193.

### 1. Сигнализаторы уровня

Концевые выключатели предельного уровня (сигнализаторы уровня) формируют выходной сигнал в тех случаях, когда уровень контролируемого материала достигает, поднимается выше или опускается ниже определенного уровня, заданного относительно высоты установки датчика. Примерами могут служить: защита от переполнения, защита оборудования от режима «сухого хода», проверка минимального и максимального уровней заполнения резервуаров. Для определения предельного уровня существуют следующие средства контроля: поплавковые выключатели, концевые выключатели с вибрирующим чувствительным элементом, кондуктометрические выключатели, ёмкостные зонды, погружные магнитные зонды.

В табл.5.1 представлены основные типы средств определения предельного уровня и области их применения.

Таблица 5.1

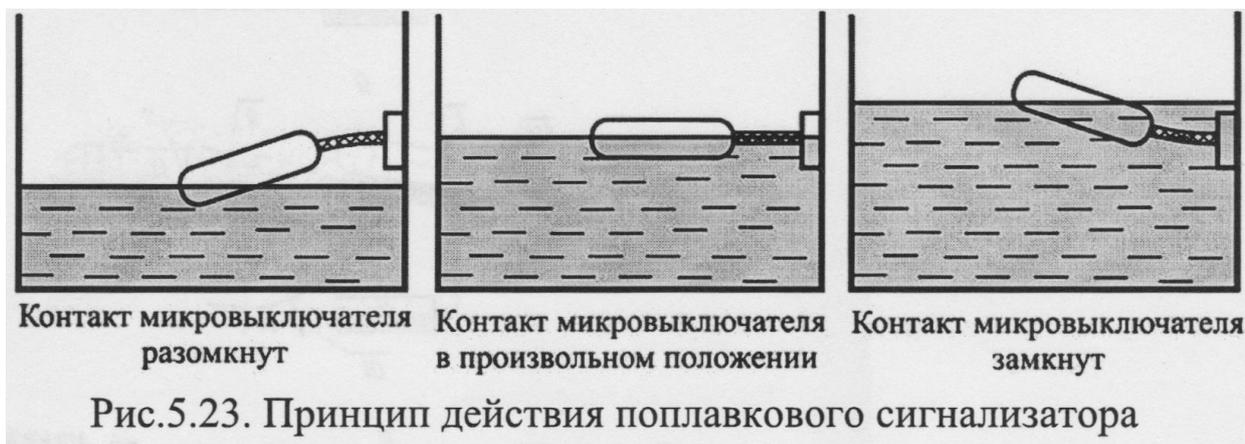
Средства контроля уровня	Определение предельного уровня	
	Жидкости	Сыпучие материалы
Поплавковые выключатели	Да	Нет
Вибрационные концевые выключатели	Да	Да
Кондуктометрические выключатели	Да	Нет

<b>Емкостные выключатели</b>	Да	Да
<b>Магнитные погружные зонды</b>	Да	Нет

### Поплавковые сигнализаторы уровня

Поплавковые сигнализаторы обладают необходимой плавучестью, позволяющей им в незакреплённом состоянии находиться на поверхности жидкости в строго горизонтальном положении. В конкретных применениях поплавковый датчик закрепляется посредством собственного кабельного зажима на высоте, соответствующей предельному уровню жидкости.

Процесс переключения запускается качанием датчика, когда он отклоняется от горизонтального положения в любом направлении, как это представлено на рис.5.23.



В качестве коммутационных устройств часто применяются жидкометаллические микровыключатели, в которых в настоящее время вместо ртути используется галинстан (Galinstan - жидкий металлический сплав, включающий галлий, индий и олово и сохраняющий жидкое состояние при температурах выше  $-19\text{ }^{\circ}\text{C}$ ).

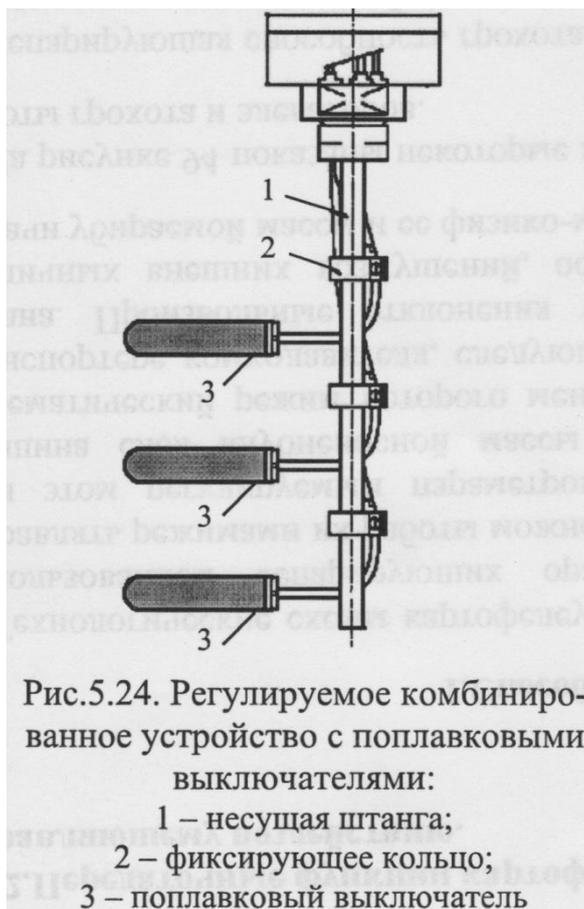
Поплавковый выключатель состоит из корпуса поплавка со встроенным микровыключателем и присоединительного кабеля.

Современные поплавковые датчики используют три разновидности не содержащих ртути коммутационных устройств.

- 1) Шаровой микровыключатель с определением положения на основе индуктивного метода;
- 2) Шаровой концевой микровыключатель;
- 3) Микровыключатель, использующий жидкий металлический сплав Galinstan.

В качестве поплавков применяют преимущественно полые шаровидные или сферо-цилиндрические тела, выполненные из полипропилена, устойчивого к воздействию неконцентрированных кислот и щелочей, большинства растворителей, спирта, бензина, воды, консистентных смазок и масел.

На рис.5.24 представлено регулируемое комбинированное устройство из поплавковых выключателей, позволяющее изменять уровни срабатывания выключателей, если этого потребуют новые эксплуатационные условия.



В этом сигнализаторе поплавки настраиваются по концу несущей штанги. Подстройка по уровням срабатывания производится пользователем на месте применения посредством перемещения установочных фиксирующих колец.

**Основные достоинства метода:**

- простота;
- прочность;
- невысокая стоимость.

**Недостатки:**

- непригодны для клейких жидкостей;
- проблемы с плещущимися жидкостями;
- плавучесть зависит от размеров поплавка;
- точка срабатывания зависит от колебаний плотности среды.

**Вибрационные сигнализаторы уровня**

В качестве вибрационных концевых выключателей применяют устройства с резонатором камертонного типа (из-за формы его часто называют колебательной вилкой), в которых пьезоэлектрическим способом возбуждаются сильные механические колебания в диапазоне резонансных частот. Внешний вид вибрационного датчика представлен на рис.5.25.



Благодаря высоким механическим качествам вибрирующей системы вполне достаточно весьма малая мощность возбуждения. Размещение чувствительного элемента внутри контролируемой среды вызывает резкое уменьшение амплитуды колебаний вплоть до их полного гашения. Смена состояния колебания состоянием покоя или, наоборот, в виде электрического сигнала предельного уровня поступает на индикатор. При этом функционирование данных устройств не зависит от флуктуаций физических свойств контролируемого вещества.

Вибрационные концевые выключатели можно использовать для определения предельного уровня практически всех жидкостей и сыпучих материалов.

**Основные достоинства метода:**

- простота;
- не требуется регулировка в месте установки;

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

- отсутствуют движущиеся части;
- нечувствительны к турбулентности, образованию пены и внешней вибрации;
- допускают любую пространственную ориентацию;
- нечувствительны к большинству физических свойств измеряемого вещества (исключение - плотность);
- проверка функционирования может проводиться на месте монтажа.

**Недостатки:**

- клейкие вещества и твёрдые частицы в жидкостях могут служить причиной отказов;
- твёрдые частицы могут заклинивать колебательную вилку.

**Кондуктометрические сигнализаторы уровня**

Этот метод основан на изменении силы тока. При пустом резервуаре сопротивление между двумя электродами бесконечно велико; при погружении концов электродов в проводящую среду сопротивление уменьшается соответственно величине её проводимости. Область применения метода распространяется исключительно на контроль уровня проводящих жидкостей. Следовательно, уровень сыпучих или вязких материалов измерять указанным методом нельзя. Необходимо наличие у контролируемого вещества определённой минимальной проводимости (более 1 мкС/см), чтобы при измерении уровня кондуктометрическим методом можно было получить различимый сигнал изменения тока.

Настоящий метод применяют, главным образом, для измерения предельного уровня в цистернах, баках и паровых котлах. Воспламеняющиеся жидкости, такие как различные виды топлива, масла и растворители, являются диэлектриками, поэтому для них этот метод неприменим в отличие от кислот, щелочей и растворов, содержащих воду

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

и являющихся проводниками. Уровень агрессивных жидкостей определяется без проблем, путём использования электродов, выполненных из высокопрочных материалов. Внешний вид кондуктометрического концевого выключателя представлен на рис.5.26.

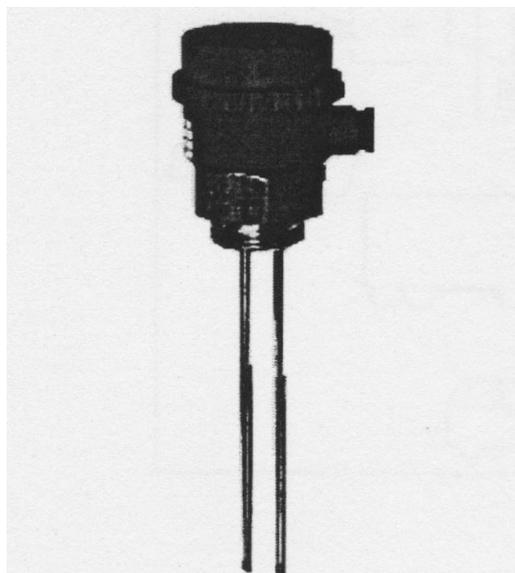


Рис.5.26. Внешний вид кондуктометрического концевого выключателя

При реализации кондуктометрического метода два электрода устанавливаются выше поверхности проводящей жидкости, уровень которой контролируется. Когда жидкость достигает той точки, где оба электрода контактируют с жидкостью, электрический ток вызывает срабатывание реле. Если требуется выявить несколько значений уровня, используется соответствующее кратное число электродов. Для того чтобы исключить такие эффекты, как электролиз жидкости или взрыв, применяются постоянный ток достаточно малой величины и переменный ток.

На основе данного метода может быть легко и экономично реализовано определение не только предельного, но и межфазного уровня; например, достаточно просто выявляется граница между водой и

непроводящими жидкостями в разделителях (сепараторах) масла или бензина.

**Основные достоинства метода:**

- простота и прочность;
- отсутствие движущихся механических частей;
- нечувствительны к турбулентности;
- технологическим процессом допускаются высокая температура и давление;
- простая регулировка и обслуживание.

**Недостатки:**

- непригодны для клейких веществ и диэлектриков;
- масляные вещества могут вызывать налипание на электроды тонкого слоя непроводящего покрытия, что может быть причиной отказа.

**Ёмкостные сигнализаторы уровня**

Название метода предполагает, что в его основе лежит определение изменений электрической ёмкости в зависимости от уровня наполнения резервуара. Конденсатор образован стенкой резервуара и щупом, погруженным в его содержимое. Измерение ёмкости осуществляют, как правило, при помощи резонансных схем или мостов переменного тока с самоуравновешиванием. В точном определении уровня решающую роль играют конструкция, изоляция и правильное размещение ёмкостного зонда. Поэтому необходимо учитывать следующие факторы: изоляцию зонда, форму резервуара, давление в резервуаре, температуру контролируемого материала, его зернистость, абразивность, химическую агрессивность, вязкость, возможность образования конденсата или пены.

Измерительный зонд в зависимости от требуемой длины выполнен из проволочного тросика, металлического стержня или емкостного сигнализатора трубки.

Внешний вид емкостного конечного выключателя представлен на рис.5.27.

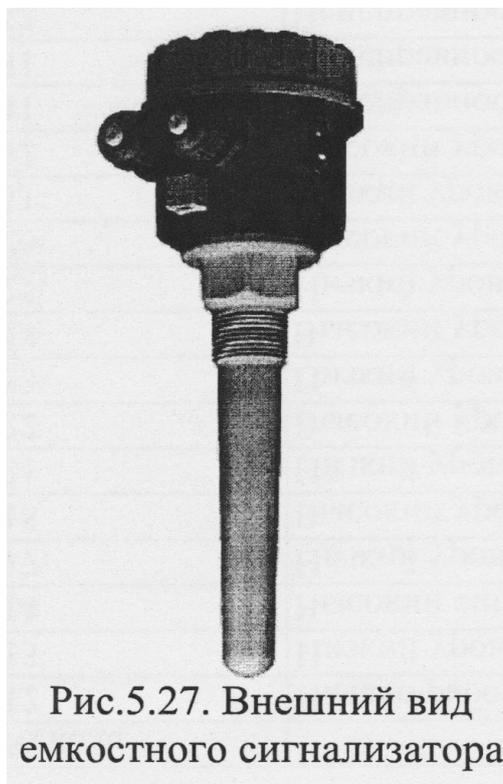


Рис.5.27. Внешний вид емкостного сигнализатора

#### **Основные достоинства метода:**

- простота установки и эксплуатации;
- многофункциональность применения;
- возможность использования с клейкими веществами;
- активная компенсация влияния раскачивания зонда.

#### **Магнитные сигнализаторы уровня**

Магнитные погружные зонды предельного уровня разработаны для использования в очищенных жидкостях, таких как вода, растворители, масла, различные виды топлива. В зависимости от вида контролируемой жидкости возможны различные исполнения зондов:

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

- 1) пластиковые для агрессивных кислот и щелочей;
- 2) из нержавеющей стали для воды, масел и т.п.;
- 3) из нержавеющей стали во взрывозащищённом исполнении для горючих жидкостей, таких как топливо, растворители, спирты.

Эти датчики работают следующим образом: поплавок, направляемый трубкой зонда, плавает на поверхности жидкости; тороидальный магнит, смонтированный на поплавке, в соответствующем положении замыкает язычковые герметизированные контакты, установленные на направляющей трубке, посредством магнитного поля. Внешний вид магнитного погружного зонда представлен на рис.5.28.



Рис.5.28. Внешний вид магнитного погружного зонда

**Основные достоинства метода:**

- простой принцип действия;
- несложный монтаж;
- несложное техническое обслуживание.

**Недостатки:**

- плавучесть зависит от размера поплавка;

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

- точки переключения зависят от плотности среды;
- максимальная длина зонда - около 6 м;
- минимально допустимая плотность контролируемой среды равна 0,7 г/см<sup>3</sup>.
- можно использовать только в очищенных жидкостях.

**Контрольные вопросы**

- На какие основные группы делятся приборы для измерения уровня?
- Как классифицируются приборы для измерения уровня по принципу действия?
- На каком принципе основана работа визуальных уровнемеров?
- Повлияет ли избыточное давление в емкости на показания буйкового уровнемера?
- Повлияет ли избыточное давление в емкости на показания емкостного уровнемера?
- На чем основано измерение уровня радиоизотопным уровнемером?
- Какие свойства измеряемой жидкости оказывают влияние на результат измерения поплавкового уровнемера? Буйкового уровнемера? Радиоизотопного уровнемера?
- Чем ограничен диапазон измерения буйкового уровнемера?
- Какие приборы могут быть использованы для измерения уровня гидростатическим способом и почему?
- Каково назначение уравнильного сосуда при гидростатическом способе измерения уровня?
- На чем основано действие пьезометрического уровнемера?
- В каких случаях приходится применять бесконтактные уровнемеры?
- В чем преимущество радиоизотопных уровнемеров? Недостатки?

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

- Какие свойства контролируемой среды используются в электрических уровнемерах?
- В каких случаях нельзя применять радиоизотопные уровнемеры?
- Влияют ли на результат измерения уровня ультразвуковым методом химические и физические свойства среды?
- Из каких элементов состоит радарный уровнемер?
- В чем состоит отличие технологии FMCW от импульсной в радарных системах контроля уровня?
- Поясните принцип действия волноводного уровнемера.
- В чем состоит основное отличие радарного уровнемера от волноводного?
- Какие вы знаете сигнализаторы уровня?
- На чем основан принцип поплавкового сигнализатора? Вибрационного? Кондуктометрического? Емкостного?

## **ЛЕКЦИЯ по теме № 2.7.1. Приборы газового анализа и рН-метры**

### **ВОПРОСЫ**

#### **1. Приборы газового анализа:**

- термохимические газоанализаторы;
- термокондуктометрические газоанализаторы;
- кулонометрические газоанализаторы;
- фотоколометрические газоанализаторы;
- электрохимические газоанализаторы;
- искровые пневматические газоанализаторы;
- оптико-абсорбционные газоанализаторы;

#### **2. рН-метры:**

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

- ✓ Принцип измерения величины pH;
- ✓ Принцип действия прибора;
- ✓ Электродная система.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Справочник инженера по КИП и автоматике. Под ред. А.В. Калиниченко. Учебно-практическое пособие. 2008. с. 100-118.

### 1. Приборы газового анализа

Газоанализаторы предназначены для измерения концентраций компонентов газовых смесей на основе различных физико-химических свойств газов.

По принципу действия газоанализаторы делятся на:

- 1) термохимические (ПГФ2М1-У4, ЭТХ-1, СТХ-5А, СТХ-6, СВК-ЗМ, ЩИТ-2, СТМ-10, СГГ-3, Polatron ND Ex);
- 2) термокондуктометрические (ТП-1120, ТП-5501, ВХЛ-1, Caldos-15);
- 3) кулонометрические (Байкал-1, Байкал-2, Байкал-3, Байкал-4, Байкал-5, Корунд-М);
- 4) фотоколориметрические (Сирена-2, Сирена-4, Сирена-М, ФКГ-ЗМ);
- 5) электрохимические (Анкат-7621, Анкат-7631, Анкат-7641, Анкат-7645, ППХ1);
- 6) искровые пневматические (СВИП-1, СВИП-2);
- 7) оптико-абсорбционные (121 ФА-01, ГИАМ-27, Radas-2).

Рассмотрим принцип действия вышеперечисленных газоанализаторов.

#### Термохимические газоанализаторы

**СТХ-5А.** Сигнализатор предназначен для периодического контроля дозрывоопасных концентраций горючих газов, паров и их смесей в воздухе производственных помещений и выдачи сигналов в диапазоне сигнальных концентраций.

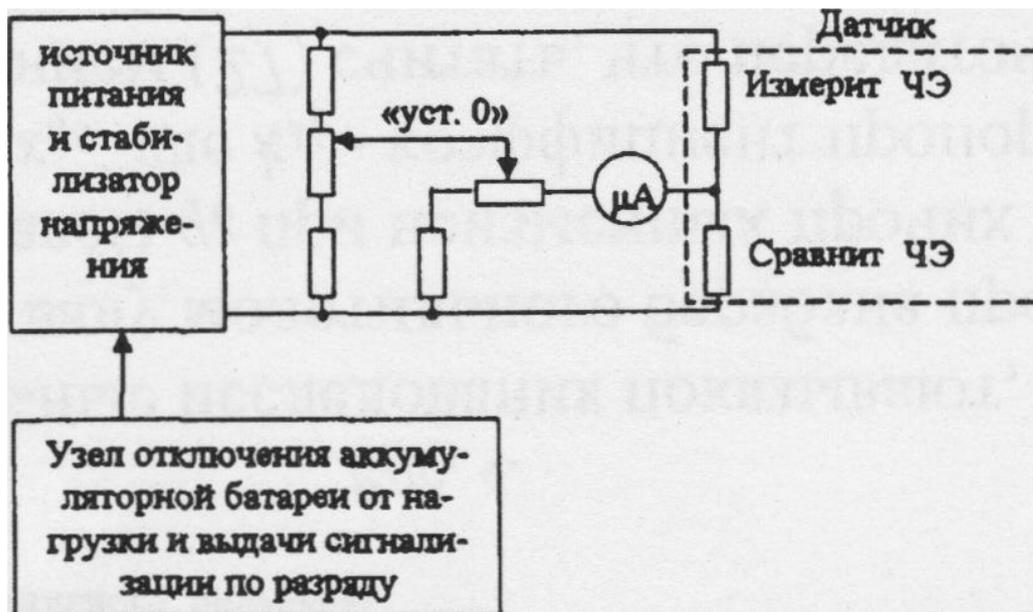


Рис.2.37. Функциональная схема сигнализатора СТХ-5А

Принцип действия сигнализатора основан на термохимической реакции окисления (сгорания) горючих веществ на рабочем чувствительном элементе, включенном в схему моста. Работает сигнализатор следующим образом: измерительный мост сигнализатора питается стабилизированным напряжением ( $1.8 \pm 0.1$  В). В измерительную диагональ моста включен показывающий прибор (микроамперметр). При сгорании на чувствительном элементе горючих веществ, измерительный мост разбалансируется и в его диагонали появляется напряжение постоянного тока, по величине пропорциональное концентрации контролируемых веществ. После того, как напряжение разбаланса достигает определенной величины, стрелка показывающего прибора войдет в сигнальную зону (рис. 2.37).

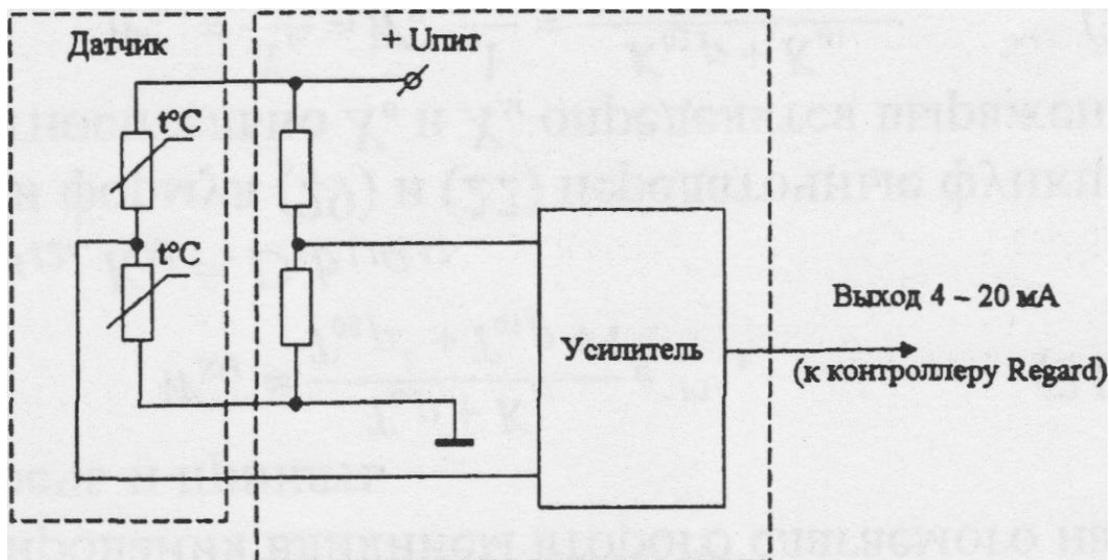


Рис. 2.38. Функциональная схема газоанализатора Politron ND Ex

**Politron ND Ex.** Газоанализатор предназначен для стационарной установки в классифицированных взрывоопасных зонах, требующих постоянного контроля концентрации взрывоопасных газов и паров.

Работа прибора основана на принципе каталитического сгорания с использованием согласованной пары чувствительных элементов: один элемент обладает высокой чувствительностью к взрывоопасному газу, а другой является нечувствительным. Элементы составляют половину мостовой схемы и нагреваются постоянным током, который подается с печатной платы. Другая половина мостовой схемы расположена на печатной плате. В присутствии взрывоопасного газа на чувствительном элементе происходит его сгорание, что увеличивает температуру и соответственно электрическое сопротивление элемента. Это разбалансирует мост, приводя к появлению сигнала, пропорционального концентрации газа. Нечувствительный элемент компенсирует изменения условий окружающей среды (рис. 2.38). На печатной плате сигнал с сенсора усиливается и преобразуется в аналоговый сигнал 4 - 20 мА для передачи на контроллер Regard.



Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

несущие в себе измерительную информацию, преобразуются электрической системой газоанализатора в форму, удобную для дальнейшего использования.

Основой прибора является датчик. Он состоит из чувствительных элементов R1 и R2 (рис. 2.39), входящих в мостовую схему устройства регулирования. Резистор R2 служит для преобразования изменений теплопроводности анализируемой газовой смеси, R1 служит для линеаризации и устанавливается по необходимости для небольших диапазонов измерения.

Мост на резисторах R4 ... R7 служит для формирования сигнала, пропорционального изменениям температуры во внутреннем объеме датчика. Резистор R3 является нагревателем и служит нагрузкой устройства терморегулирования, изготавливается из медной проволоки.

Устройство электрической схемы газоанализатора и взаимодействие его составных частей объясняется схемой электрической структурной, приведенной на рис. 2.40.

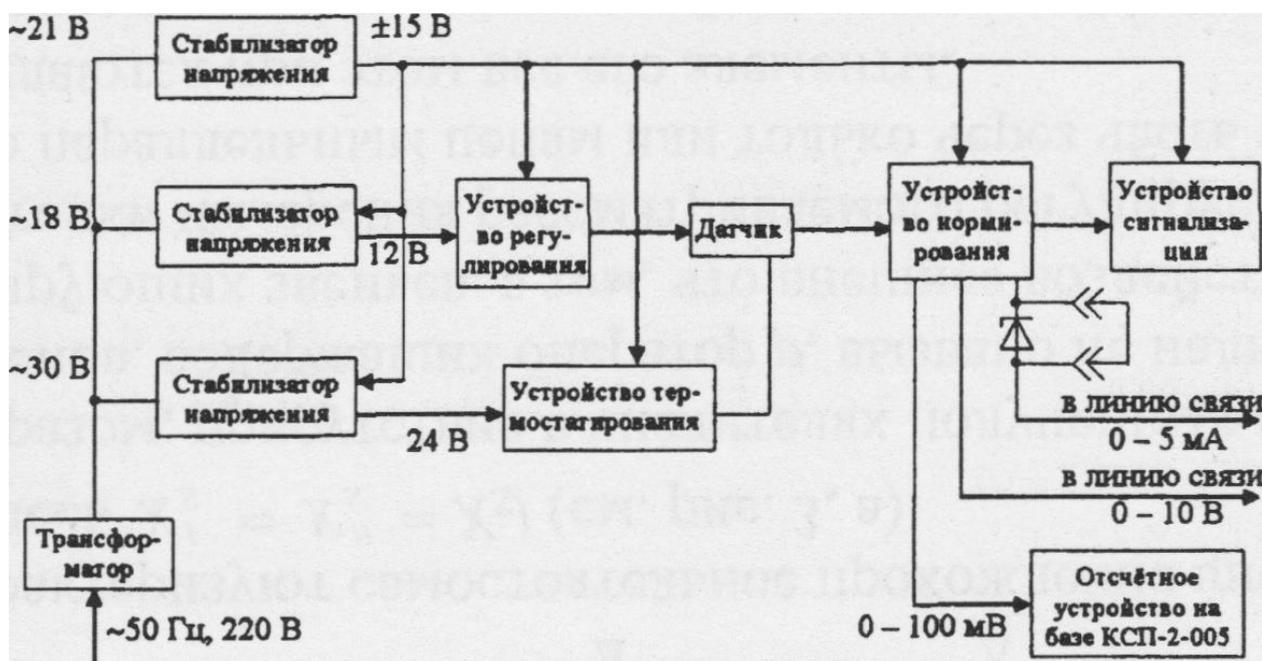


Рис. 2.40. Схема электрическая структурная газоанализатора ТП-5501

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

Устройство терморегулирования служит для поддержания температуры во внутреннем пространстве датчика в  $+75^{\circ}\text{C}$ , что позволяет уменьшить влияние изменений внешней температуры на показания газоанализатора.

Устройство регулирования служит для поддержания на неизменном уровне температуры (сопротивления) чувствительного элемента датчика и преобразователя изменения теплопроводности анализируемой газовой смеси в электрический сигнал, который затем поступает на вход устройства нормирования сигнала.

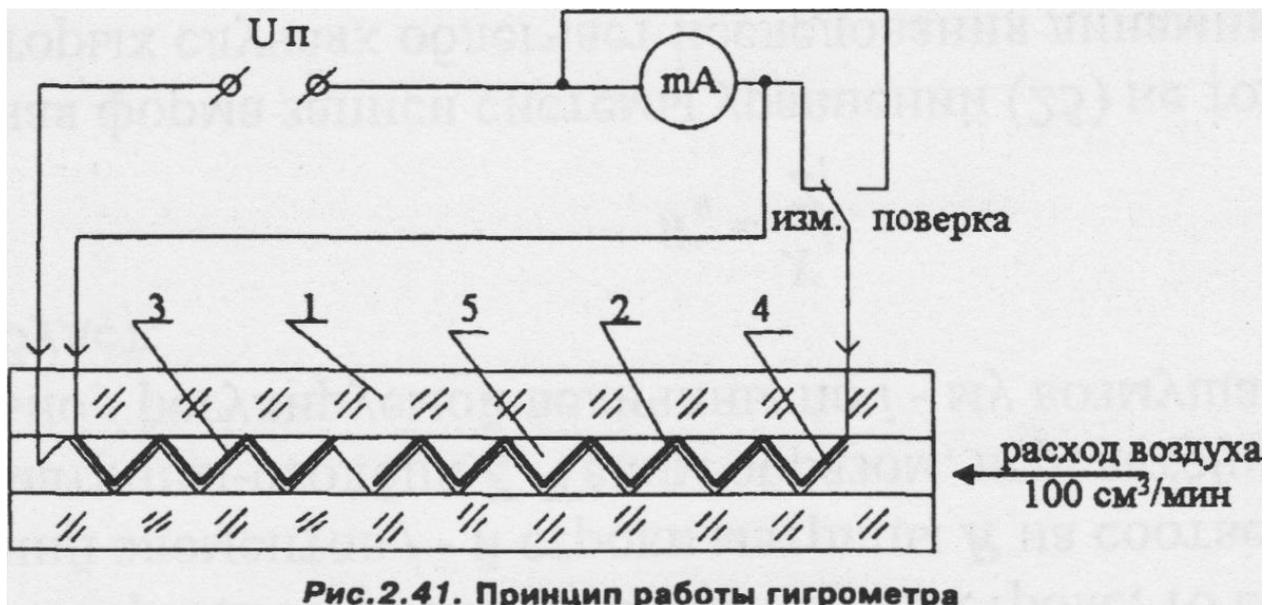
Устройство нормирования сигнала служит для усиления сигнала с устройства регулирования и формирования линейных электрических стандартных выходных сигналов.

Устройство сигнализации осуществляет переключение контактов реле при достижении выходным сигналом одного из четырех уровней, установленных в пределах от 5 до 95 % от диапазона измерения.

Г газоанализатор ТП-5501 предназначен для непрерывного измерения объемного содержания водорода или двуокиси углерода, или метана, или гелия, или азота во взрывоопасных двухкомпонентных газовых смесях.

### **Кулонометрические газоанализаторы**

**Байкал -5.** Гигрометр «Байкал - 5» предназначен для непрерывного измерения объемной доли влаги и абсолютной влажности в воздухе и азоте, может использоваться для работы на воздухоразделительных установках, в технологических процессах, а также в лабораториях для научных исследований.

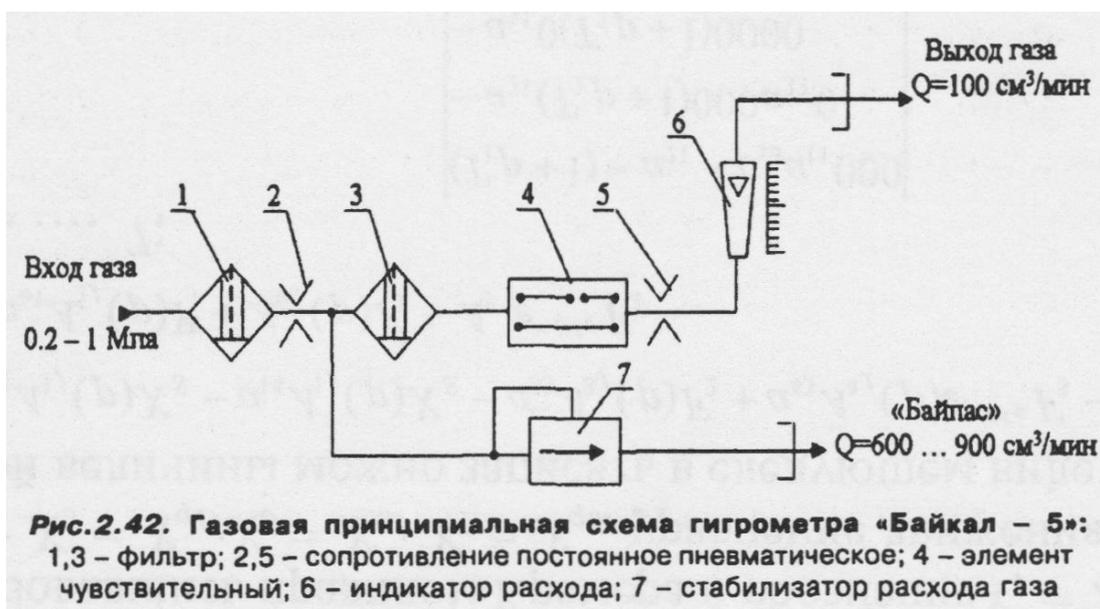


Принцип работы гигрометра основан на непрерывном извлечении влаги влагосорбирующей пленкой из точно дозируемого потока газа, одновременном электролитическом разложении извлеченной влаги на водород и кислород и измерении тока электролиза (рис. 2.41). В канале стеклянного цилиндрического корпуса 1 чувствительного элемента размещены три электрода: рабочий 2, контрольный 3 и общий 4, выполненные в виде геликоидальных несоприкасающихся спиралей. Между электродами нанесена пленка частично гидратированной пятиоксида фосфора 5, обладающая высокой влагосорбирующей способностью.

Через канал чувствительного элемента непрерывно проходит дозируемый поток газа, устанавливаемый при настройке равным  $100 \text{ см}^3/\text{мин}$ . При указанном расходе влага практически полностью извлекается из потока анализируемого газа влагосорбирующей пленкой. К электродам чувствительного элемента подключен источник постоянного тока, напряжение которого превышает потенциал разложения воды ( $2.3 \text{ В}$ ), поэтому одновременно с поглощением влаги, непрерывно осуществляется ее электролиз. В установившемся режиме работы чувствительного элемента, количество извлеченной и разложенной в

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

единицу времени влаги равны, а ток электролиза, измеряемый миллиамперметром, пропорционален объемной доле влаги в анализируемом газе. При длительной работе гигрометра активная поверхность влагосорбирующей пленки может уменьшаться за счет загрязнения ее механическими примесями и аэрозолями масел. Это приво-



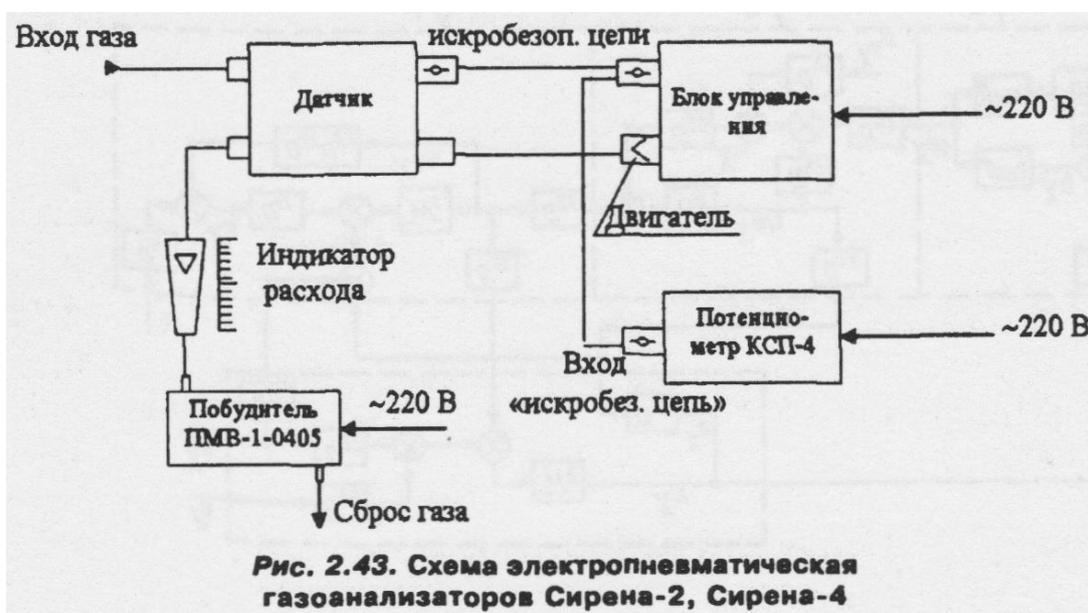
дит к неполному извлечению влаги из анализируемого газа. Контроль исправности чувствительного элемента осуществляется автоматически по соотношению токов контрольной и рабочей частей чувствительного элемента, определяемых длиной рабочего и контрольного электродов. Для проверки работоспособности схемы контроля предусмотрен переключатель «измерение - поверка».

### Фотоколлометрические газоанализаторы

**Сирена-2, Сирена-4.** Газоанализаторы Сирена-2 и Сирена-4 предназначены для постоянного автоматического определения микроконцентрации токсических газов - аммиака и фосгена соответственно в воздухе производственных помещений, а также сигнализации превышения предела измерения.

В основу работы газоанализаторов положен фотоколориметрический метод с применением индикаторного порошка в качестве первичного измерительного преобразователя. Принцип действия индикаторного порошка в составе газоанализатора основан на изменении спектрального коэффициента отражения от его поверхности в видимой области спектра при контакте с анализируемым компонентом. В газоанализаторе реализовано многократное использование индикаторного порошка.

Газоанализатор выполнен в виде трех конструктивно законченных блоков, соединенных между собой кабелями: дат-



чика, блока управления и автоматического потенциометра КСП- 4-052И (рис. 2.43).

Через штуцер «Вход газа» непрерывно подается анализируемый воздух при помощи побудителя. Контроль за расходом воздуха производится индикатором расхода. Циклически через каждые 5 минут производится обдув индикаторного порошка в чашке под фотоблоком при помощи побудителя расхода (сильфона), расположенного в датчике, приводящимся в действие электроприводом от сети ~220 В. Анализируемый компонент вступает в реакцию с индикаторным порошком.

Изменение спектрального коэффициента отражения индикаторного порошка в диапазоне длин волн 555 - 585 нм преобразуется в пропорциональный выходной сигнал постоянного тока 0-5 мА, который поступает на вход блока управления «искробезоп. цепи», где преобразуется в напряжение 0 - 10 мВ, которое подается на разъем «Вход искробезоп. цепь» автоматического потенциометра КСП-4-052И. Потенциометр производит индикацию и регистрацию измеряемого значения концентрации и выдает сигнал о превышении заданных значений ПДК.

### Электрохимические газоанализаторы

**Анкат-7621.** Газоанализаторы Анкат-7621 предназначены для непрерывного контроля содержания в производственном



помещении или наружных установках одного из следующих компонентов:  $\text{SO}_2$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{Cl}_2$  и выдачи аварийной сигнализации при превышении ПДК измеряемого компонента.

Принцип действия газоанализатора - электрохимический. Питание газоанализатора (рис. 2.44) осуществляется от источника 15 -30 В, в качестве которого используется блок питания и сигнализации БПиС.

Двухпроводная линия служит одновременно для дистанционной передачи токового сигнала газоанализатора.

Токовый сигнал поступает в устройство сигнализации и может быть использован для подключения вторичных показывающих приборов. В газоанализаторе использована трехэлектродная, дифференциально включенная электрохимическая ячейка. При нулевом показании газоанализатора резистором  $R_0$  устанавливается ток в линии связи  $J_{co} = 4$  мА. Резистором  $R_k$ , нагружающим выход нормирующего преобразователя, устанавливается ток  $J_{ck} = 20$  мА при показаниях газоанализатора, соответствующих концу шкалы. При отсутствующих нагрузочных резисторах  $R_0$  и  $R_k$  потребление в цепи питания газоанализатора не зависит от уровня измеряемой концентрации. Это является условием токового преобразования в цепи питания. Таким образом газоанализатор имеет унифицированный токовый выход 4 - 20 мА.

Электрохимическая ячейка является чувствительным элементом газоанализатора. Она состоит из рабочего, сравнительного и компенсационного электродов, которые изготовлены путем нанесения металлического катализатора на пористую фторопластовую пленку. Со стороны электролита электроды защищены устойчивой к составу электролита тканью и проницаемой решеткой для придания механической прочности конструкции. Рабочий и компенсационный электроды выполнены на одной подложке, но к компенсационному электроду доступ анализируемого воздуха перекрыт непроницаемой пленкой. К рабочему и компенсационному электродам по отношению к сравнительному приложен одинаковый потенциал. При попадании анализируемого газа через пористую подложку на металлический катализатор рабочего электрода, происходит окисление газа с выделением свободных

электронов. С помощью электрической схемы газоанализатора электрический сигнал нормируется, преобразуется в цифровую и токовую форму. Компенсационный электрод с анализируемым воздухом не соприкасается, и изменение тока через него при изменении температуры окружающей среды используется для стабилизации нулевых показаний газоанализатора.

### **Искровые пневматические газоанализаторы**

**СВИП-2.** Сигнализатор СВИП-2 представляет собой промышленный стационарный автоматический прибор постоянного циклического действия, обеспечивающий поочередный контроль взрывоопасности в четырех различных точках. Он предназначен для контроля в воздухе производственных помещений взрывоопасных концентраций горючих газов, паров и их смесей: ацетон, бензин, водород, пропан, метан, метанол и др.

Принцип действия сигнализатора основан на методе прямого испытания среды на взрываемость путем искусственного воспламенения определенного объема анализируемой газовой смеси, обогащенной некоторым объемом горючего газа. В соответствии с этим принципом в сигнализаторе автоматически выполняются в определенной последовательности следующие операции: смещение в заданном соотношении анализируемого и горючего газов, формирование электрической искры и смеси горючего газа с воздухом для получения факела, индикация взрыва по давлению в испытательной камере (камере взрыва), транспортирование через камеру взрыва газовой смеси и продуктов взрыва, а также синхронизация операций во времени и контроль их выполнения, включая проверку работоспособности элементов конструкции.

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

Газоанализатор состоит из следующих узлов: управления, смещения, коммутации, контроля работоспособности, датчика взрыва, вспомогательного.

Узел управления предназначен для синхронизации остальных узлов и состоит из: трех последовательно соединенных импульсаторов; клапана, предназначенного для приведения импульсаторов в исходное состояние после срабатывания последнего; мультивибратора.

Узел смещения предназначен для смещения заданных объемов анализируемого и горючего газов в камере взрыва и приготовления смеси горючего газа с воздухом для получения факела.

Узел коммутации предназначен для подключения ко входу коллектора одного из четырех входных каналов (Вх.1, Вх.2, Вх.3, Вх.4). Подключение осуществляется с помощью четырех коммутаторов. Переключение происходит с помощью четырех реле. Для определения, из какой точки отбора пробы происходит забор анализируемого газа, в каждой из входных линий установлены ротаметрические индикаторы расхода.

Узел контроля работоспособности предназначен для автоматической и ручной проверки работоспособности генератора искры, детектора взрыва и включения сигнализации в случае неисправности. Принцип действия этого узла основан на искусственном создании в камере взрыва заведомо взрывоопасной концентрации горючего газа.

Датчик взрыва состоит из генератора искры, камеры взрыва с двумя электродами и огнепреградителями и индикатора взрыва.

Вспомогательный узел содержит четыре повторителя для формирования избыточного давления  $0,8 \text{ кгс/см}^2$ , большого  $0,7 \text{ кгс/см}^2$  и малого  $0,4 \text{ кгс/см}^2$  подпоров и давления задания  $P_0$ , с помощью которого

регулируется объем дозы горючего газа, величину которой выбирают так, чтобы обеспечить заданную (20 % НКПР) сигнальную точку. Иными словами, если горючие продукты содержатся в воздухе в количестве, соответствующем сигнальной точке, то в сумме с добавленным горючим газом получается смесь предельного состава, которая взрывается в камере при поджигании.

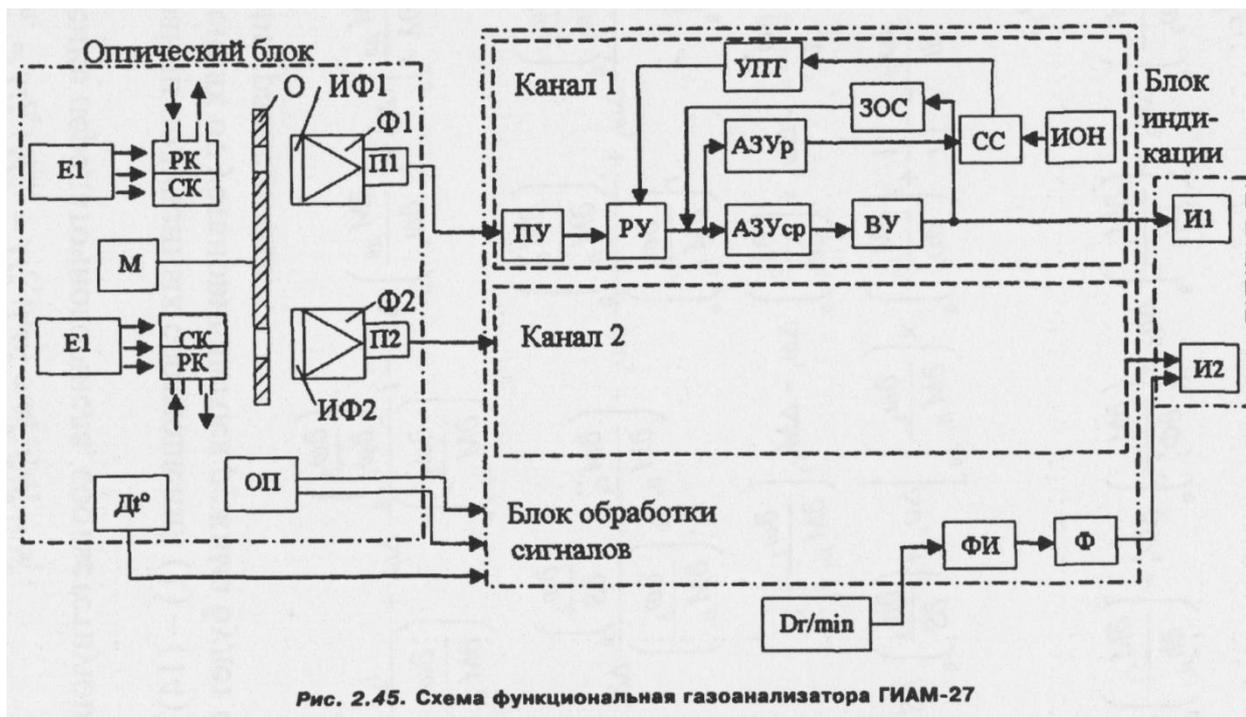
### **Опτικο-абсорбционные газоанализаторы**

Опτικο-абсорбционный метод анализа газа основан на измерении поглощения инфрокрасной (ИК) энергии излучения анализируемым компонентом. Степень поглощения ИК-энергии излучения зависит от концентрации анализируемого компонента в газовой смеси. Каждому газу присуща своя область длин волн поглощения. Это обуславливает возможность проведения избирательного анализа газов.

**ГИАМ-27.** Газоанализатор ГИАМ-27 предназначен для контроля технического состояния двигателей внутреннего сгорания. Он определяет содержание окиси углерода CO, углеводородов CH в выхлопных газах и число оборотов коленчатого вала карбюраторных двигателей.

Газоанализатор содержит оптический блок, блок обработки

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний, метрологических поверок средств измерений



сигналов, блок индикации, датчик частоты вращения коленчатого вала карбюраторного двигателя автомобиля (рис. 2.45).

Оптический блок состоит из двух излучателей E1 и E2, создающих потоки ИК-энергии, которые попадают в камеры, каждая из которых имеет две полости, обозначенные РК - рабочую с анализируемой газовой смесью и СК - сравнительную без анализируемой газовой смеси; обтюратора O, вращающегося от электродвигателя M; двух интерференционных фильтров ИФ1 и ИФ2; двух фоконов Ф1 и Ф2 с двумя приемниками ИК-излучения П1 и П2; оптоэлектронных пар ОП, выдающих информацию выдающих информацию о положении обтюратора; датчика температуры Dt\*.

Блок обработки сигналов состоит из двух каналов обработки сигналов и тахометра, содержащего формирователь импульсов и фильтр. Каждый канал обработки сигнала включает в себя предварительный усилитель ПУ, регулируемый усилитель РУ, усилитель постоянного тока УПТ, аналоговое запоминающее устройство сигналов с рабочей и

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

сравнительной камерами АЗУср и АЗУр, выходной усилитель ВУ, схему сравнения СС, источник опорного напряжения ИОН.

Блок индикации содержит два индикатора, один из которых индицирует содержание СО, другой - содержание СН или частоту вращения коленчатого вала двигателя.

В зависимости от положения обтюратора поток ИК-излучения излучателя попадает на приемник либо через рабочую камеру, либо через сравнительную камеру, пройдя через интерференционный фильтр, фокон.

На приемнике регистрируется переменный сигнал, который несет информацию о количестве ИК-энергии, поглощенной анализируемым газом с частотой обтюрации, и, следовательно, о концентрации анализируемого газа. Сигнал с приемника излучения, усиленный с помощью предварительного усилителя, поступает на регулируемый усилитель, с выхода которого сигнал проходит на два аналоговых запоминающих устройства АЗУр и АЗУср, управляемых формирователями синхроимпульсов, выдающих информацию о положении обтюратора в момент максимального открытия рабочей и сравнительной камер.

В АЗУр запоминается сигнал, пропорциональный ИК-потoku, проходящему через рабочую камеру, в АЗУср - сигнал пропорциональный ИК-потoku, проходящему через сравнительную камеру.

С выходов запоминающих устройств сигналы поступают на дифференциальный выходной усилитель постоянного тока, затем на индикаторное устройство.

Выходное напряжение с АЗУр поступает на схему сравнения СС, которая через УПТ управляет коэффициентом передачи РУ таким образом, чтобы сигнал с АЗУр был равен сигналу с ИОН.

Для повышения линейности статической характеристики газоанализатора в канале введено звено обратной связи ЗОС с выхода ВУ на входы АЗУр и АЗУср.

Для температурной компенсации чувствительности газоанализатора в ИОН введен сигнал с датчика температуры Dt".

## **2. рН-МЕТРЫ**

рН-метры в основном являются приборами, предназначенными для определения величины рН и окислительно-восстановительных потенциалов водных растворов, а также для использования в качестве высокоомного милливольтметра.

Прибором можно производить измерения как методом отбора проб с помощью входящих в комплект датчиков, так и непосредственно в лабораторных установках.

Приборы рассчитаны для использования в научно-исследовательских учреждениях, промышленных предприятиях и различных отраслях народного хозяйства.

На производстве в основном используются рН-метры типа рН-210, рН-215 и др., а также иономеры, предназначенные для определения активности одно- и двухвалентных анионов и катионов (величины рХ) в водных растворах, типа И-120, И- 130, И-135 и др.

### **Принцип измерения величины рН**

Для измерения величины рН используется потенциометрический метод анализа, который основан на использовании зависимости электрического сигнала (потенциала) специального датчика, называемого измерительным электродом, от состава анализируемого раствора. Измерительный электрод реагирует на ионы водорода, а его потенциал

зависит от содержания этих ионов в растворе и подчиняется уравнению Нернста:

$$E = E_0 + RT / F \cdot \ln a_H = E_0 - 2,3RT / F \cdot pH ,$$

где R- универсальная газовая постоянная, равная  $8,315 \cdot 10^7$  эрг/С-моль;

T - температура раствора, К;

F - 96000 кулон/г экв (число Фарадея );

$a_H$  - активность ионов водорода в растворе;

pH - величина pH раствора;

$E_0$  - потенциал стеклянного электрода по отношению к стандартному водородному электроду при  $a_H=1$ .

Абсолютную величину потенциала в настоящее время измерить невозможно, однако можно измерить потенциал относительно другого электрода, потенциал которого не зависит от состава раствора и условно равен нулю. Такой электрод называется электродом сравнения или вспомогательным электродом.

Таким образом, измерения всегда проводятся при помощи двух электродов: измерительного и электрода сравнения. Кроме того, в настоящее время существуют комбинированные электроды, которые в одном корпусе содержат оба электрода и измерительный, и сравнительный.

Кроме того, следует знать, что электродная функция зависит от температуры раствора. Эта зависимость показана на рис.2.46.

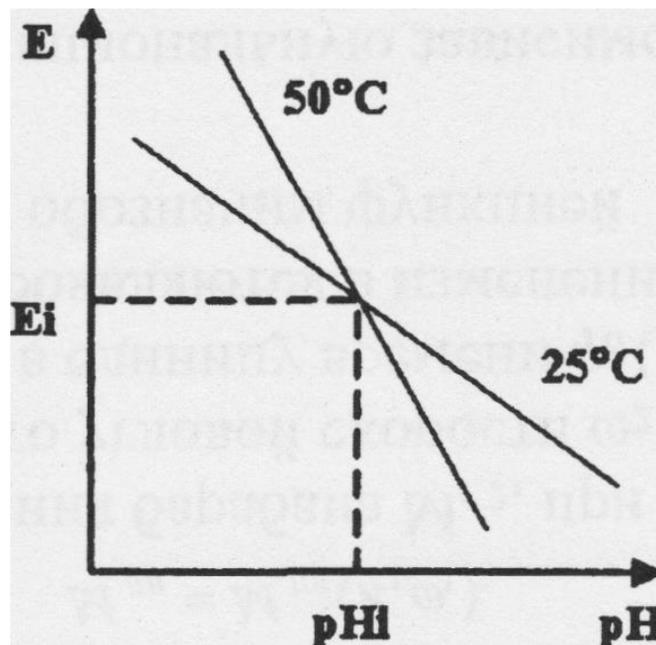


Рис.2.46. Зависимость электродной функции от температуры

С увеличением температуры увеличивается наклон (крутизна) электродной характеристики.

Концентрация анализируемых ионов, при которой потенциал электрода не зависит от температуры, называется изопотенциальной точкой.

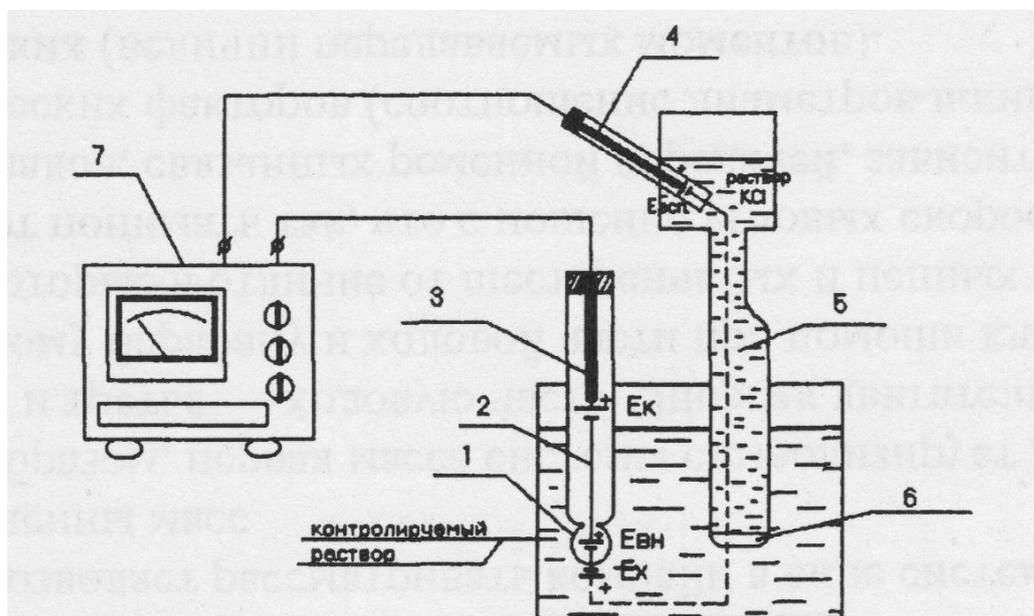
Значения концентрации раствора и потенциала электрода в этой точке называют координатами изопотенциальной точки.

Для стеклянных электродов координаты изопотенциальной точки нормируются, т.е. указываются изготовителем, а для прочих электродов обычно нет. Современные измерительные приборы позволяют автоматически учитывать температурные изменения электродной характеристики (термокомпенсация), для этого в прибор должны быть введены координаты изопотенциальной точки и текущая температура. Последняя может вводиться либо вручную, либо посредством термодатчика, подключенного к прибору.

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

При выборе электродов рекомендуется выбирать такой электрод, изопотенциальная точка которого лежит вблизи средней концентрации анализируемых растворов.

Рассмотрим измерительную систему со стеклянными измерительным и вспомогательным электродами, схема которой приведена на рис. 2.47.



**Рис.2.47. Схема измерения величины pH раствора:**

- 1 - полый шарик из электродного стекла; 2 - стеклянный электрод;  
3 - внутренний контактный электрод; 4 - вспомогательный электрод;  
5 - электролитический ключ; 6 - пористая перегородка; 7 - милливольтметр

При погружении электрода в раствор между поверхностью шарика 1 стеклянного электрода и раствором происходит обмен ионами, в результате которого ионы лития в поверхностных слоях стекла замещаются ионами водорода, и стеклянный электрод приобретает свойства водородного электрода.

Между поверхностью стекла и контролируемым раствором возникает разность потенциалов  $E_x$ , величина которой определяется активностью ионов водорода в растворе и его температурой.

Для создания электрической цепи при измерении применяются контактные электроды: внутренний контактный электрод 3, осуществляющий электрический контакте раствором, заполняющим

внутреннюю часть стеклянного электрода, и внешний контактный электрод (вспомогательный электрод) 4, осуществляющий электрический контакт с контролируемым раствором.

Для защиты от воздействия высоких температур (при измерении pH растворов, температура которых выше температуры окружающего воздуха) вспомогательный электрод помещают вне контролируемого раствора и связь с ним осуществляется с помощью электролитического ключа 5 - трубки, наполненной раствором хлористого калия и заканчивающейся пробкой со стеклянным волокном 6.

Раствор хлористого калия непрерывно просачивается через стеклянное волокно пробки, предотвращая проникновение из контролируемого раствора в систему электрода 4 посторонних ионов, которые могли бы изменить величину потенциала электрода.

Электродвижущая сила электродной системы равна алгебраической сумме потенциалов контактов электродов  $E_x$  и  $E_{всп}$  потенциала, возникающего на внутренней поверхности стеклянного электрода и определяемого величиной pH внутреннего раствора  $E_{вн}$  и потенциала, возникающего на наружной поверхности стеклянного электрода  $E_x$ .

Величины  $E_x$ ,  $E_{всп}$ , и  $E_{вн}$  не зависят от состава контролируемого раствора и меняются только при изменении температуры

$$E = E_k + E_{всп} + E_{вн} + E_x = E_0 - 2,3RT / F \cdot pH .$$

Суммарная электродвижущая сила электродной системы зависит от величины pH раствора.

Измеряя ЭДС электродной системы с помощью милливольтметра, шкала которого градуирована в единицах pH, определяют величину pH контролируемого раствора.

### **Принцип действия прибора**

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

Электродная система, являющаяся датчиком, имеет большое внутреннее сопротивление, достигающее 500-1000 МОм.

Для измерения ЭДС электродной системы применяется компенсационная схема, позволяющая существенно уменьшить ток, потребляемый от датчика при измерении.

Элементарная схема, поясняющая принцип действия рН-метра, приведена на рис.2.48.

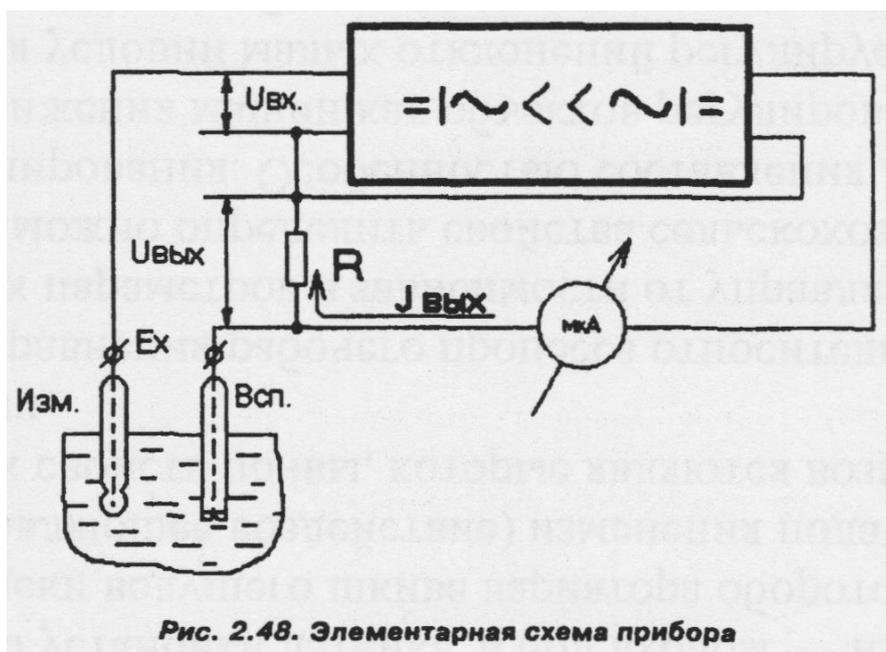


Рис. 2.48. Элементарная схема прибора

Э.Д.С. электродной системы  $E_x$  сравнивается с падением напряжения на сопротивлении  $R$ , через которое протекает ток  $I_{\text{вых}}$  оконечного каскада усилителя. Падение напряжения  $U_{\text{вых}}$  на сопротивлении  $R$  противоположно по знаку электродвижущей силе  $E_x$ , и на вход усилителя подается напряжение:

$$U_{\text{вх}} = E_x - U_{\text{вых}} = E_x - RI_{\text{вых}}.$$

Напряжение  $U_{\text{вх}}$  преобразуется вибропреобразователем в переменное напряжение, которое затем многократно усиливается и при помощи фазочувствительного детектора вновь преобразуется в постоянное напряжение. Это напряжение управляется током  $I_{\text{вых}}$

оконечного каскада усилителя. При достаточно большом коэффициенте усиления усилителя напряжение  $U_{\text{вых}}$  мало отличается от ЭДС  $E_x$  и благодаря этому ток, протекающий через электроды в процессе измерения ЭДС, весьма мал.

Ток  $I_{\text{вых}}$ , протекающий через сопротивление  $R$ , пропорционален ЭДС электродной системы и величине рН контролируемого раствора.

### Электродная система

Основной характеристикой электродной системы является зависимость ее Э.Д.С. от величины рН и температуры раствора. В общем случае Э.Д.С. может быть выражена уравнением:

$$E = E_{\text{и}} - [S_{20} + a(t - 20)](pH - pH_{\text{и}}),$$

где  $E$  - Э.Д.С. в милливольтгах;

$t$  - температура электродов;

$pH$  - величина рН раствора;

$pH_{\text{и}}$  - величина рН раствора, соответствующая изопотенциальной точке;

$S_{20}$  - крутизна характеристики в изопотенциальной точке;

$a$  - температурный коэффициент крутизны.

Зависимость Э.Д.С. электродной системы рН и температуры может быть представлена следующим приближенным уравнением:

$$E = -33 - (54,196 + 0,1884t)(pH - 3,28).$$

## ЛЕКЦИЯ по теме №3.1. Автоматизация систем контроля и управления сбором данных

### ВОПРОСЫ

1. Задачи и разновидности автоматизированных систем контроля.
2. Измерительные преобразователи.
3. Измерительные роботы.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Димов Ю.В. Метрология, стандартизация и сертификация. Учебник. 2-е изд. СПб.: ИД "Питер", 2011. – 432 с. (с.332-343).

### **1. Задачи и разновидности автоматизированных систем контроля**

Вопросы автоматизации систем контроля относятся к *автометрии*, в которой рассматриваются теоретические основы проектирования автоматических измерительных и контрольных и измерительно-информационных систем.

Автоматизированная система метрологического обеспечения (АСМО) предназначена для решения основных задач управления производственно-хозяйственной деятельностью метрологической службы предприятия, связанных с планированием, контролем, анализом и регулированием метрологической информации.

АСМО базируется на экономико-математических методах с применением вычислительной техники и может рассматриваться как подсистема управления качеством продукции, включающая техническое, программное, информационное и организационное обеспечение.

Автоматизированная система метрологического обеспечения осуществляет: метрологический контроль за измерительной техникой (полный учет средств измерений предприятия; перспективное и оперативное планирование поверочной деятельности; анализ метрологических характеристик средств измерений; аттестацию нестандартизованных средств измерений; контроль, в том числе инспекционный, за выполнением поверочных работ); метрологический контроль

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

за испытательной техникой (учет и аттестация средств испытаний; планирование и контроль выполнения этих планов; проведение профилактических и регламентных работ и др.); метрологическую экспертизу технической документации (учет технической документации; планирование и контроль выполнения планов проведения экспертиз; информационное обеспечение при проведении экспертиз технической и технологической документации); координацию и планирование метрологической деятельности (календарное и перспективное планирование поверенной деятельности; контроль выполнения требований нормативно-технической документации при изготовлении изделий; разработка мероприятий по метрологическому обеспечению производства; хозяйственно-техническая деятельность по метрологическому обеспечению и др.); регулирование деятельности по метрологическому обеспечению производства (осуществление выработки управляющих воздействий на отдельные подразделения предприятия с целью эффективного внедрения планов метрологического обеспечения).

На производстве все больше уделяется внимания механизации и автоматизации процесса измерения, что связано с автоматизацией процессов производства современных машин, повышением их качества, точности и надежности и сокращением времени и стоимости измерений и контроля. Контроль изделий осуществляется как простейшими устройствами и приспособлениями, так и сложными контрольными автоматами.

По степени автоматизации устройства контроля размеров делят на механизированные приспособления, полуавтоматические системы, автоматические системы и самонастраивающиеся (адаптивные) автоматические системы.

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

*Механизированные приспособления* применяют для одновременной или последовательной проверки нескольких размеров сложных деталей в серийном и массовом производстве. В таких приспособлениях операцию загрузки и съема деталей осуществляют вручную.

В *полуавтоматических системах* часть операций (загрузка, а иногда и сортировка) выполняются вручную, а все остальные операции автоматически.

*Контрольные автоматические системы* (все процессы полностью автоматизированы) широко применяют для контроля деталей по разным параметрам (размерам, твердости, массе, сложным профилям в виде резьбы или зубьев колес и т. п.). Контрольные автоматы дороги и сложны; их в основном применяют для сортировки деталей массового производства (поршневых пальцев, шариков и роликов и др.) по размерам на группы при селективной сборке, при 100%-ном контроле наиболее ответственных деталей, когда пропуск бракованных деталей недопустим или когда в технологическом процессе выборочный контроль недопустим.

Прогрессивным направлением является создание *универсальных автоматов из типовых узлов для контроля однотипных деталей*. Например, автомат БВ-8008 для контроля поршневых пальцев диаметром от 15 до 60 мм; автомат БВ-800У для контроля поршней разных двигателей диаметром от 15 до 60 мм; автомат БВ-8010 для контроля прямозубых и косозубых колес с диаметрами от 80 до 320 мм и модулями 1-7 мм. Автомат СК-9 для контроля бокового и радиальной биения собранного радиального шарикового подшипника с размерами подшипников: по внутреннему диаметру от 35 до 85 мм, наружному от 80 до 150 мм и по высоте от 18 до 31 мм. Производительность контрольного

автомата для поршневых пальцев — до 700 шт/ч, а автомата для подшипников — 600 шт/ч.

По воздействию на технологический процесс различают пассивные и активные автоматические средства контроля размеров.

*Пассивные* фиксируют размеры деталей, разделяя их на годные и брак (исправимый и неисправимый), или сортируют их на группы при селективной сборке. На ход технологического процесса они не влияют.

*Активные* средства контролируют размеры деталей в процессе изготовления и по результатам контроля подают команду на изменение режимов обработки, на включение станка или на подналадку системы СПИД (станок — приспособление — инструмент — деталь). Наличие обратной связи позволяет по результатам контроля управлять точностью технологического процесса и тем самым предупреждать появление брака. Заводы заинтересованы в устройствах для автоматического контроля деталей в процессе их обработки, чтобы предупредить брак и облегчить работу рабочих и контролеров. Отечественными заводами выпускаются измерительные устройства для активного контроля.

В *самонастраивающихся автоматических* системах автоматизированы циклы работы и настройки, а также системы, которые могут приспосабливаться к изменяющимся условиям среды.

## **2. Измерительные преобразователи**

Действие автоматизированных приспособлений, контрольных автоматов и средств активного контроля основано на использовании различного рода *измерительных преобразователей*. Измерительный преобразователь как составной элемент входит в *датчик*, который является самостоятельным устройством, и кроме преобразователя содержит измерительный шток, рычаг с наконечником, передающий

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

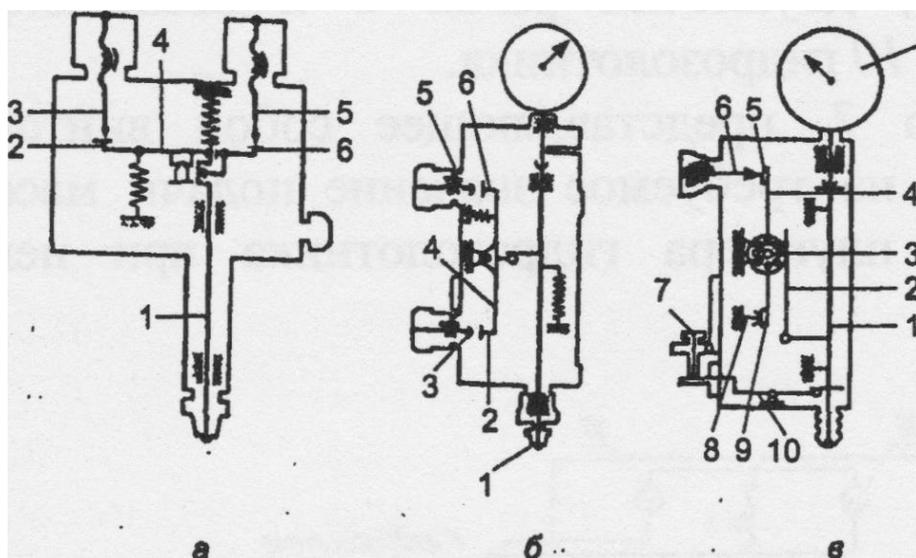
механизм, элементы настройки и др. Остальные элементы электрической цепи измерительной (контрольной) системы конструктивно оформляют в виде отдельного устройства (*электронного блока*, или *электронного реле*). Наибольшее распространение получили измерительные (контрольные) средства с электро-контактными, пневмоэлектроконтактными, индуктивными, емкостными, фото-электрическими, радиоизотопными, механотронными, реостатными, фазовыми, струнными, вибрационно-частотными и электронными преобразователями.

Основные требования к измерительным преобразователям:

1. Объективность и достоверность измерительной информации о<sup>1</sup> состоянии контролируемого объекта.
2. Измерительная информация о состоянии контролируемой физической величины должна выдаваться непосредственно в ЭВМ, статанализатор, цифропечатающие машины и другие подобные устройства.
3. Измерительная система должна обеспечивать возможность быстрой перестройки при смене технологических процессов и быть унифицированной при измерении различных физических параметров при незначительных изменениях отдельных блоков этой системы.
4. Измерительная система должна иметь метрологические характеристики, обеспечивающие требуемую точность и надежность контроля и высокую производительность.
5. Измерительная система должна обладать возможностью дистанционного измерения, быть простой и надежной при настройке и проверке в условиях эксплуатации.

**Приборы с электроконтактными преобразователями.** В электроконтактных преобразователях определенное изменение контролируемой величины приводит к замыканию (размыканию) электрических контактов цепей, управляющих исполнительными элементами системы.

Различают преобразователи *предельные* — для контроля предельных размеров деталей и *амплитудные* — для контроля амплитуды изменяющегося линейного параметра (отклонения формы, погрешности положения и т. п.).



**Рис. 4.58.** Схемы электроконтактных преобразователей: а — без возможности отсчета; б — с возможностью отсчета; в — амплитудного

В предельном электроконтактном преобразователе (рис. 4.58, а и б) изменение контролируемой величины передается через измерительный шток 1 к подвижным контактам 2 и 6, расположенным на рычаге 4. Регулируемые контакты 3 и 5, один из которых работает на размыкание, другой — на замыкание, настраивают с помощью микрометрических пар со шкальными устройствами. В амплитудном преобразователе (рис. 4.58, в) измерительный стержень 1 жестко скреплен с фрикционной пластиной 2, которая поджимается пластинчатой пружиной к подшипнику 3.

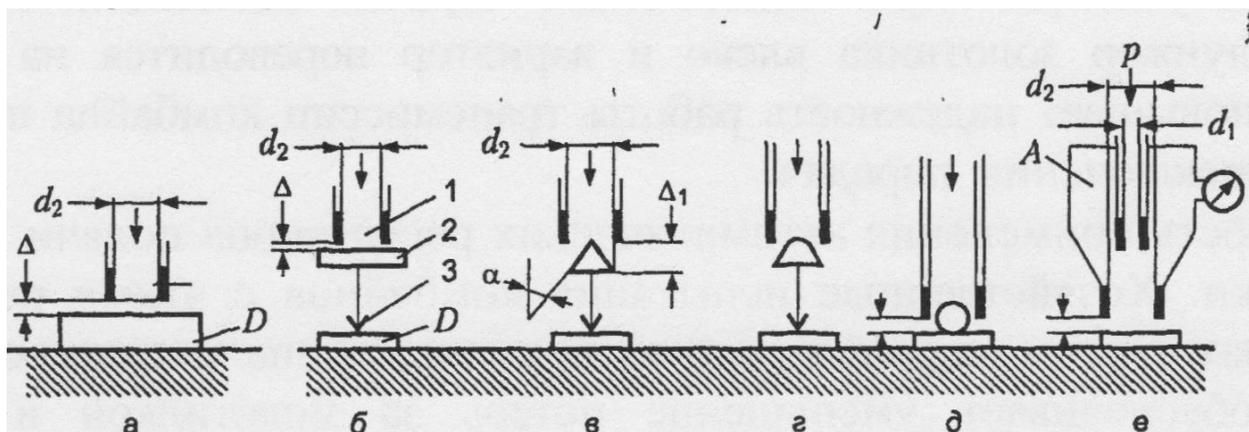
Подшипник несет на себе рычаг 4 с контактами 5 и 9. Механический контакт 8 является нерегулируемым и служит упором, который при ходе стержня вниз и проскальзывании фрикционной пары 2-3 обеспечивает установку нуля отсчета контролируемой амплитуды. При ходе стержня 1 вверх и недопустимо большой амплитуде электрические контакты 5 и 6 замыкаются. Рычаг 10 с винтом 7 служит для арретирования измерительного стержня. При необходимости отсчета размера может быть установлена индикаторная головка 11.

Недостатками приборов с электроконтактными преобразователями являются низкая надежность контактных пар, невысокая чувствительность, малое число команд, малые пределы измерений, релейный (пороговый) выходной сигнал.

#### **Приборы с пневмоэлектроконтактными преобразователями.**

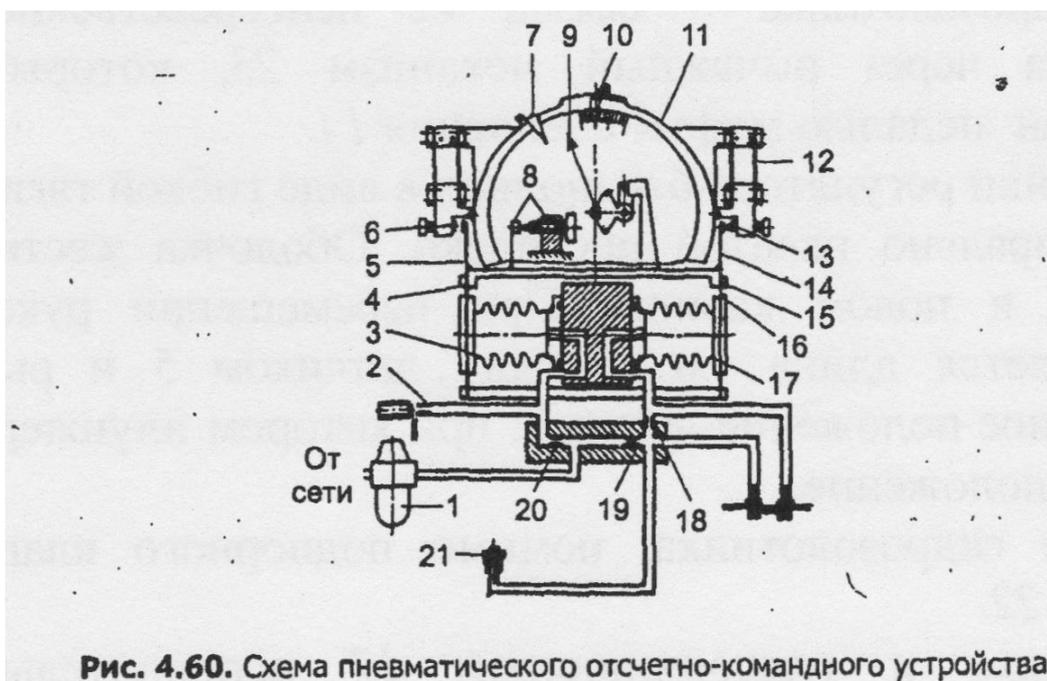
В пневматических приборах используют зависимость либо между площадью  $S$  продольного капала воздухопровода и расходом сжатого воздуха при постоянном давлении  $p$  (ротаметры), или между давлением  $p$  и расходом  $Q$  воздуха (манометры). При бесконтактном методе измерения в качестве заслонки измерительного сопла I используют контролируемое изделие  $I$  (рис. 4.59, а). Изменение высоты изделия приводит к изменению зазора  $A$  и, следовательно, контролируемого давления воздуха, протекающего через измерительное сопло диаметром  $d$ . При контактных методах (рис. 4.59, б-д) с измерительным наконечником 3 механически связана заслонка 2, которая также может иметь конусную, параболическую или сферическую форму.

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний, метрологических поверок средств измерений



**Рис. 4.59.** Схемы перекрытий воздуха в пневматических преобразователях: а — изделие — заслонка; б — плоская заслонка; в — заслонка с углом конуса  $\alpha$ ; г — параболическая заслонка; д — сферическая заслонка; е — эжекторное сопло

Для увеличения диапазона измерения применяют эжекторные сопла (рис. 4.59, *е*), в которых воздух под постоянным давлением  $p$  поступает в измерительное сопло диаметром  $d_2$  через входное сопло диаметром  $d_1$ . При этом в полости  $A$  возникает разрежение.



**Рис. 4.60.** Схема пневматического отсчетно-командного устройства

Для автоматизации процесса измерения выпускают отсчетно-командные устройства (рис. 4.60) с сильфонными преобразователями, в которых сжатый воздух под давлением 0,32-0,6 МПа после фильтра-стабилизатора 1 через входные сопла 19, 20 и 18 поступает в сильфоны 3

и 17. Сильфон 17 соединен с соплом 21 измерительного узла, а сильфон 3 — с настроечным соплом 2 противодавления. Сильфоны связаны между собой планкой 15, подвешенной на плоских пружинах 4 и 16. Планка 15 через рычажно-зубчатую передачу связана с отсчетным устройством 9 и электрическими контактами 5 и 6, 14 и 13. Контакты, подвешенные на пружинах 12, настраивают с помощью кулачков И. По их положению и положению указателей 7 и 10 определяют интервал настройки. При измерении размера детали давление в сильфоне 17 изменяется, планка 15 смещается в сторону, замыкая контакты 5 и 6. Контакты 8 служат для исключения срабатывания при снятии сопла 21.

Пневматические приборы надежны, имеют измерительные сопла малых размеров, которые могут быть расположены в труднодоступных местах и легко позволяют получать сумму и разность сигналов. Недостатки пневматических приборов — инерционность, небольшой диапазон показаний, необходимость сложной очистки и подготовки воздуха.

**Струнные преобразователи.** В связи с развитием цифровой вычислительной техники, созданием электронных цифровых управляющих машин наиболее удобной формой представления информации от преобразователя является кодо- импульсная, а также частотно-импульсная модуляция. К таким преобразователям относится струнный.

В струнных преобразователях измеряемая величина преобразуется в изменение частоты собственных поперечных колебаний тонкой натянутой струны

$$f = \frac{1}{2l} \sqrt{\frac{F_0}{\rho S}} = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{F_0}{m_c l}},$$

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

где  $F_0$  — сила натяжения струны;  $\rho$  — плотность материала струны;

$S$  — площадь поперечного сечения струны;

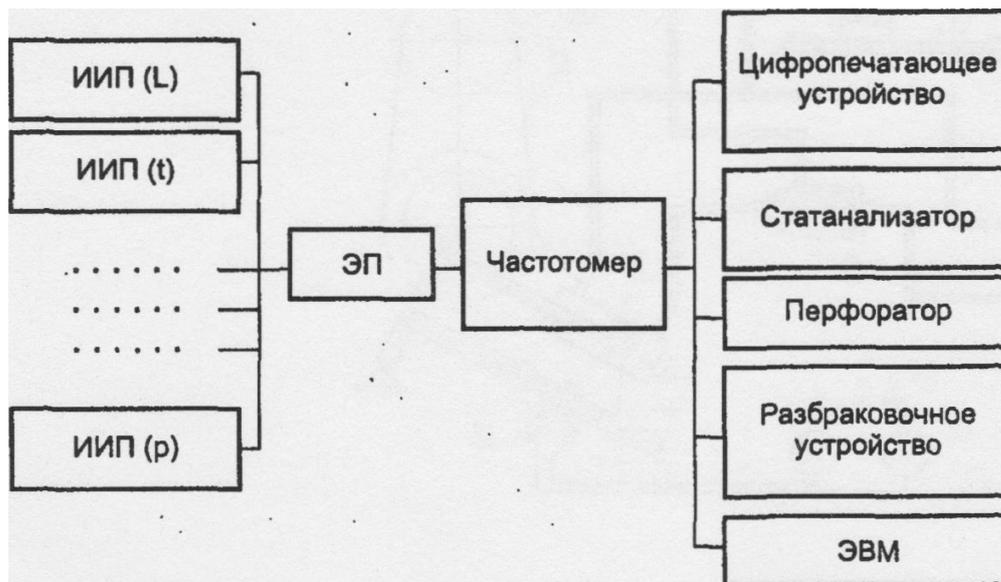
$m$  — масса струны;

$l$  — длина струны.

Струна, помещенная в поле постоянных магнитов, и электронный усилитель с положительной обратной связью образуют автогенератор, в котором поддерживаются незатухающие колебания струны на частоте, почти равной частоте ее собственных колебаний. Воздействуя на натяжение, деформацию или массу  $m$ , струны, можно построить унифицированную систему преобразователей, позволяющих измерять различные физические величины; линейное и угловое перемещение, температуру, давление, силу, электрический ток и напряжение и др.

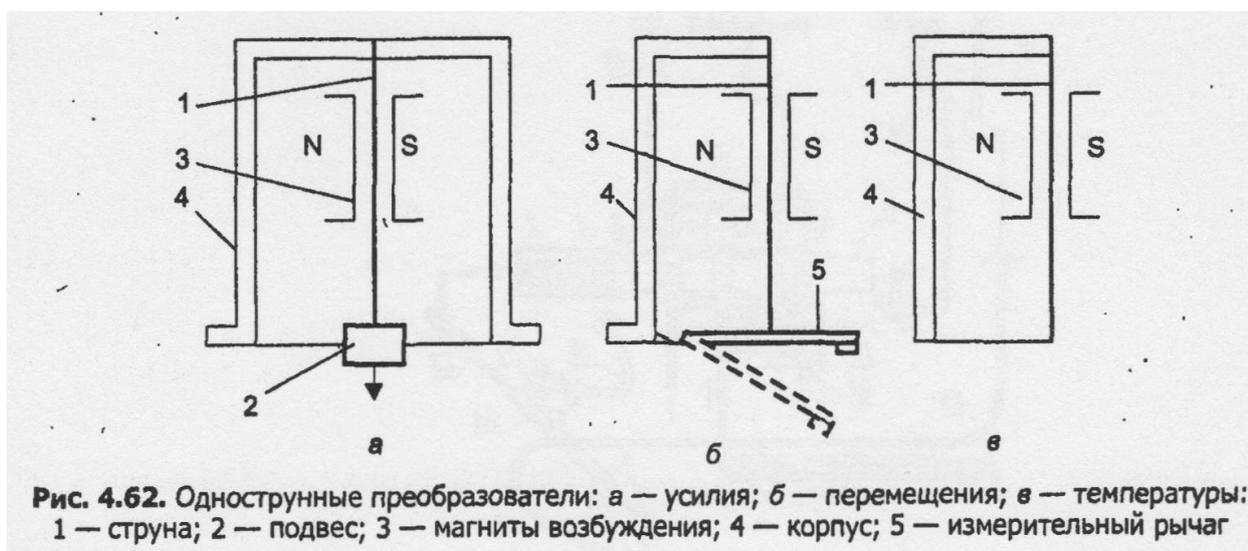
Разработано несколько унифицированных конструкций преобразователей, на базе которых создана унифицированная информационно-измерительная система метрологического обеспечения (УИИС МО) технологических процессов (рис. 4.61), с помощью которой можно измерять различные физические величины. На схеме — информационно-измерительные преобразователи (ИИП) в частоту:  $L$  — линейных перемещений;  $t$  — температуры;  $p$  — давления; ЭП — электронный преобразователь.

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений



**Рис. 4.61.** схема УИИМ МО технологического процесса

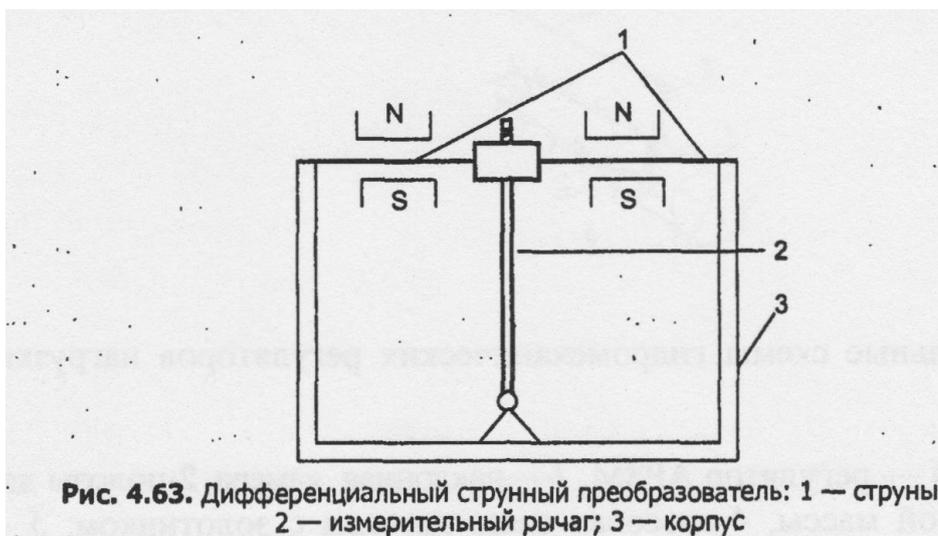
На практике применяют струнные преобразователи двух типов: *однострунные* для измерения *усилия* (рис. 4.62, а), *перемещения* (рис. 4.62, б), *температуры* (рис. 4.62, в) и *дифференциальные* (рис. 4.6.4), предназначенные для измерения линейных перемещений, силы или веса, давления, темпе



ратуры окружающей среды и поверхностей объектов малой площади. Кроме того, эти преобразователи могут применяться для измерения:

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

толщины напыленного слоя, угловых размеров и перемещений, постоянного и переменного тока, напряжения.



Основные недостатки однострунных преобразователей — нелинейность характеристик и смещение начального уровня — могут быть существенно уменьшены, если использовать дифференциальную схему. При этом измеряемый параметр воздействует на две идентичные струны, увеличивая частоту одной из них и уменьшая частоту другой.

Применительно к измерению перемещений, деформаций и размеров следует отметить ряд несомненных преимуществ цифровой информационно-измерительной системы со струнными преобразователями по сравнению с существующими устройствами аналогичного назначения:

- 1) возможность преобразования сигнала в цифровую и аналоговую форму;
- 2) информация об измеряемой величине выдается в форме кода, что позволяет стыковать рассматриваемые устройства с ЭВМ и статанализаторами и на этой базе осуществлять автоматизацию управления технологическими процессами;

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

- 3) высокое быстродействие системы и возможность поверки метрологических характеристик устройства с использованием образцового электронно-счетного частотомера; цифровая индикация результатов измерения в натуральных единицах повышает производительность контрольных операций, объективность контроля и дает возможность с помощью цифропечатающих устройств документально регистрировать результаты измерения;
- 4) полученная в форме кода информация об измеряемой физической величине без искажений может передаваться на значительные расстояния.

**Приборы с индуктивными преобразователями.** В этих приборах изменение контролируемой величины преобразуется в изменение индуктивности электрической цепи в соответствии с формулой

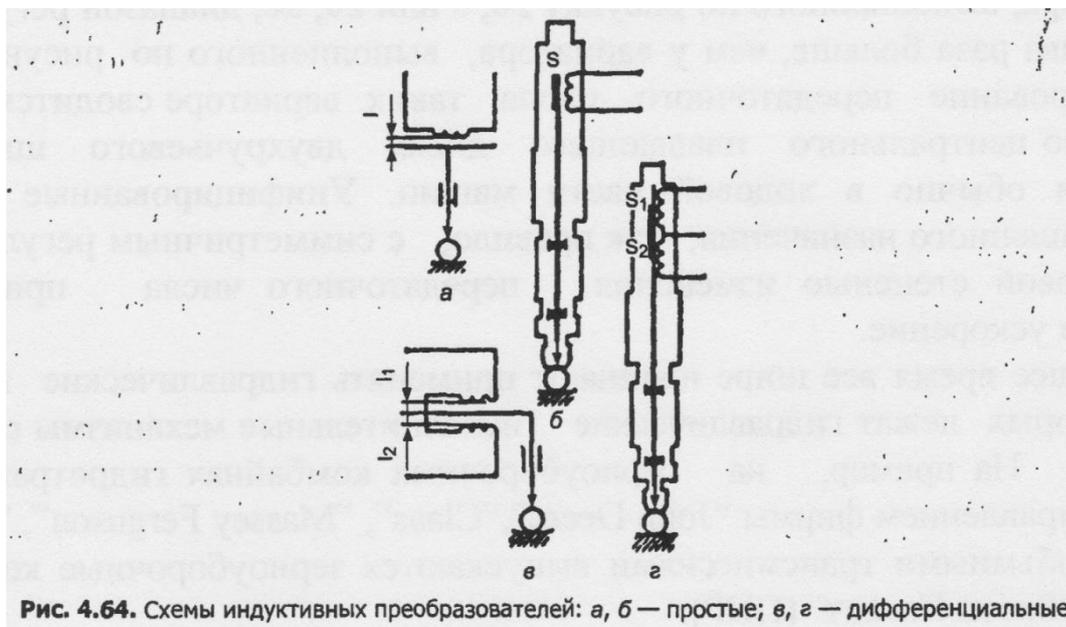
$$L = \frac{\omega^2}{\sum_{i=1}^k l_i / (\mu_i S_i)},$$

где  $L$  и  $\omega$  — индуктивность и число витков катушки;  $l_i$ ,  $S_i$ , и  $\mu_i$  — зазор, площадь и магнитная проницаемость участка  $i$  магнитной цепи (в том числе ферромагнитных и воздушных участков).

Конструкции индуктивных преобразователей основаны на зависимости индуктивности от зазора  $l$  между подвижной частью (якорем, связанным с измерительным наконечником) и сердечником (рис. 4.64, а, в) либо от площади  $S$  их перекрытия (рис. 4.64, б, г). Индуктивные преобразователи могут быть построены по простой (рис. 4.64, а, б) или дифференциальной (рис. 4.64, в, г) схеме. Преобразователи с изменяющимся зазором используют для контроля малых перемещений (0,1-5000 мкм); преобразователи с изменяющейся

площадью, имеющие большую линейность характеристики, используют для контроля перемещений 0,5-15 мм.

Преимуществами индуктивных датчиков являются — малые габариты, аналоговая форма выдаваемого сигнала, высокое передаточное отношение и широкие возможности по передаче, запоминанию и проведению различного рода математических преобразований и вычислений на ЭВМ. Однако эти приборы сложнее и дороже электродатчиков и пневматических.



**Приборы с емкостными преобразователями.** В этих приборах изменение контролируемой величины преобразуется в изменение электрической емкости  $C$  электрической цепи обычно в соответствии с формулой

$$C = \varepsilon S / l,$$

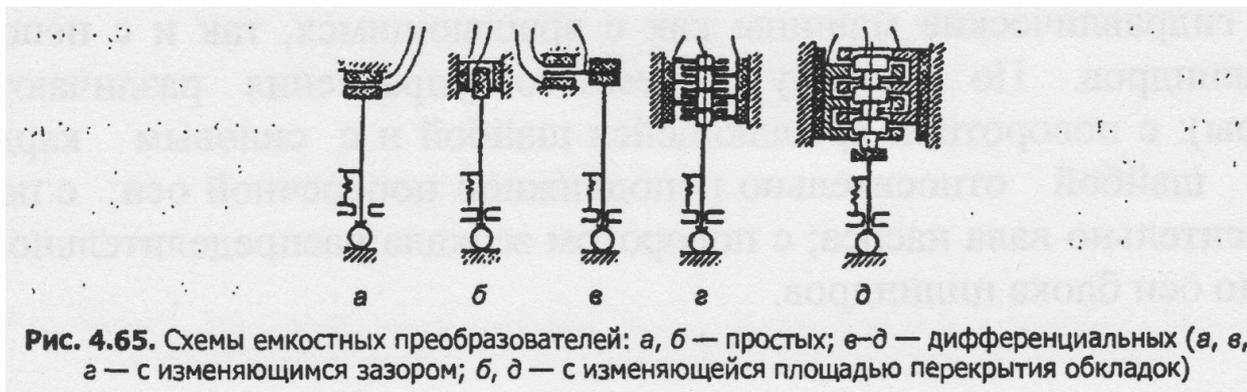
где  $\varepsilon$  — диэлектрическая проницаемость, Ф/м;

$S$  — площадь перекрытия обкладок конденсатора, см<sup>2</sup>;

$l$  — расстояние между обкладками, мм.

Следовательно, возможно создание трех видов емкостных преобразователей: с изменяющимся параметром  $\varepsilon$ ,  $S$  или  $l$ .

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений



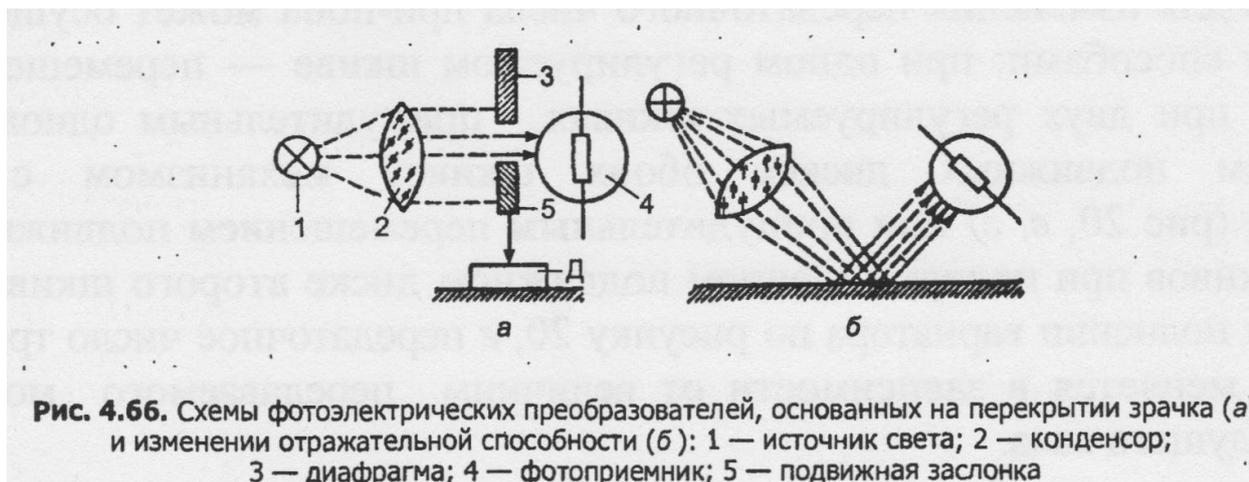
На рис. 4.65 показаны схемы простых и дифференциальных преобразователей. Емкостные преобразователи обладают высокой линейностью выходной характеристики, высокой чувствительностью, малыми измерительными усилиями.

Их специальные конструкции позволяют обеспечить большой диапазон показаний. емкостные преобразователи очень чувствительны к изменяющимся внешним условиям (колебаниям температуры, влажности и т. д.), что ограничивает область их применения.

**Приборы с фотоэлектрическими преобразователями.** В этих приборах изменение контролируемой величины вызывает изменение светотехнической характеристики, которое регистрируется фотоэлементами. Световой поток  $\Phi$ , попадающий на фотоэлемент, определяют по формуле

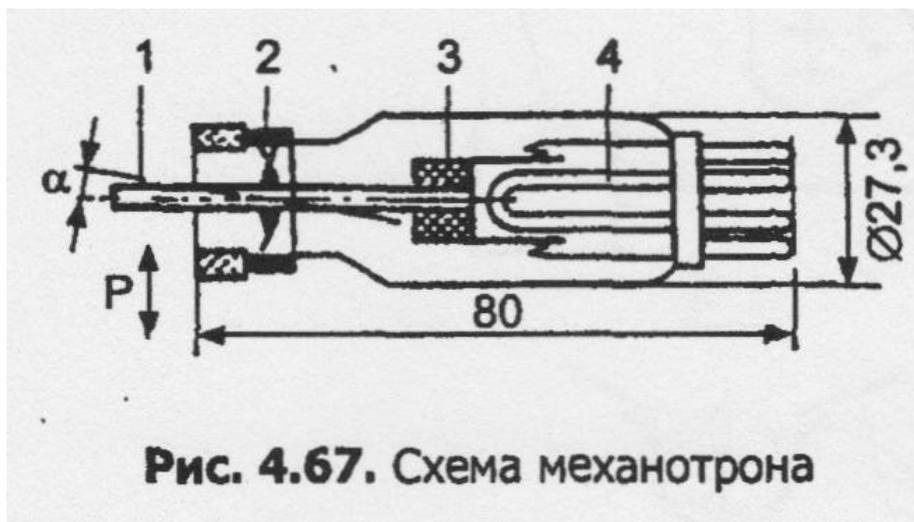
$$\Phi = I \cdot \left( S / r^2 \right) \cdot \cos \alpha ,$$

где  $I$  — сила света источника;  $S$  — площадь входного зрачка системы;  $r$  — расстояние от объектива системы до источника света;  $\alpha$  — угол падения пучка света на светочувствительную поверхность.



В соответствии с приведенной формулой выпускают датчики четырех типов, основанные на изменении: площади  $S$  (рис. 4.66, а) входного зрачка (световой поток перекрывается либо заслонкой, связанной с деталью  $D$ , либо кромкой самой детали); расстояния  $r$  от источника света до фоточувствительной поверхности (световой поток изменяется путем перемещения источника света или фотоприемника, вызванного изменением контролируемой величины); силы света  $I$  (рис. 4.66, б) источника (световой поток изменяется при изменении отражательной способности контролируемой поверхности); угла наклона  $\alpha$  к светочувствительной поверхности.

**Приборы, использующие электронные преобразователи (механотроны).** Радиоэлектронные преобразователи основаны на зависимости характеристик электронной лампы от геометрического расположения ее элементов (катодов, анодов, сеток и т. и.) Наибольшее распространение получили механотроны в виде длинных диодов с механическим управлением (рис. 4.67).



Контролируемое изделие поворачивает на угол  $\alpha$  стержень 1, закрепленный на эластичной мембране 2. На другом конце стержня имеются аноды 3, перемещающиеся при контроле относительно катода 4. Анодный ток определяют по формуле

$$I_a = kU_a^{3/2} / l_{a,k},$$

где  $k$  — постоянный коэффициент;  $U_a$  — анодное напряжение ( $U_a = \text{const}$ );  $l_{a,k}$  — расстояние между анодом и катодом.

Таким образом, механотрон выполняет функции преобразователя и первой электронной лампы усилителя. Эти приборы характеризуются высокой чувствительностью, безынерционностью, малыми измерительным усилием и габаритами. Так, для механотронов типа 6МХ диапазон измерений составляет от  $\pm 0,1$  до  $\pm 1$  мм, чувствительность 3-100 мкА/мкм, измерительное усилие 0,015-0,4 Н, анодное напряжение 5-15 В. Недостаток механотронов — невысокая долговечность (1000-4000 ч).

### Измерительные роботы

Автоматизация в крупносерийном производстве экономически выгодна на основе специализированных автоматических линий. Для мелко- и среднесерийного производства при частой сменяемости выпускаемых изделий более выгодно идти по пути создания безлюдной

технологии и использования перепрограммируемых промышленных роботов. Но в этом случае часто требуется точное позиционирование, например, контролируемых деталей. Серийно выпускаемые роботы обеспечивают точность позиционирования — 0,1 мм.

Точность позиционирования определяет, например, выполнение тех контрольных операций деталей, зазоры между калибром и деталью в которых соизмеримы с этой точностью. При меньших допусках в захватном устройстве монтируется специальная головка или в системе управления манипулятором используются корректирующие обратные связи с датчиком очувствления, установленным на захватном устройстве или позиционере, где закреплена основная деталь.

Главная функция измерительного робота (ИР) — захват и перемещение предмета (детали, измерительного средства) на требуемую позицию в сориентированном положении и в нужный момент времени. На основе использования ИР можно:

- 1) осуществлять метрологические процессы, которые по условиям производства невозможны с участием человека (токсичная, запыленная, загазованная, взрывоопасная среда, высокий уровень радиации рабочего пространства, сверхвысокие быстродействия, монотонные и тяжелые операции и т. п.);
- 2) достичь высокой производительности контроля в условиях быстрой сменяемости производства (гибкого автоматизированного производства), сокращения сроков обучения метрологическим приемам при выпуске новой продукции.

Робот может осуществлять:

- качественную оценку состава рабочей среды;

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

- установить присутствие определенных объектов, их счет, возможное расположение, дать качественную оценку, сортировку;
- оценку значения параметров имеющихся или изготавливаемых предметов (деталей);
- определение правильности функционирования отдельных объектов или их частей.

Роботы первого поколения предназначены только для перемещения грузов различной массы.

Роботы второго поколения являются уже «очувствленными». Для «очувствления» они снабжены различными датчиками, выдающими информацию о состоянии рук, предметов и среды. После преобразования сигналы обрабатываются в ЭВМ и позволяют осуществить управление исполнительными устройствами с учетом фактических ситуаций. По сравнению с роботами первого поколения они обладают повышенной маневренностью, имеют большее число сложных программ и позволяют управлять оборудованием, автоматизировать контроль сборки и другие процессы в производстве с частым изменением условий.

Роботы третьего поколения (интегральные роботы) имеют искусственный интеллект, высокую степень восприятия и распознавания обстановки, способность выработки решений автоматического планирования и контроля операций. Эти роботы могут изменять свои действия (адаптироваться) под влиянием изменения окружающей среды или под воздействием команд от заданной программы. Они могут обрабатывать, собирать и испытывать отдельные виды изделий, управлять несколькими видами оборудования, контрольно-измерительными установками, следить за состоянием оборудования и ходом производства, осуществлять учет продукции на различных стадиях

производства, выполнять некоторые конструкторские, исследовательские и лабораторные работы и т. п. Адаптивные роботы могут определять параметры объекта и окружающей среды, оценивать реальную картину, изменять последовательность действий.

Применение микропроцессорных систем контроля позволяет объединять приборы, выполняющие различные функции, в одну контрольно-измерительную систему. В результате совершенствования микропроцессоров и увеличения числа выполняемых ими функций стали появляться универсальные многофункциональные системы — мультиметры. Так, например, использование микропроцессоров в электрических мостовых контролирующих устройствах позволяет при контроле получить на выходе такого устройства одновременно данные о емкости, сопротивлении утечки, тангенсе угла потерь конденсатора и катушки индуктивности, активном и индуктивном сопротивлениях, а также добротности катушки индуктивности. Микропроцессор может управлять временем измерения, осуществлять выбор диапазона измерения, выполнять функции интерфейса. Кроме того, он может обеспечивать автоблокировку, самодиагностирование, статистический анализ, коррекцию ухода нуля, линеаризацию характеристик измерительных преобразователей.

### **Лекция по теме №3.1.1. Метрологические стенды для поверки, калибровки и ремонта приборов давления**

(с ручным, автоматизированным и автоматическим заданием давления)

#### ВОПРОСЫ

1. Общий вид стенда датчиков давления, назначение, особенности.
2. Описание метрологического стенда.
3. Принцип действия функциональных панелей.
4. Стандартные решения метрологических стендов.

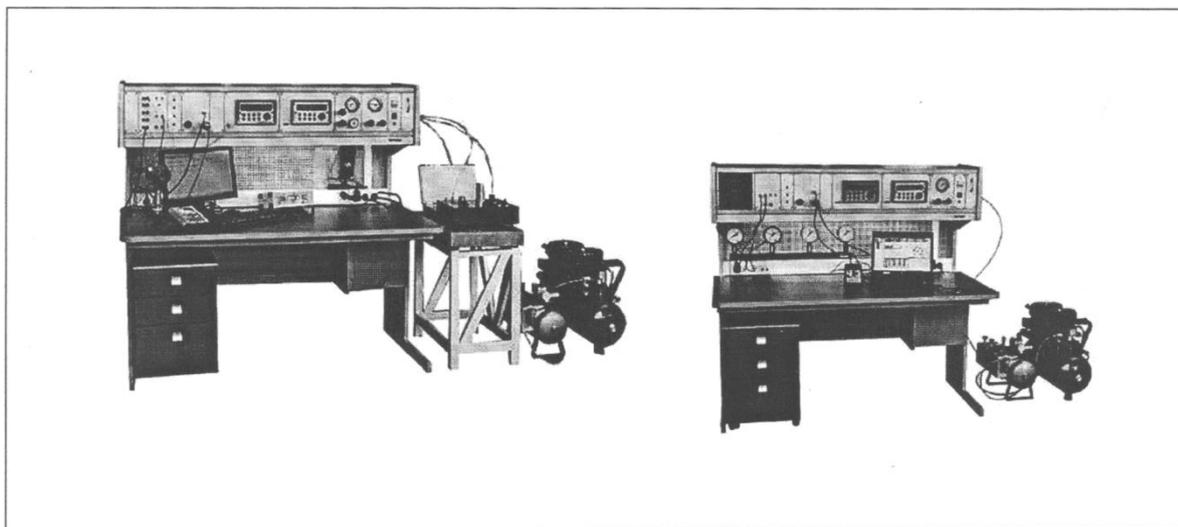
Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

5. Дополнительные возможности стенда и программы "Поверка СИД". Дополнительное оборудование и опции.

ЛИТЕРАТУРА

1. Каталог – метрологическое оборудование. М.: ПГ Метран, 2015 г., с.8-18.

**1. Общий вид стенда датчиков давления, назначение, особенности**



- Количество одновременно поверяемых приборов от 1 до 4 с одинаковыми диапазонами
  - Задание пневматического (до 21 МПа) и гидравлического (до 70 МПа) давления, разрежения (остаточное давление 1 кПа)
  - Эталоны давления:
    - электронные калибраторы давления серии Метран;
    - пневматические калибраторы давления серии Метран-500 Воздух;
    - грузопоршневые манометры, барометры
  - Эталоны для измерения выходного сигнала:
    - калибраторы и мультиметры серии Метран;
    - вольтметр с мерой электрического сопротивления
  - Способы задания давления/разрежения:
    - ручное,
    - автоматизированное,
    - автоматическое
  - Питание датчиков давлением напряжением 24 и 36 В, электроконтактных манометров - 24 В
  - Питание стенда:
    - электрическое питание 220 В, 50 Гц;
    - пневматическое питание от внешнего источника (пневмосеть, компрессор, система питания, вакуумный насос)
  - Габариты стола - не более 1625x1200x895 (до 1625x1200x982) мм
- Стенды предназначены для поверки и калибровки датчиков давления, разрежения, давления-разрежения, абсолютного давления с погрешностью  $\pm 0,04\% \dots 0,25\%$  и грубее, образцовых, технических и электроконтактных манометров (вакуумметров) и т.п.
- Основные особенности:

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

- одновременная поверка до 4 манометров, датчиков;
- задание пневматического (до 10 МПа) и гидравлического (до 70 МПа) давления;
- точность регулирования давления/разрежения (минимум 10 Па на стенде, 1 Па на помпе П-0,04);
- ручное, автоматизированное, автоматическое задание давления/разрежения, в т.ч. на одном стенде;
- программное обеспечение «Поверка СИД» для автоматизированной и автоматической поверки (калибровки) 1-4 приборов в соответствии с требованиями методик и ГОСТов на их поверку, ведения базы данных, автоматического формирования протоколов;
- малощумящие компрессоры и системы питания;
- поверка (если требуется) эталонов;
- современный дизайн, эргономичность конструкции.

## 2. ОПИСАНИЕ МЕТРОЛОГИЧЕСКОГО СТЕНДА

Основные составные части метрологического стенда:

- ✚ стенд (рабочий стол с набором функциональных панелей);
- ✚ эталонные средства измерений (в зависимости от поверяемых средств измерений);
- ✚ дополнительное оборудование и опции (штуцеры переходные, паяльная станция, компьютер, принтер и т.д.).

Стенд (рабочее место) состоит из прочного каркаса со столешницей. По запросу, на основании заполненного опросного листа для повышения эргономики рабочего места и эффективности поверочных работ возможно изготовление других функциональных панелей и конструкций стендов, например:

- автоматические стенды с возможностью установки и подключения во время поверки (калибровки) до 5ти поверяемых датчиков давления (до 10 манометров);
- стенды с защищенной (закрытой) поверочной камерой, со встроенными коллекторами для установки поверяемых приборов и блоками электрической коммутации;
- панели коммутации к клеммам контроллеров или мультиметров;
- панели со встроенными приборами и оборудованием (источники питания, осциллографы, паяльные станции и др.), с функциональными панелями и системой коммутации, блока розеток 220 В, устройств заземления, кресла, минимально - необходимого комплекта для коммутации с поверяемыми приборами (пневмошланг, провода, штуцеры и т.п.), набора инструментов.

Стенд имеет регулируемые опоры для установки рабочей поверхности в горизонтальное положение.

Наборы функциональных панелей стенда позволяют контролировать электрическое и пневматическое питание стенда, производить электрическую и пневматическую коммутацию эталонов и поверяемых приборов со стендом, задавать давление (разрежение).

Для проведения автоматизированной и автоматической поверки в состав стенда включается контроллер давления, программное обеспечение "Поверка СИД" с широкими функциональными возможностями.

Номенклатура и комплект эталонов на стенде, а также наличие конкретных функциональных устройств и дополнительного оборудования, определяются:

- ❖ заказчиком при выборе одного из вариантов стандартного решения стенда (см. описание "Стандартные решения метрологических стендов");
- ❖ специалистами ЗАО "ПГ "Метран" на основании заполненного заказчиком опросного листа.

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

При этом специалисты ЗАО "ПГ "Метран":

1. Осуществляют выбор эталонных средств измерений согласно методикам поверки/калибровки на поверяемые приборы в соответствии с их классом точности и рекомендуемым метрологическим запасом. В качестве эталонов на стенде используются портативные и стационарные эталоны давления и электрических сигналов.

2. Выбирают источники задания давления в соответствии с диапазонами измерений: ручные или от функциональных панелей.

3. Определяют источники питания поверяемых приборов и коммутации выходных сигналов с эталоном с помощью функциональной панели или с помощью внешних устройств.

4. Определяют комплект опций стенда: переходные штуцеры, приспособления, малощумящий компрессор или система питания, стол метрологический мраморный для размещения эталонов давления серии Метран-500 Воздух и грузопоршневых манометров (для подавления вибрации, влияющих на работу эталонов), паяльная станция, осциллограф и др.

### 3. ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ПАНЕЛЕЙ

Набор панелей определяется из заполненного опросного листа на метрологический стенд. Для примера рассмотрим работу наиболее распространенных панелей. Для контроля питания стенда напряжением сети 220 В, 50 Гц используется **электрическая панель** питания стенда, которая содержит защитный автомат и выключатель питания функциональных панелей с электрическими элементами. Пневматическое питание стенда осуществляется от внешнего источника (пневмосеть, компрессор) и через сменные фильтры подается в пневматическую систему стенда. Контроль давления питания стенда выполняется с помощью **пневматической панели** входного питания стенда с клапанами отсечения и сброса давления и манометром.

Для проведения поверки (калибровки) приборов обеспечивается пневматическая и электрическая коммутация поверяемых приборов и эталонов со стендом.

Электрическая коммутация датчиков давления выполняется через **панель коммутации электрических цепей** поверяемых датчиков, которая позволяет производить коммутацию от 1 до 4 поверяемых датчиков давления с унифицированными токовыми выходными сигналами (0-5 и 4-20 мА) и сигналами по HART протоколу с эталонным средством измерений выходного сигнала (калибратором и т.п.) или HART-устройством, производить одновременное постоянное питание подключенных поверяемых датчиков стабилизированным напряжением 24 и 36 В. Выбор выходного сигнала и напряжения питания датчика осуществляется с помощью кнопок. Для подключения поверяемых приборов и эталонов на панели имеются надежные разъемы (для датчиков) и клеммы (для калибраторов, HART-устройств и т.п.), все необходимые для подключений кабели входят в комплект поставки. Если требуется опция электрическая коммутация датчиков с выходными сигналами 1-5 В, 0-100 мВ, по протоколу Foundation Fieldbus и др., то в состав стенда включается дополнительное оборудование, вольтметры, коммуникаторы и др.

**Панель коммутации электроконтактных манометров** используется для определения погрешности срабатывания их сигнализирующих устройств (контактов). При срабатывании сигнализирующего устройства на панели стенда загораются

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

соответствующие светодиоды. Светодиодная индикация дублируется звуковым сигналом. Панель включает блок для подключения 4-х электроконтактных манометров (по 2 уставки на прибор).

Панель пневматической коммутации позволяет коммутировать эталоны и поверяемые приборы с источниками задания давления, расположенными на функциональных панелях.

**При ручном задании давления (разрежения)** на стенде используются панели на базе прецизионных регуляторов давления (разрежения), клапанов тонкой настройки и узла точной регулировки, которые позволяют задавать давление в диапазоне от -95 до 1000 кПа. С помощью прецизионного регулятора давление (разрежение) задается с точностью  $\pm 300$  Па, для повышения точности используются клапаны тонкой настройки с регулированием точности до  $\pm 50$  Па (расходный режим) и узел точной регулировки до  $\pm 10$  Па (безрасходный режим).

**При автоматизированном и автоматическом задании давления (разрежения)** на стенде используется панель на базе встроенного калибратора-контроллера для задания давления. Калибратор-контроллер на стенде позволяет создать и измерять давление, разрежение. Режимы работы: базовый (задается каждое значение пользователем), автоматизированный (ряд нагружения задается пользователем, далее запуск задания давления в каждой поверочной точке по команде пользователя) и автоматический (ряд нагружения и время выдержки на поверочных точках задается пользователем, далее производится запуск автоматического цикла задания давления). Возможно удаленное автоматическое управление работой Калибратора- контроллера при использовании ПО "Поверка СИД". Для пневматического питания избыточным давлением стенд может быть укомплектован пневматической системой питания (диапазон регулирования выходного давления до 1,6; 4 или 10 МПа) При необходимости питания давлением выше 12 МПа рекомендуется применять баллоны со сжатым воздухом.

Для создания давления на стенде также могут быть использованы пневматические (до 4 МПа) и гидравлические (до 70 МПа) внешние ручные источники давления (подключение поверяемых приборов и эталонов осуществляется напрямую к источникам).

По запросу и на основании опросного листа для повышения эргономики, эффективности поверочных работ возможно изготовление других функциональных панелей, например, для коммутации к клеммам контроллера или со встроенными приборами: источниками питания, осциллографами.

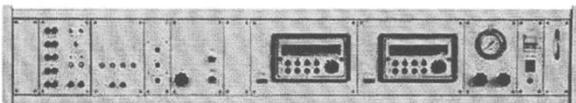


Рис.1 Пример внешнего вида блока функциональных панелей стенда для поверки 1-4-х датчиков давления и 1-4-х манометров (в т.ч. электроконтактных) с автоматизированным (автоматическим) заданием давления и разрежения.

Характеристики и подробное описание оборудования эталонов, сформированного специалистами ЗАО "ПГ "Метран" как комплект стенда, см. в соответствующих разделах данного каталога (по запросу направляется совместно с обозначением комплекта стенда).

#### 4. СТАНДАРТНЫЕ РЕШЕНИЯ МЕТРОЛОГИЧЕСКИХ СТЕНДОВ

Комплектация стандартных решений метрологических стендов является минимально необходимым комплектом оборудования, позволяющим проводить поверку и калибровку датчиков давления (разрежения), манометров (вакуумметров) и т.п. (подробный список поверяемых приборов см. табл.1).

Таблица 1

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний, метрологических поверок средств измерений

Номер к-та	Примеры поверяемых приборов <sup>11</sup> Диапазоны и погрешности поверяемых приборов по ГОСТ 22520-85 и ГОСТ 2405-88	Состав комплекта	Методы воспроизведения давления / типы поверяемых приборов
1	<p><b>0,25% и грубее</b> (изб. 0-10 кПа...0-60 МПа; разр. -100-0 кПа... -25-0 кПа; (0-1,6... 0-6 кПа)<sup>21</sup>)</p> <p><b>0,5% и грубее</b> (изб. 0-1 кПа...0-60 МПа; разр. -100-0 кПа...-25-0 кПа)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>□ Метрологический стенд СПД-К2- ИР</li> <li>□ Метран-501 -ПКД-Р-1 -К2,5Д/К6Д/К25Д/ МО, 16Д/М1 Д/М2.5/М 10/М25/М60/В25/В63/В100-Н-2.5УМ/П 70-USB</li> <li>□ Малошумящий компрессор (Ртах=0,8 МПа) с соединительным шлангом (L=6м)</li> </ul>	<p>Воспроизведение давления осуществляется с помощью ручных источников в диапазоне от -0,095 до 60 МПа, а также с помощью прецизионных регуляторов в диапазоне от -0,95 до 600 кПа.</p> <p>Типы поверяемых приборов:</p> <p><b>1.3.16.</b> ДД, ДИ, ДВ, ДИВ с выходными сигналами 4-20, 0-5, 0-20 мА;</p> <p><b>1.3.17.</b> образцовые и технические манометры, вакуумметры, мановакуумметры, напоромеры (по МИ2124-90 и МИ2145-91)</p>
2	<p><b>0,25% и грубее</b> (изб. 0-10 кПа...0-60 МПа; разр. -100-0 кПа...-25-0 кПа; (0-1,6...0-6 кПа)<sup>21</sup>)</p> <p><b>0,5% и грубее</b> (изб. 0-1 кПа...0-60 МПа; разр. -100-0 кПа...-25-0 кПа)</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Метрологический стенд СПД-К2- 530Р</li> <li>2. Метран-501-ПКД-Р-1-К2,5Д/К6Д/ К25Д/ МО.16Д/ М1Д/М2.5/М10/М25/ М60/В25/ В63/ В100-Н-2,5УМ/П 70-USB</li> <li>3. Калибратор-контроллер давления МеТран-530-D700КЕ-RS232</li> <li>4. Малошумящий компрессор (Ртах=0,8 МПа) с соединительным шлангом (L=6м)</li> </ol>	<p>Воспроизведение давления осуществляется с помощью ручных источников в диапазоне от -0,095 до 60 МПа, а также с помощью калибратора- контроллера в диапазоне от -0,95 до 600 кПа.</p> <p>Типы поверяемых приборов:</p> <p>21 ДД, ДИ, ДВ, ДИВ с выходными сигналами 4-20, 0-5, 0-20 мА;</p> <p>22 образцовые и технические манометры, вакуумметры, мановакуумметры, напоромеры (по МИ 2124-90 и МИ 2145-91)</p>
3	<p><b>0,15% и грубее</b> (изб. 0-10 кПа...0-60 МПа; разр. -100-0 кПа...-25-0 кПа; (0-1...0-6 кПа)<sup>21</sup>; абс. 0-60 кПа...0-6 МПа)</p> <p><b>0,2% и грубее</b> (изб. 0-0,4 кПа...0-60 МПа; разр. -100-0 кПа...-16-0 кПа; абс. 0-40 кПа...0-6 МПа) для HART:</p> <p><b>0,1% и грубее</b> (изб. 0-10 кПа...0-60 МПа; разр. -100-0 кПа... -25-0 кПа; абс. 0-60 кПа...0-6 МПа) <b>0,15% и грубее</b> (изб. 0-0,4 кПа...0-60 МПа; разр. -100-0 кПа...-16-0 кПа; абс. 0-60 кПа...0-6 МПа)</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Метрологический стенд СПД-К2- 530Р</li> <li>2. Метран-517-1-00,63КЕ/2,5КО/ D6.3KD/25KC/D63KC/D160KC/ D1MC/ 6MC/25MC/ 60MC/A160KC/ A1 MC/A6MC-Н-2,5УМ/П-70-Э</li> <li>3. Калибратор-контроллер давления МеТран-530-D700КЕ-RS232</li> <li>4. Малошумящий компрессор (Ртах=0,8 МПа) с соединительным шлангом (L=6м)</li> </ol>	<p>Воспроизведение давления осуществляется с помощью ручных источников в диапазоне от -0,095 до 60 МПа, а также с помощью калибратора- контроллера в диапазоне от -0,95 до 600 кПа.</p> <p>Типы поверяемых приборов:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- ДД, ДИ, ДВ, ДИВ, ДА с выходными сигналами 4-20, 0-5, 0-20 мА и HART;</li> <li>- образцовые и технические манометры, вакуумметры, мановакуумметры, тягомеры, напоромеры, тягонапоромеры (по МИ 2124-90 и МИ 2145-91)</li> </ul>
4	<p><b>0,15% и грубее</b> (изб. 0-10 кПа...0-60 МПа; разр. -100-0 кПа... -25-0 кПа; (0-1...0-6 кПа)<sup>21</sup>; абс. 0-60 кПа...0-6 МПа)</p> <p><b>0,2% и грубее</b> (изб. 0-0,4 кПа...0-60 МПа; разр. -100-0 кПа...-16-0 кПа; абс. 0-40 кПа...0-6 МПа) для HART:</p> <p><b>0,1% и грубее</b> (изб. 0-10 кПа...0-60 МПа; разр. -100-0 кПа...-25-0 кПа; абс. 0-60 кПа...0-6 МПа) <b>0,15% и грубее</b> (изб. 0-0,4 кПа...0-60 МПа; разр. -100-0 кПа...-16-0 кПа; абс. 0-40 кПа...0-6 МПа)</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Метрологический стенд СПД-К- 530Р-А</li> <li>2. МеТран-517-1- D0,63КЕ/2,5KD/ D6.3KD/25KC/D63KC/D160KC/ D1 MC/ 6MC/25MC/60MC/A160KC/ A1 MC/A6MC-Н-2,5УМ/П-70-5</li> <li>3. Калибратор-контроллер давления МеТран-530-D2МЕ-RS232</li> <li>4. Система питания СП/6В</li> </ol>	<p>Воспроизведение давления осуществляется с помощью ручных источников в диапазоне от -0,095 до 60 МПа, а также с помощью калибратора- контроллера в диапазоне от -0,95 до 1600 кПа. Типы поверяемых приборов:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- ДД, ДИ, ДВ, ДИВ, ДА с выходными сигналами 4-20, 0-5, 0-20 мА и HART;</li> <li>- образцовые и технические манометры, вакуумметры, мановакуумметры, тягомеры, напоромеры, тягонапоромеры (по МИ 2124-90 и МИ 2145-91)</li> </ul>

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

Продолжение таблицы 1

Номер к-та	Примеры поверяемых приборов <sup>1</sup> Диапазоны и погрешности поверяемых приборов по ГОСТ 22520-85 и ГОСТ 2405-88	Состав комплекта	Методы воспроизведения давления/ типы поверяемых приборов
5	<p><b>для 4-20 и 0-20 мА:</b> <b>0,075% и грубее</b> (изб. 0-2,5 кПа<sup>21</sup>... 0-400 кПа<sup>2&gt;</sup>); <b>0,1% и грубее</b> (изб. 0-400 Па<sup>2&gt;</sup>... 0-60 МПа<sup>21</sup>; разр. -100-0 кПа; абс. (0-60 кПа...0-6 МПа)<sup>21</sup>) <b>0,15% и грубее</b> (изб. 0-400 Па...0-60 МПа; разр. -100-0 кПа...-60-0 кПа; абс. 0-40 кПа<sup>21</sup>...0-6 МПа)</p> <p><b>для 0-5 мА:</b> <b>0,075% и грубее</b> (изб. 0-16 кПа<sup>21</sup>...0-400 кПа<sup>21</sup>); <b>0,1% и грубее</b> (изб. 0-2,5 кПа...0-400 кПа; (0-600 кПа...0-60 МПа)<sup>21</sup>; разр. -100-0 кПа) <b>0,15% и грубее</b> (изб. 0-400 Па...0-60 МПа; разр. -100-0 кПа...-60-0 кПа; абс. 0-60 кПа...0-6 МПа; 0-40 кПа<sup>21</sup>)</p> <p><b>для HART:</b> <b>0,04% и грубее</b> (изб. 0-16 кПа...0-400 кПа) <b>0,065% и грубее</b> (изб. 0-2,5 кПа...0-25 МПа; разр. -100-0 кПа; абс. (0-60 кПа...0-6 МПа)<sup>21</sup>) <b>0,075% и грубее</b> (изб. 0-400 Па...0-60 МПа; разр. -100-0 кПа; абс. 0-60 кПа...0-6 МПа) <b>0,1% и грубее</b> (изб. 0-400 Па...0-60 МПа; разр. -100-0...-40-0 кПа; абс. 0-60 кПа...0-6 МПа; 0-40 кПа<sup>21</sup>) <b>0,15% и грубее</b> (изб. 0-250 Па...0-60 МПа; разр. -100-0...-40-0 кПа; абс. 0-40 кПа...0-6 МПа; 0-25 кПа<sup>2&gt;</sup>)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>□ Метрологический стенд СПД- К-В2530Р-А</li> <li>□ Калибратор давления пневматический Метран-505 Воздух-1-0,015-40-кПа-д м/с<sup>2</sup></li> <li>□ Калибратор давления пневматический Метран-504 Воздух-11-0,01-кПа-г м/с<sup>2</sup></li> <li>□ Метран-517-1 -D160КА/А1 МВ/ А6МВ/1МА/6МА/25МА/ 60МВ-Н-2,5УМ/П-70-3</li> <li>□ Калибратор-контроллер давления Метран-530-02МЕ- RS232</li> <li>□ Система питания СП/6В</li> <li>□ Метрологический стол мраморный</li> </ul>	<p>Воспроизведение давления осуществляется с помощью ручных источников в диапазоне от -0,095 до 60 МПа, а также с помощью калибратора-контроллера в диапазоне от -0,95 до 600 кПа. Питание двух пневматических калибратора давления серии "Воздух". Типы поверяемых приборов:</p> <p><b>1.3.18.</b> ДД, ДИ, ДВ, ДИВ, ДА с выходными сигналами 4-20, 0-5, 0-20 мА;</p> <p><b>1.3.19.</b> образцовые и технические манометры, вакуумметры, мановакуумметры, тягомеры, напорометры, тягонапорометры (по МИ 2124-90 и МИ 2145-91)</p>

1) При соотношении суммарной погрешности эталонных средств поверки к погрешности поверяемых датчиков давления -1:3.

2) При соотношении суммарной погрешности эталонных средств поверки к погрешности поверяемых датчиков давления -1:2,5.

Примечания к табл.1.

- Датчики давления: ДИ - избыточного давления, ДД - разности давлений, ДВ - разрежения, ДИВ - давления-разрежения, ДА - абсолютного давления.
- Характеристики оборудования, рекомендованного для поверки (калибровки) см. в соответствующих разделах данного каталога.

При заказе 5-го комплекта требуется указать местное ускорение свободного падения с точностью до 5-го знака после запятой.

**5. Дополнительные возможности стенда и программы "Поверка СИД".  
Дополнительное оборудование и опции**

## ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ СТЕНДА И ПРОГРАММЫ "ПОВЕРКА СИД"

Программное обеспечение "Поверка СИД" позволяет автоматизировать процесс поверки, а именно:

- поверять до 4-х средств измерений давления (технических или образцовых манометров, датчиков давления) в соответствии со всеми требованиями методик и ГОСТов на их поверку (по запросу число поверяемых средств измерений может быть увеличено до 10 шт.);

- управление работой, считывание, обработку результатов измерений эталонных приборов и калибратора-контроллера, расчет погрешности, вариации, формирование протоколов;

- ведение базы данных поверяемых приборов и результатов поверок;

- поверять датчики уровня.

ПО "Поверка СИД" является автономным ПО и аттестовано на соответствие требованиям ГОСТ Р 8.654-2009.



Рис.2. Главное окно программы.

### 1. Выбор приборов для поверки

Выбор приборов (с сохраненными ранее данными по нему) для периодической поверки осуществляется из имеющейся базы данных или вводятся данные о новом приборе (тип, модель, инвентарный и серийный номер, диапазон измерений, пределы допускаемой погрешности, ряд поверяемых точек и т.п.). Возможен поиск одного или нескольких приборов в базе данных.

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

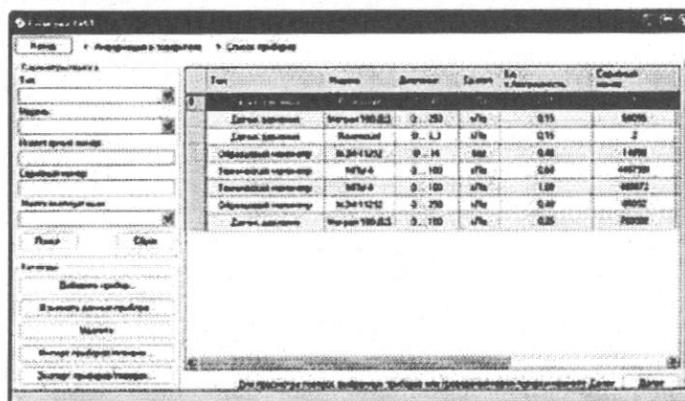


Рис.3. Выбор приборов для поверки и просмотра информации.

**2. Ввод информации о применяемых средствах поверки**

Выбор средств поверки (приборов, предназначенных для проведения поверки, датчиков давления) осуществляется из имеющейся базы данных программы.

**3. Ввод информации об условиях поверки**

**4. Опробование поверяемых приборов и проведение теста герметичности пневматической системы.**

**5. Определение основных метрологических характеристик датчиков давления или манометров (основной приведенной погрешности, вариации).**

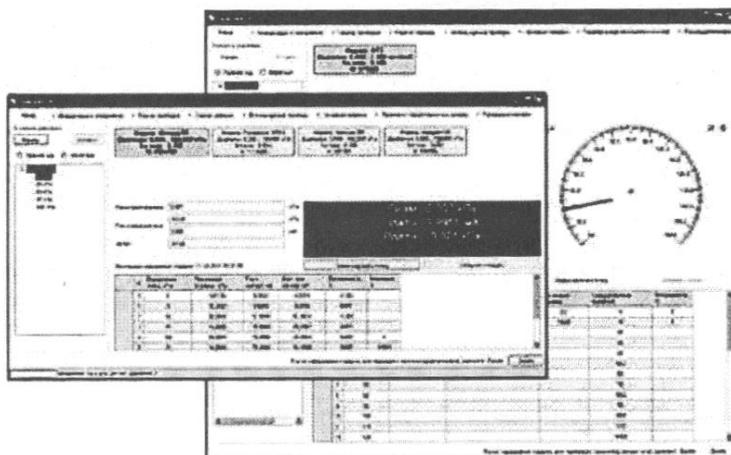
Организуется автоматический или автоматизированный процесс поверки (калибровки) нескольких приборов на стенде одновременно, для проведения поверки датчиков давления с цифровым выходным сигналом (по HART- протоколу) применяется USB-Hart модем Метран-682-Ex. Программа формирует для каждого поверяемого прибора рабочее окно с таблицей заданного ряда нагрузений (поверочных точек) для фиксации измеренных и расчетных значений.

Далее выполняется цикл с ручным, автоматизированным или автоматическим заданием давления/ разрежения и автоматическим измерением эталонного давления, измерением и расчетом тока (выходной сигнал поверяемого датчика давления), расчетом погрешности, вариации, фиксацией значений для каждой точки ряда нагружения одного или нескольких одновременно поверяемых приборов.

При использовании на стенде контроллера программа запускает автоматический цикл задания давления/разрежения (с заданным временем выдержки на каждой поверочной точке) или автоматизированный цикл (с автоматической остановкой и ручным запуском на каждой поверочной точке). При ручном задании - давление (разрежение) задается с панели стенда или от внешнего источника вручную, согласно заданному ряду нагружения в рабочем окне программы, далее аналогично (автоматическое измерение, расчет параметров).

Фиксация измеренных и расчетных значений для датчиков давления в каждой точке происходит автоматически (при автоматическом режиме) или нажатием на клавишу "Зафиксировать точку" в окне программы (при автоматизированном и ручном режимах задания давления).

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений



**Рис.4. Определение метрологических характеристик датчиков давления и манометров.**

Фиксация показаний поверяемых манометров осуществляется при помощи виртуальной шкалы на ПК (масштаб регулируется) для каждого манометра (вручную на соответствующей отметке устанавливается указатель, далее при фиксации показаний значение автоматически заносится в таблицу ряда нагружений с учетом цены деления, единиц измерений), для электроконтактных манометров выполняется автоматическая фиксация срабатывания уставок.

Программа для каждого прибора анализирует каждую зафиксированную в таблице результатов точку, проверяя результаты измерений по пределу основной погрешности и пределу вариации. При превышении предела допускаемого значения погрешности и/или вариации программа своевременно выдает на экран соответствующее предупреждение для возможности повторных измерений для данной точки и прибора до перехода к следующей точке ряда нагружения.

#### **6. Оформление результата поверки**

После окончания процесса поверки (калибровки), программа формирует пакет документов - протокол поверки, свидетельство о поверке или заключение о непригодности (шаблоны редактируются, выбирается формат RTF, XML, HTM, PDF ODT), удовлетворяющие требованиям методик и ГОСТам, и сохраняет поверку в базе данных. В базе данных для каждого прибора формируется список ранее осуществленных поверок, в котором указаны дата и результаты поверки (годен/не годен, максимальное значение погрешности, показ документов).

Примеры документов см. в разделе "Программное обеспечение Поверка СИД" данного каталога.

Для заказа Программного обеспечения "Поверка СИД" необходимо указать "Автоматизированную обработку результатов поверки" в опросном листе на метрологический стенд или выбрать стандартное решение стенда (см. соответствующие разделы каталога).

#### **ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ СТЕНДА**

При разработке стенда учитывают пожелания заказчика по дополнительной комплектации стенда различным оборудованием, что способствует расширению функциональных возможностей стенда. Например, возможно оснащение стенда цифровым мультиметром и паяльной станцией, что позволит осуществлять на стенде работы по диагностике и ремонту датчиков.

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

**ДОПОЛНИТЕЛЬНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ И ОПЦИИ**

Дополнительно стенд может быть укомплектован следующим оборудованием:

- метрологический стол мраморный (с мраморной плитой) для установки пневматических калибраторов давления Метран-500 Воздух, грузопоршневых манометров и т.п.;
- пневматические и гидравлические коллекторы для установки 2-4х манометров, датчиков давления (штуцерное подключение);
- быстросъемные соединения БС-70;
- дополнительные штуцеры переходные;
- источники давления (разрежения);
- универсальный измеритель параметров окружающей среды (температура, давление, влажность);
- цифровой мультиметр; осциллограф; вольтметр;
- паяльная станция, дымоуловитель;
- персональный компьютер (ноутбук);
- принтер;
- подкатная тележка для транспортировки поверяемых приборов;
- комплект лотков/контейнеров, крючков и держателей для хранения мелких деталей и инструментов;
- стеллаж, шкаф для хранения приборов, инструментов и технической документации;
- другое оборудование, указанное в опросном листе. Информацию по коллекторам, стойкам, штуцерам, быстросъемному соединению, источникам давления см. в соответствующих разделах данного каталога.

**Внимание!** Для запроса стоимости и заказа метрологического стенда для поверки и калибровки датчиков давления, манометров необходимо заполнить опросный лист (см. соответствующий раздел данного каталога, в электронном виде на сайте компании, компакт-диске или направляется по запросу). Контакты для вопросов, запроса и отправки опросного листа указаны в каталоге (в начале каталога и на обложке) и на сайте [www.emersonprocess.ru](http://www.emersonprocess.ru).

**ЛЕКЦИЯ ТЕМА № 3.2 «ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ  
АВТОМАТИЗАЦИИ ИЗМЕРЕНИЙ И КОНТРОЛЯ»**

**ВОПРОСЫ**

1. Цель и задачи автоматизации. Автоматизация измерительного процесса.
2. Обобщенные структурные схемы процессов измерения и контроля.
3. Основные принципы построения средств автоматизированного контроля.

**ЛИТЕРАТУРА**

1. Парахуда Р.Н., Шевцов В.И. Автоматизация измерений и контроля: Письменные лекции. – СПб., СЗТУ, 75 с.

## **1. Цель и задачи автоматизации. Автоматизация измерительного процесса.**

Под термином «автоматизация» понимается совокупность методических, технических и программных средств, обеспечивающих проведение процесса измерения без непосредственного участия человека. Автоматизация является одним из основных направлений научно-технического прогресса. Цели автоматизации представлены в табл.1.

Самым мощным средством в интенсификации труда практически во всех сферах человеческой деятельности является широкое применение средств вычислительной техники.

Сопоставив затраты на автоматизацию с получаемой экономией, можно количественно определить ее эффективность. В качестве меры автоматизации установлено понятие "степень автоматизации", определяемое как "автоматизированная часть выполняемых данной установкой операций".

Обобщенная структурная схема СИ, присущая любому измерительному прибору, устройству, системе, приведена на рис. 1.1. Анализ этой схемы приводит к определению основных задач автоматизации.

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

Таблица 1

Цели автоматизации			
Научные	Технические	Экономические	Социальные
<p>1. Повышение эффективности и качества научных результатов за счет более полного исследования моделей</p> <p>2. Повышение точности и достоверности результатов исследований за счет оптимизации эксперимента.</p> <p>3. Получение качественно новых научных результатов, невозможных без ЭВМ.</p>	<p>1. Повышение качества продукции за счет повторяемости операций, увеличения числа измерений и получения более полных данных о свойствах изделий.</p> <p>2. Повышение надежности изделий за счет получения более полных данных о процессах старения и их предшественниках.</p>	<p>1. Экономия трудовых ресурсов за счет замены труда человека трудом машины.</p> <p>2. Сокращение затрат в промышленности за счет уменьшения трудоемкости работ.</p> <p>3. Повышение производительности труда на основе оптимального распределения работ между человеком и машиной и ликвидации неполной загрузки при эпизодическом обслуживании объекта.</p>	<p>1. Повышение интеллектуального потенциала за счет поручения рутинных операций машине.</p> <p>2. Ликвидация случаев занятости персонала операций в нежелательных условиях.</p> <p>3. Освобождение человека от тяжелого физического труда и использование сэкономленного времени для удовлетворения духовных потребностей.</p>

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

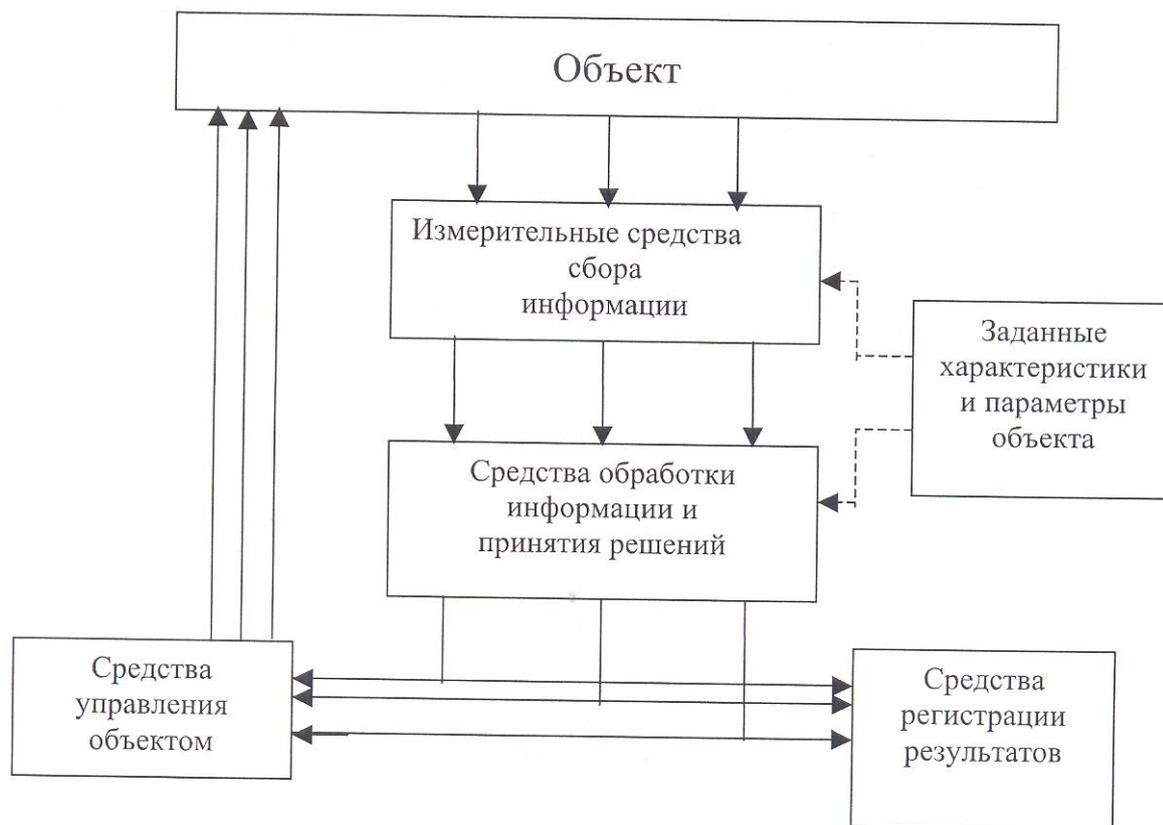


Рис.1.1 Обобщенная структурная схема средств измерений

При автоматизации сбора измерительной информации необходимо обеспечить:

- унификацию выходных сигналов измерительных преобразователей;
- программно-управляемую коммутацию сигналов на общий канал связи; автоматический выбор диапазонов измерений.

При автоматизации операций измерительной цепи (канала) необходимо обеспечить:

- прием информации;
  - фильтрацию;
  - усиление;
  - аналого-цифровое преобразование.
- типовой набор операций

При автоматизации передачи информации в ЭВМ необходимо обеспечить:

- согласование измерительной цепи с информационной магистралью вычислительного устройства (интерфейс). Интерфейс определяет формат передаваемой и принимаемой информации, уровни сигналов, организацию управляющих сигналов и т.д.

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

Автоматизация обработки измерительной информации предполагает:

- включение в измерительную цепь вычислительных средств (серийно выпускаемых ЭВМ);
- разработку специализированных средств на базе микропроцессорных средств.

Автоматизация индексации и документальной регистрации результатов измерений обеспечивается:

- периферийными выходными устройствами;
- цифро-буквопечатающими устройствами;
- графопостроителями;
- дисплеями;
- цифровыми индикаторными табло и т.д.

Выбор необходимого устройства и вывод информации на ЭВМ при этом должен осуществляться автоматически.

Вопросы для самоконтроля усвоения знаний:

1. Дайте определение понятия "автоматизация".
2. Перечислите научные, технические, экономические и социальные цели автоматизации.
3. На основании анализа обобщенной структурной схемы СИ, сформулируйте задачи автоматизации.

#### Автоматизация измерительного процесса

Необходимость измерения огромного количества разнообразных физических величин потребовала разработки средств измерений, позволяющих получать необходимую информацию без непосредственного участия человека, т.е. выполняющих измерения автоматически.

Автоматизация позволяет обеспечить:

- сбор измерительной информации в местах, недоступных для человека;
- длительные, многократные измерения;
- одновременное измерение большого числа величин;
- измерение параметров быстропротекающих процессов; \*
- измерения, характеризующиеся большими массивами информации и сложными алгоритмами ее обработки.

Следует различать полную и частичную автоматизацию. Процесс измерения, при котором обратная связь управления осуществляется без участия человека называется автоматическим. Если оператор является одним из звеньев в цепи получения измерительной информации - речь идет об автоматизированных измерениях.

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

Автоматизация измерений не принижает роль исследователя, инженера или техника, планирующих и использующих результаты измерений. Наоборот, она повышает производительность их труда, требует от них более высокого уровня знаний не только средств измерений но и тех задач, которые решаются при приеме и обработке измерительной информации, умения заложить оптимальную программу измерений и дать правильное толкование результатов измерения.

Автоматические средства измерений в процессе своего развития прошли ряд этапов становления.

На первом этапе развития автоматизации подвергались лишь средства сбора измерительной информации и ее регистрации на аналоговых индицирующих и регистрирующих устройствах. Обработку результатов измерений и выработку соответствующих решений и исполнительных команд осуществлял оператор. В подобных системах управления объектом средства измерений представляли собой набор отдельных измерительных приборов. В результате при измерении большого числа параметров объекта оператор был не в состоянии охватить всю полученную информацию и принять оптимальное решение по управлению объектом. Это приводило к расширению штата обслуживающего персонала, к снижению надежности и качества управления и возрастанию эксплуатационных расходов.

На втором этапе все возрастающие требования к средствам измерений, обусловленные интенсификацией потоков измерительной информации, привели к созданию информационно — измерительных систем. В отличие от измерительного прибора информационно - измерительная система обеспечивает измерение большого количества параметров объекта и осуществляет автоматическую обработку получаемой информации с помощью встроенных в систему вычислительных средств. В задачу оператора системы управления теперь стали входить только принятие решений по результатам измерений и выработка команд управления. Централизованный сбор информации и ее обработка с помощью средств вычислительной техники резко повысило производительность труда, но не освободило его от ответственности за управление объектом, обслуживаемого системой.

На третьем этапе развития появились информационно-управляющие системы и информационно - вычислительные комплексы, в которых осуществляется полный замкнутый цикл обращения информации от ее получения до обработки, принятия соответствующих решений и выдачи команд управления на объект без участия оператора. Главное достоинство таких систем заключается в том, что алгоритм работы систем стал программно - управляемым, легко перестраиваемым при изменении

режимов работы или условий эксплуатации объекта. Труд оператора сводится к диагностике состояния системы управления, разработке методик измерения и программ функционирования. Выделение этапов развития СИ является приближенным и зависит от тех направлений науки и техники, в которых исследуются вопросы применения измерительной техники.

Вопросы для самоконтроля усвоения знаний:

1. Дайте характеристику основным этапам развития автоматизированных измерений.
2. В чем отличие от измерительного прибора от информационно – измерительной системы?

## **2.Обобщенные структурные схемы процессов измерения и контроля**

### **2.1. Схема процесса измерения и ее анализ с точки зрения автоматизации**

Типовая схема автоматизированных измерений изображена на рис. 3.1. Объектом измерения может быть некоторый процесс, явление или устройство. Измеряемые величины воспринимаются датчиками, с выходов которых электрические сигналы поступают на коммутатор. Коммутатор повышает коэффициент использования измерительной установки при многоканальных измерениях. Опрос датчиков может быть циклическим (параметры однородны и стационарны), программным (параметры стационарны, но неоднородны) или адаптивным (параметры нестационарны).

Электрический сигнал с выбранного коммутатором датчика преобразуется в цифровой код в АЦП. Интерфейс обеспечивает сопряжение измерительного канала с ЭВМ. Далее измерительная информация подвергается обработке по заданной программе в ЭВМ и представляется в удобной форме на экране дисплея или отпечатанной на бумаге. База данных (БД) предназначена для хранения необходимой измерительной и справочной информации.

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

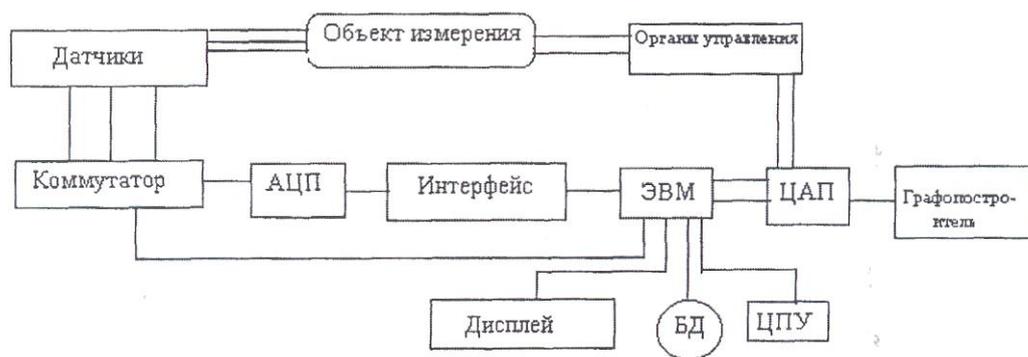


Рис. 3.1. Обобщенная структурная схема процесса автоматизированного измерения

ЦАП используется для двух целей: представление результатов измерений в аналоговой форме с дальнейшим их преобразованием в графическую форму и преобразования команд ЭВМ в аналоговые сигналы с целью управления объектом измерений. Канал управления позволяет активно воздействовать на объект (нагревать, охлаждать, облучать, деформировать, перестраивать), следя одновременно за реакцией его на эти воздействия. Наличие ЭВМ позволяет производить вычислительный эксперимент.

## **2.2 Процесс контроля и возможности его автоматизации**

Процесс контроля сводится к проверке соответствия объекта установленным техническим требованиям. Сущность контроля (ГОСТ 16504- 81) заключается в проведении двух основных операций:

- получение информации о фактическом состоянии объекта, о признаках и показателях его свойств (первичная информация);
- сопоставление первичной информации с заранее установленными требованиями, нормами, критериями ( вторичная информация).

Заранее установленные требования к объекту контроля могут быть представлены в виде образцового изделия или в виде перечня определенных параметров и их значений с указанием полей допуска.

Граничные значения областей состояния контролируемого параметра называют **нормами**.

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

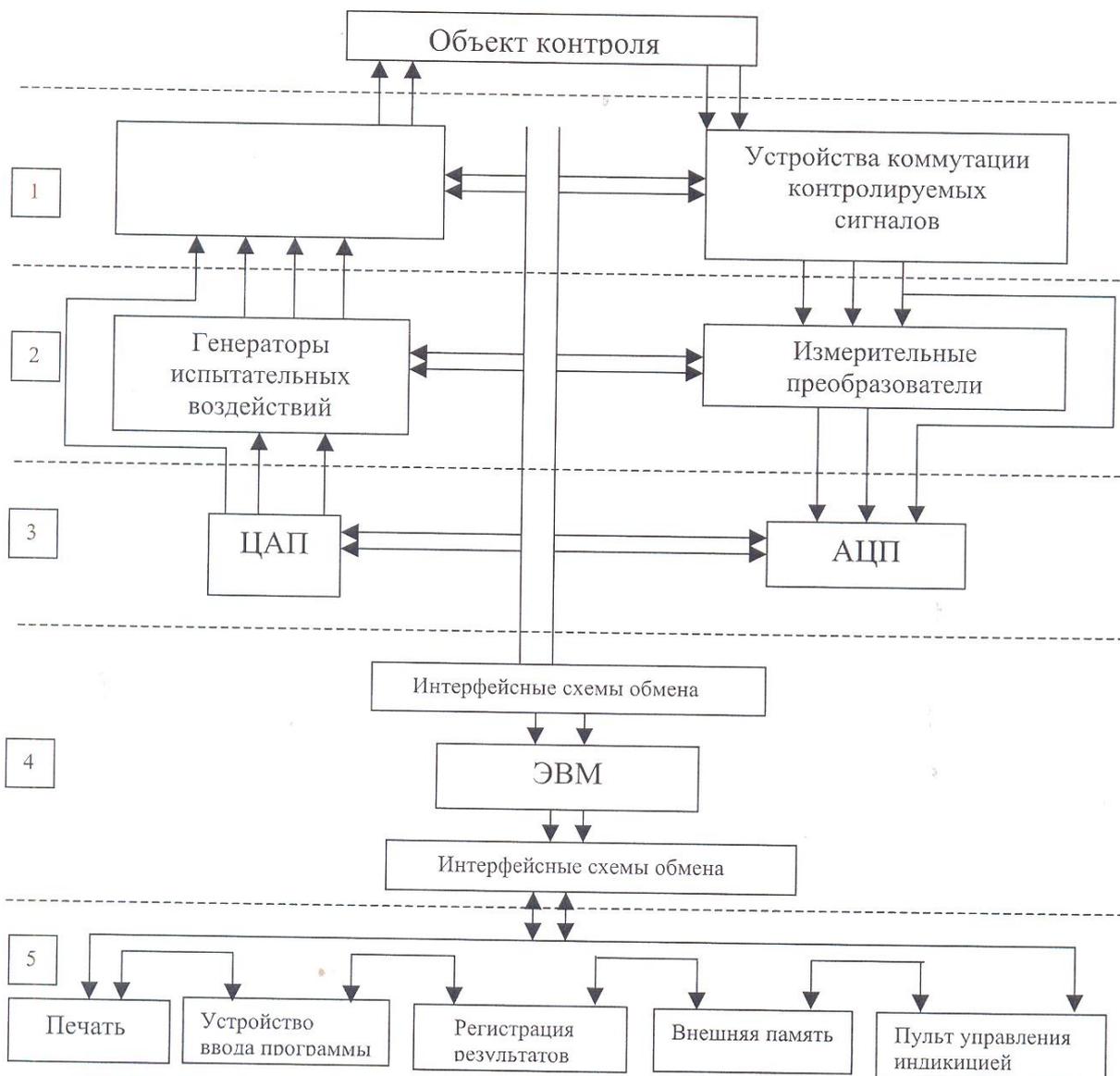


Рис. 3.2. Обобщенная структурная схема системы автоматического контроля

*Отличие измерения и контроля состоит в том, что при измерении измеряемую величину сравнивают с единицей определенной физической величины с целью получения количественной информации, а при контроле физический параметр сравнивают с его нормой с целью определения отклонений данного параметра (качественная характеристика объекта - "годен"- "не годен").*

*Совокупность технических средств, с помощью которых выполняются операции автоматического контроля, называются системами автоматического контроля (САУ). Данные системы являются*

*одним из основных звеньев САУ и автоматизированных систем управления технологическими процессами (АСУТП).*

*На рис. 3.2 приведена обобщенная структурная схема системы автоматического контроля. Кратко рассмотрим основное назначение составных частей, входящих в эту систему.*

**Подсистема коммутации и связи** — служит для непосредственного подключения системы к объекту контроля. Она может осуществляться с помощью проводных или кабельных линий, либо использования высокочастотного радиоканала. В состав подсистемы входят устройства коммутации контролируемых и стимулирующих сигналов.

**Подсистема ИП и генераторов испытательных воздействий** — содержит преобразователи различных физических величин, нормализаторы их выходных сигналов в унифицированные электрические сигналы, а также генераторы испытательных сигналов, формирующие воздействия на объект контроля.

**Подсистема согласующих преобразователей** - состоит из преобразователей унифицированных аналоговых сигналов в код (АЦП - для сигналов напряжения, тока и частотно-цифровые - для частотных сигналов) и обратных преобразователей «код - аналог» для формирования испытательных воздействий.

**Операционная подсистема** - представляет собой специализированную ЭВМ, которая может быть выполнена на микропроцессорных комплексах БИС.

**Подсистема ввода - вывода** - включает устройства, обеспечивающие связь оператора с системой (пульт управления, дисплей, электрические пишущие машины и др.), устройства регистрации информации, внешние долговременные запоминающие устройства, а также средства подготовки и ввода программ, например, программ управления ЭВМ (загрузчики, ассемблеры, редакторы, монитор и т.д.).

Принципы сопряжения ЭВМ с другими подсистемами основаны на применении стандартных каналов передачи данных.

## **2.3 Обзор обобщенных схем измерительных систем**

### **2.3.1 Структурные схемы ИС с аналоговой и цифровой передачей сигнала**

Для измерения небольшого количества величин с относительно невысоким быстродействием, характерна структурная схема, приведенная на рис. 3.3. Выходные электрические сигналы с измерительных преобразователей (ИП) через коммутатор (КМ) поочередно поступают на передающий (выходной) преобразователь (ВП), согласующий выходы ИП

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний, метрологических поверок средств измерений

с каналом связи (КС). Приемный преобразователь (ПП) выделяет информационный сигнал, который после первичной обработки и усиления на устройстве аналоговой обработки (УАО) поступает в АЦП и после преобразования - на индикатор результатов измерения (ИР). Оценку полученной информации и выработку управляющих воздействий осуществляет оператор. Данная система предназначена лишь для сбора и отображения измерительной информации.

Передача по КС информации в цифровой форме отличается большой помехозащищенностью.

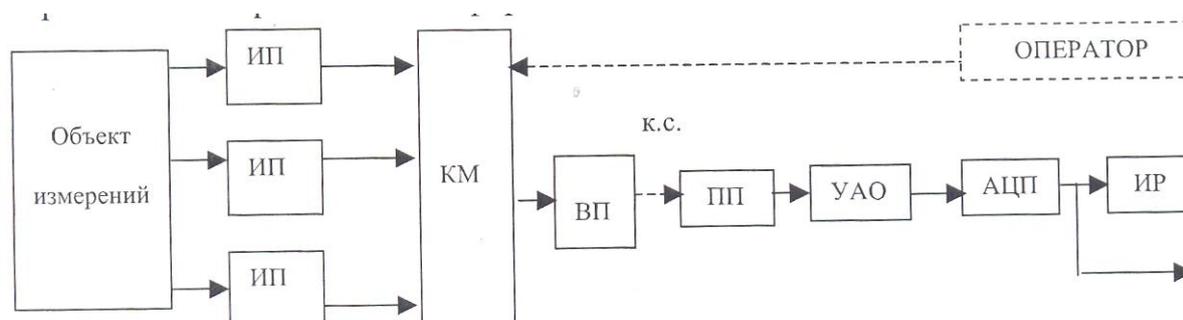


Рис.3.3. Измерительная система с аналоговой передачей информации

На рис. 3.4 представлена структурная схема системы с цифровой передачей информации. АЦП, выполненные по интегральной технологии, позволяют конструктивно объединять АЦП с каждым ИП объекта.

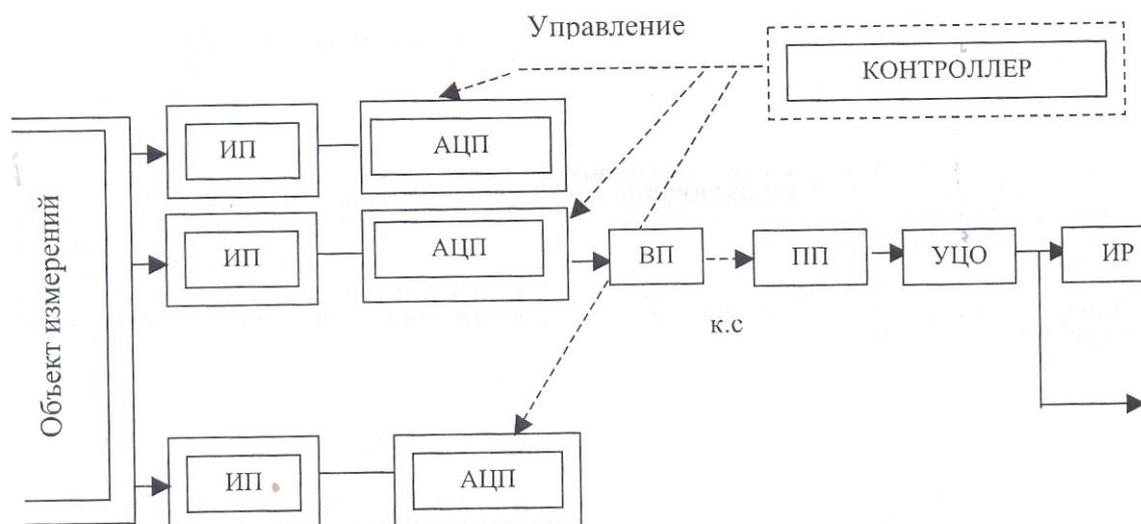


Рис. 3.4. Измерительная система с цифровой передачей информации

*Это дает возможность отказаться от аналогового коммутатора, вносящего искажения, и на приемной стороне осуществлять ряд операций обработки с помощью устройства цифровой обработки (УЦО), такие как усреднение, сравнение, вычитание, накопление и хранение информации.*

Для организации управления процессом измерения вводится логическое управляющее устройство с "жестким" алгоритмом - "приборный контроллер", автоматически задающий длительность такта измерения, управление регистрацией и цифровой обработкой результатов измерений. Введение в систему уже довольно простых вычислительных средств значительно расширяют ее возможности по обработке информации. Введение **микропроцессорного контроллера** позволяет сделать более гибким алгоритм работы и при этом отказаться от блока УЦО, т.к. контроллеры в таком случае могут обрабатывать информацию.

### 2.3.2. Структуры сопряжения приборов и устройств с ЭВМ.

Система, имеющая **интерфейс радиального типа**, состоит из отдельных приборов, измеряющих значения ограниченного числа исследуемых физических величин (рис. 3.5).

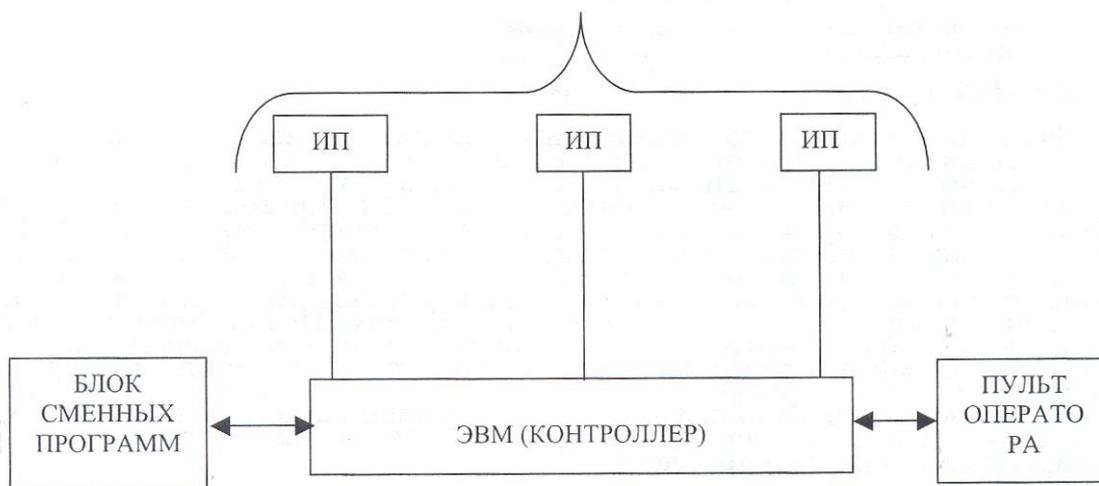


Рис. 3.5. Обобщенная структура ИС с ЭВМ (радиальный интерфейс)

Передача информации от приборов к ЭВМ происходит под управлением специальной программы и требует создания для каждого из них специфического интерфейса, т.к. каждый прибор соединяется с ЭВМ индивидуальным кабелем.

Недостатки радиальной структуры сопряжения:

1. ЭВМ должна иметь столько входов, сколько к ней подключено устройств;
2. Громоздкость структуры.
3. Ограничение возможности перестройки и наращивания системы. Магистральная структура сопряжения характеризуется наличием сквозного канала передачи данных (системного канала обмена информацией), равноправием всех подключенных устройств и асинхронным принципом обмена.

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

Каждое из подключенных устройств может быть передатчиком информации, приемником или контроллером. Это позволяет на основе ограниченной номенклатуры приборов и устройств создавать разнообразные системы.

Канал передачи данных (магистральный интерфейс) распределяет информацию между отдельными элементами системы (устанавливается очередность их работы).

В измерительном приборостроении широкое распространение получила магистральная структура канала, приведенная на рис. 3.6:

- *системный контроллер* координирует работу отдельных элементов системы и осуществляет изменение форматов данных и команд в процессе обмена с ЭВМ;
- *шинная система* линий связи - передает сигналы (информационные и управляющие);
- *интерфейсные схемы обмена (ИСО)* - связаны с шинной системой канала и измерительными преобразователями (ИП). Они обеспечивают информационную совместимость.

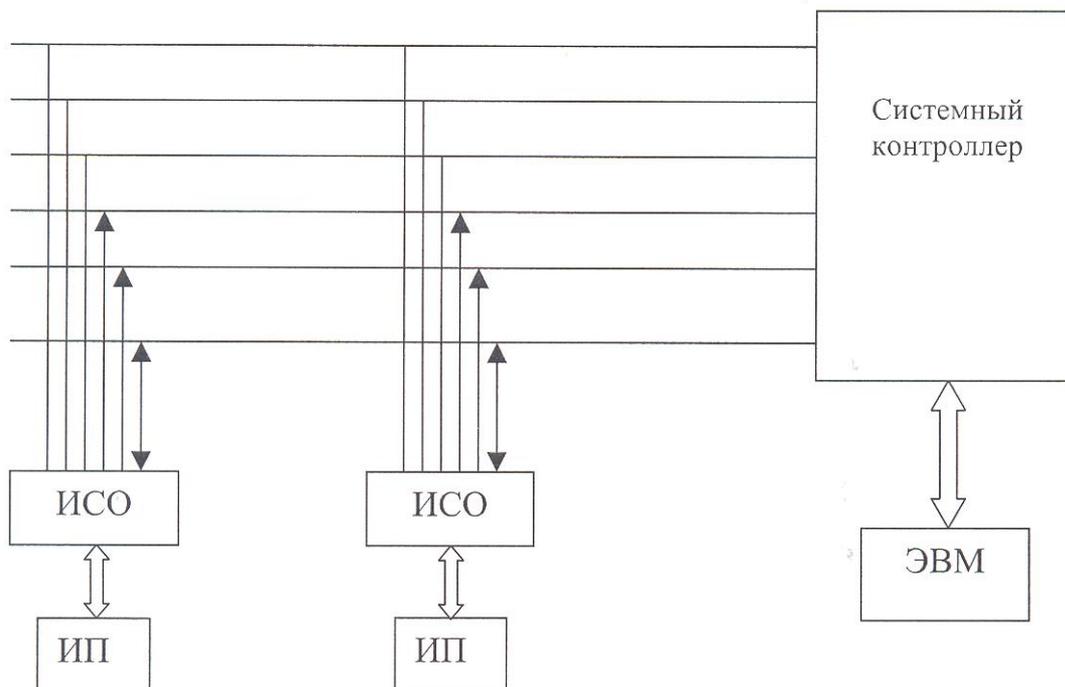


Рис.3.6. Структура канала передачи данных (магистральный интерфейс)

Примерами стандартных магистральных интерфейсов могут служить: интерфейс МЭК и система КАМАК, принципы построения которых рассмотрим ниже.

### 2.3.3. Структурная схема ИС с микропроцессорной обработкой информации и управлением

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

Система (рис. 3.7) содержит аналоговую измерительную подсистему (АИП), операционную подсистему и подсистему ПВВ.

Измеряемые физические величины  $X_i$  с помощью первичных преобразователей ПИП преобразуются в аналоговые сигналы  $Y_i$ , поступающие в подсистему ИЦ (измерительные аналоговые цепи), где подвергаются нормализации и первичной обработке.

В состав ИЦ входят: аналоговые коммутаторы, фильтры, детекторы, предусилители и т.д.

Унифицированный сигнал  $Y_i$ , поступает на входной преобразователь АЦП.

Операционная подсистема (ОП) - предназначена для цифровой обработки кодов АЦП, а также формирует управляющие воздействия для всех узлов системы. В качестве ОП могут использоваться мини-ЭВМ (для ИВК) или микро ЭВМ (для ИИС).

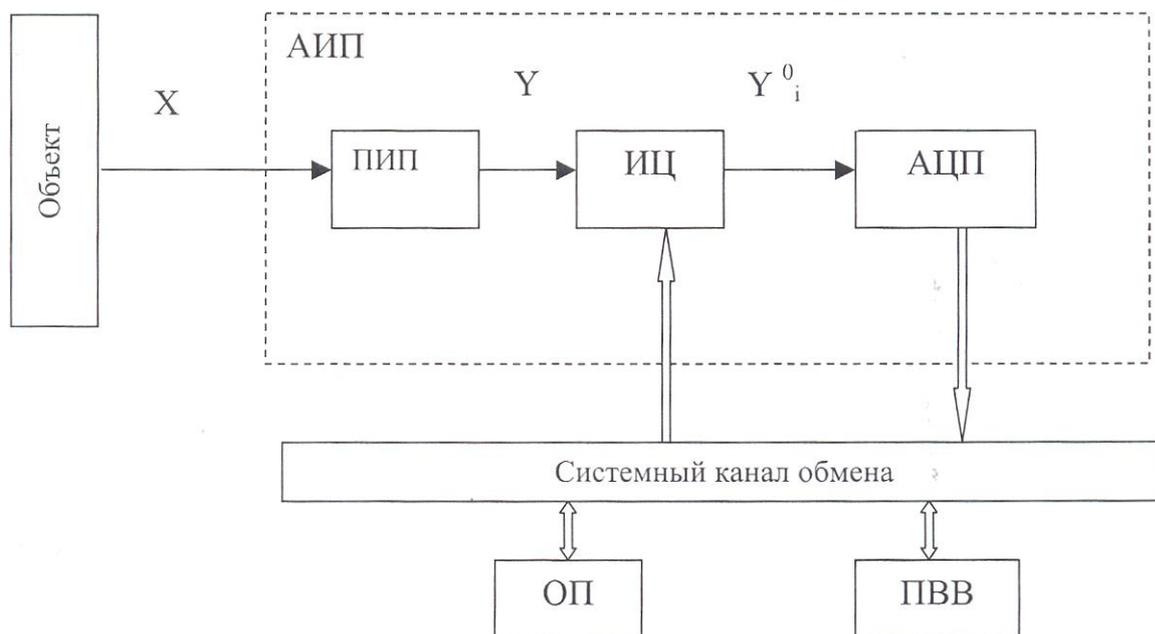


Рис. 3.7. Обобщенная структурная схема ИС с микропроцессорной обработкой информации

В системах высокой производительности широкое применение получили одноплатные ЭВМ и микропроцессорные машины на основе микропроцессорных комплексов БИС (МПК БИС).

Подсистема ПВВ выполняет функции: регистрации результатов обработки на цифровых индикаторах, экранах дисплеев; документирование информации; оперативный ввод программ с магнитных

дисков и т.д.; ручное управление системой с помощью пультового терминала, формирование управляющих и исполнительных сигналов обратной связи с объектом исследования.

Особое значение в системе имеет организация связи между ее подсистемами.

Обмен информацией между подсистемами осуществляется в цифровой форме через системный канал обмена (измерительная информация и результаты ее обработки, команды, адреса, сигналы управления и т.д.). Информационная совместимость между устройствами системы обеспечивается интерфейсными схемами обмена.

Вопросы для самоконтроля усвоения знаний:

1. Дайте анализ обобщенной структурной схемы процесса измерения с точки зрения автоматизации.
2. Проведите сопоставительный анализ обобщенных схем измерительных систем с аналоговой и цифровой передачей сигнала.
3. Какие структуры сопряжения приборов и устройств с ЭВМ вы знаете?
4. Перечислите типовые подсистемы САК и поясните их назначение.
5. Как осуществляется обмен информацией между подсистемами ИС с микропроцессорной обработкой информации и управлением?

### **3. Основные принципы построения средств автоматизированного контроля**

#### **3.1 Выбор точности**

Применение средств контроля приводит к уменьшению конструкторского (табличного допуска)  $T$  на изготовление детали (рис. 4.1а).

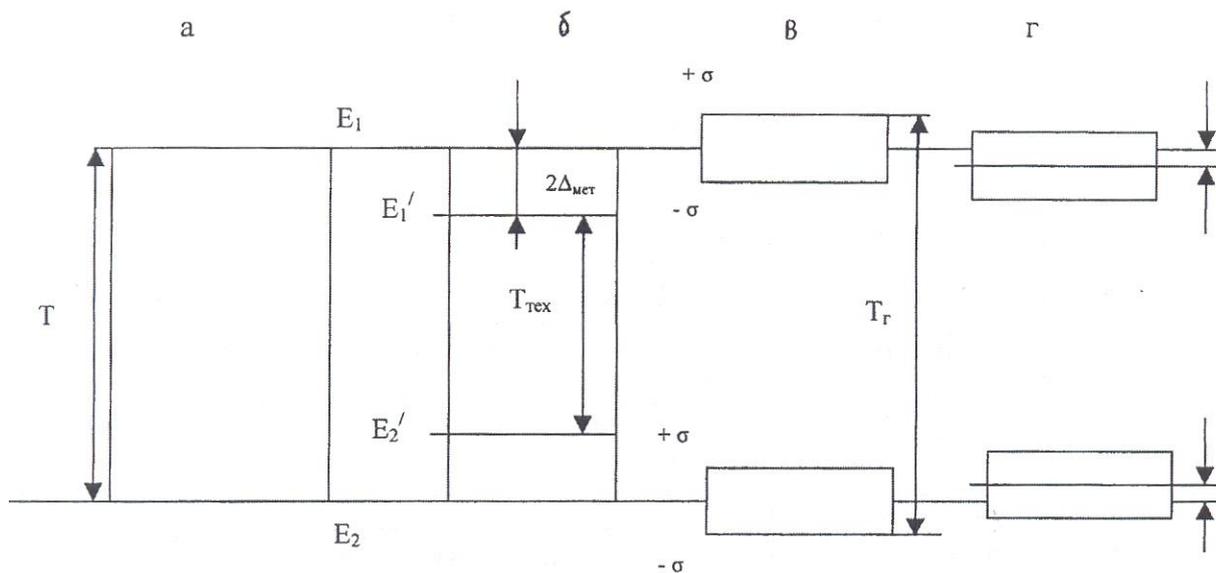


Рис. 4.1 Схема полей допусков

Допуск  $T$  оставался бы неизменным при контроле, если бы контрольное СИ было идеально выполнено и настроено на границы поля допуска  $E_1$  и  $E_2$ . В действительности всегда возникает метрологическая ошибка измерения  $\pm \Delta_{\text{мет}}$ . Чтобы ни одна из бракованных деталей не была признана ошибочно годной, необходимо уменьшить допуск  $T$  до значения технологического допуска (рис 4.1б)

$$\Delta_{\text{доп}} = 4 \Delta_{\text{мет}} \quad (1)$$

Чтобы не сужать производственный допуск и не увеличивать стоимость изделия, необходимо либо уменьшить допускаемую ошибку  $\Delta_{\text{мет}}$ , либо сместить настройку (установить приемочные границы) вне поля допуска (рис. 4.1 в), расширяя его до гарантированного значения  $T_{\text{г}}$ .

Конкретное сочетание ошибки измерения и измеряемого параметра является событием случайным. С учетом закона нормального распределения обеих составляющих, можно записать:

$$\Delta_{\text{доп}} = \sqrt{\Delta_{\text{доп}}^2 + (2\Delta_{\text{мет}})^2} \quad (2)$$

Анализ формул (1) и (2) показывает, что, если  $2\Delta_{\text{мет}} / \Delta_{\text{доп}} \approx 0,1$ , то практически весь допуск отводится на компенсацию технологических ошибок, так как при этом

$$\Delta_{\text{доп}} / \Delta_{\text{тех}} = 0,9 \dots 0,995.$$

Согласно ГОСТ 8.051-81 пределы допускаемых ошибок измерения для диапазона 1 - 500 мм колеблются от 20% до 35% табличного допуска. Ошибка измерения включает как случайные, так и систематические

ошибки (поправки) измерительных средств, установочных мер, элементов базирования и т.д.

Случайная ошибка не должна превышать 0,6 предела допускаемой ошибки. Следовательно, точность средства контроля должна быть на порядок выше точности контролируемого параметра изделия. Экономически и технически оправданным вариантом расположения предельной ошибки контроля относительно предельного размера изделия является симметричное расположение (рис. 4.1 в). Однако, при этом некоторые бракованные изделия могут быть ошибочно признаны годными. Поэтому приемочные границы смещают внутрь поля допуска изделия на величину  $C$  (рис. 4.1 г). Если точность технологического процесса неизвестна, то  $\tilde{N} = \Delta_{i \text{ до}} / 2$  (в противном случае  $C$  подлежит расчету).

В ГОСТ 8.051-81 приведены допускаемые погрешности (ошибки) контроля для размеров 1-500 мм и качеств 2-17.

Относительная ошибка измерения определяется:

$$\hat{\Delta}_{i \text{ до}}(\sigma) = \sigma_{i \text{ до}} / \hat{D},$$

где  $\sigma_{i \text{ до}}$  - среднее квадратическое отклонение ошибки.

На рис.4.2 показаны кривые распределения размеров деталей ( $Y_{\text{до}}$ ) и ошибок контроля ( $Y_{i \text{ до}}$ ). Выход размера за границу допуска на величину  $C$  обусловлен областями вероятностей  $m$  и  $n$ . Таким образом, чем точнее технологический процесс, тем меньше неправильно принятых деталей по сравнению с неправильно забракованными, так как  $m/n = 0,1 \dots 1,1$ .

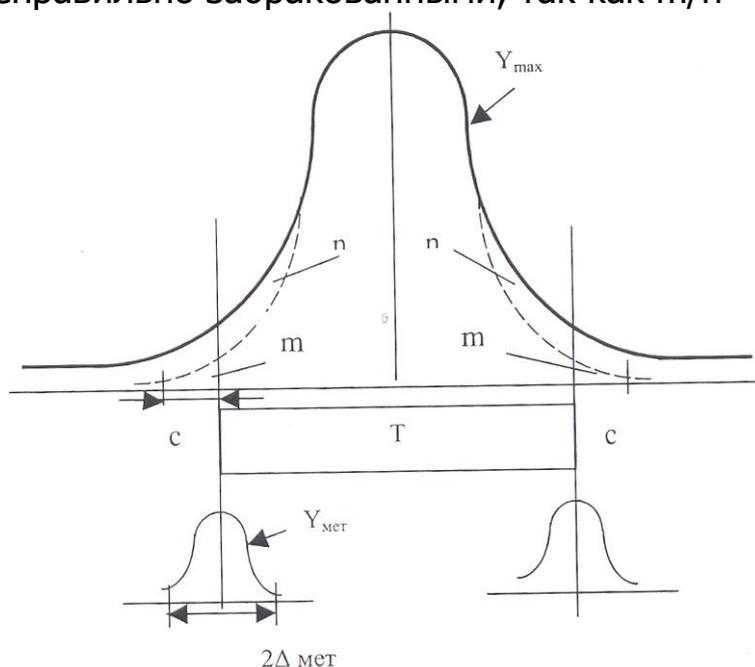


Рис. 4.2. Кривые распределения ошибок размеров деталей и ошибок контроля

### 3.2. Принцип инверсий

*устанавливает связь между технологическим процессом, процессом контроля и выполнением функций при эксплуатации.*

Параметры детали при эксплуатации соответствуют установленным значениям, лишь когда все три фазы ее прохождения (изготовление, контроль, функционирование) изучаются и учитываются совместно. Таким образом, точность необходимо ограничивать, исходя из функционального назначения детали; схема технологического формообразования должна соответствовать схеме ее функционирования, а схема контроля - учитывать обе последние схемы.

Выбранный метод и схему измерения считают обоснованными, если условия контроля соответствуют условиям эксплуатации и формообразования детали, а именно: траектория движения при контроле соответствует траектории движения при эксплуатации и формообразовании; линия измерения совпадает с направлением рабочего усилия при эксплуатации; метрологическая, конструкторская и технологическая базы совпадают с рабочими; физические свойства образцовой детали подобны свойствам контролируемой и т. д.

Соответствие процесса контроля принципу инверсии позволяет более полно обеспечить качественные показатели при эксплуатации.

Например, после изготовления ступенчатого вала редуктора необходимо выбрать схему контроля радиального биения поверхности А детали Д с помощью датчика П (рис. 4.3).

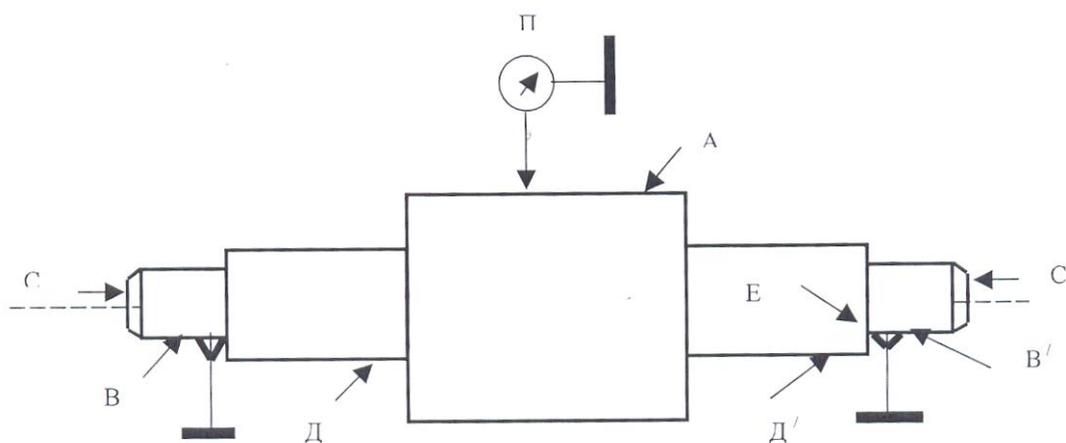


Рис. 4.3. Схема контроля ступенчатого вала

В качестве метрологических баз следует выбрать поверхности  $\hat{A}$  и  $\hat{A}'$ , поскольку по ним происходит контакт вала с подшипниками. Выбор других баз ( $\tilde{N}-\tilde{N}'$ ;  $\tilde{A}-\tilde{A}'$ ) приведет к дополнительным ошибкам,

вызванным отклонением от соосности этих элементов относительно  $\hat{A} - \hat{A}'$ . В осевом направлении в качестве базирующего элемента следует выбрать поверхность E ( а не C или  $\tilde{N}'$  ), поскольку она определяет осевое положение вала ( от нее и линейные размеры следует проставлять). При вращательном движении вала в процессе измерения его траектория соответствует траектории движения при эксплуатации.

### 3.3 Принцип Тейлора

При наличии отклонений формы и взаимного расположения геометрических элементов сложных деталей в соответствии с принципом Тейлора надежное определение соответствия размеров всего профиля предписанным предельным значениям, возможно лишь в том случае, если определяются значения проходного и непроходного пределов.

Следовательно, любое изделие должно быть проконтролировано по крайней мере дважды - по двум схемам контроля: с помощью проходного и непроходного калибров. Подавляющее большинство средств контроля имеют точечный контакт с контролируемым изделием и осуществляют локальный контроль размеров в одном или нескольких сечениях. Контроль значительно усложняется, если к недопустимости попадания в годные бракованных изделий по непроходному пределу предъявляются повышенные требования. В этих случаях либо используют двух- или трехкоординатные машины, либо применяют устройства, обеспечивающие последовательный непрерывный контроль с заданным шагом текущего размера детали.

### 3.4. Принцип Аббе

Минимальные ошибки измерения возникают, если контролируемый геометрический элемент и элемент сравнения находятся на одной линии -линии измерения. Этот принцип справедлив для поступательно перемещающихся звеньев. Последовательное расположение контролируемого и образцового элемента по одной линии приводит к увеличению габаритных размеров СИ, поэтому в ряде случаев применяют параллельное расположение сравнительных элементов, но и тогда нужно соблюдать условия, при которых ошибки измерения минимальны.

*Вопросы для самоконтроля усвоения знаний:*

1. Каковы основные принципы построения средств автоматического контроля?

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

2. Каково соотношение неправильно принятых по сравнению с неправильно забракованными деталями в точных технологических процессах?

3. Каким должно быть соотношение точности средства контроля и точности контролируемого параметра изделия?

## Лекция по теме 3.2.1. Метрологические стенды для проверки, калибровки, ремонта приборов температуры

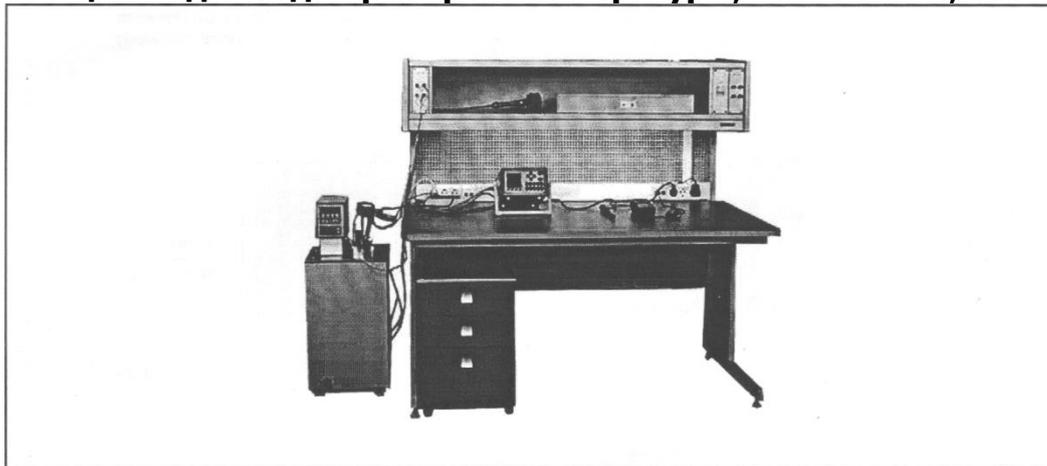
### ВОПРОСЫ

1. Общий вид стенда приборов температуры, назначение, состав.
2. Описание, основные технические характеристики и параметры.
3. Комплект поставки, дополнительное оборудование и опции.
4. ТХ источников создания температуры, эталонных датчиков температуры, эталонного мультиметра МЕТРАН-514 ММП, эталонных калибраторов.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Каталог – метрологическое обеспечение. М.: ПГ Метран, – с.18-26.

#### 1. Общий вид стенда приборов температуры, назначение, состав



### СОСТАВ СТЕНДОВ:

- Источники создания температуры:
  - жидкостные криостаты и термостаты;
  - трубчатые и шаровые печи;
  - сухоблочные калибраторы температуры
  - Эталонные датчики температуры
  - Прецизионные цифровые термометры
  - Набор функциональных устройств
  - Питание 220В, 50 Гц, P<1 кВт (без источников создания температуры)
  - Габаритные размеры стола - не более 1625x1200x895 (до 1625x1200x982) мм
- Стенды применяются для поверки:

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

- ❖ термоэлектрических преобразователей (ТП);
- ❖ термопреобразователей сопротивления (ТС);
- ❖ датчиков температуры с унифицированным токовым выходным сигналом и цифровым сигналом HART;
- ❖ жидкостных, дилатометрических термометров;
- ❖ вторичных приборов.

**2. Описание, основные технические характеристики и параметры**

В зависимости от заказа стенд поверочный датчиков температуры СПТ может быть укомплектован различными **источниками создания температуры** (см.табл.1):

- жидкостными термостатами и криостатами;
- трубчатыми и шаровыми печами;
- сухоблочными калибраторами температуры, при этом сухоблочные калибраторы температуры могут использоваться как в составе стенда, так и автономно (на каком-либо объекте заказчика).

В качестве **эталонных датчиков температуры** в стенде могут быть применены (см.табл.2):

- эталонный термопреобразователь сопротивления типа ЭТС-100 (3-го разряда), ПТС-100 (3-го разряда);
- эталонные термоэлектрические преобразователи типа ППО, ПРО (1-го, 2-го и 3-го разрядов).

Для поверки датчиков с HART-сигналом применяется HART-модем с программным обеспечением AMS Metran Configurator.

**В качестве вторичного прибора** для измерения естественных и унифицированных выходных сигналов поверяемых датчиков температуры и выходных сигналов эталонных датчиков температуры в составе стендов применяется 8-ми канальный прецизионный мультиметр (цифровой термометр) Метран-514-ММП (см.табл.3) или аналогичные приборы.

Использование на стенде мультиметра Метран-514-ММП обеспечивает:

- ❖ одновременную поверку до 7-ми датчиков температуры (при наличии соответствующих источников создания температуры);
- ❖ питание датчиков с унифицированным выходным сигналом напряжением 24 В от встроенного источника опорного напряжения;
- ❖ автоматическую компенсацию термоЭДС холодного спая термоэлектрических преобразователей (погрешность канала компенсации 0,3°С);
- ❖ автоматическое формирование протоколов поверки датчиков температуры в соответствии с ГОСТ и методиками поверки).

Для удобства коммутации эталонных датчиков температуры в стенд встроены панели с переходными клеммами. Также имеется исполнение стенда со встроенным мультиметром Метран-514 ММП в панель стенда, что позволяет освободить рабочее пространство стола от множества соединительных проводов.

Выбор метрологического оборудования осуществляется в соответствии с ГОСТ Р 8.461-2009 (ГОСТ 8.461 -82) "Термометры сопротивления из платины, меди и никеля. Методика поверки", ГОСТ 8.338-2002 "Преобразователи термоэлектрические. Методика поверки", а также согласно требованиям конкретных заводов-изготовителей. Например, поверка датчиков температуры Метран с токовым выходным сигналом производится по методике поверки, изложенной в "Руководстве

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических проверок средств измерений

по эксплуатации на термопреобразователи с унифицированным выходным сигналом Метран-270, Метран-270-Ех".

Для поверки вторичных приборов, работающих в комплекте с датчиками температуры, возможна поставка в стенд необходимых эталонов или многофункциональных калибраторов (например, калибраторы Метран-510-ПКМ и Метран-540).

Использование калибраторов Метран-510-ПКМ или Метран-540 (см.табл.4) на стенде позволяет:

- ✚ воспроизводить сигналы постоянного тока и напряжения, сопротивления, а также воспроизводить выходные сигналы ТС и ТП (с возможностью автоматической компенсации термо-эдс холодного спая ТП);
- ✚ проводить измерение сигналов постоянного тока и напряжения, сопротивления, а также выходных сигналов ТС и ТП;
- ✚ одновременно воспроизводить и измерять перечисленные выше физические величины и проводить вычисление погрешности. Данный режим может использоваться для проведения поверки измерительных и нормирующих преобразователей;
- ✚ воспроизводить, измерять физическую величину с различными зависимостями (например, меандр, треугольник) и проводить поверку преобразователей, имеющих различные функции преобразования (линейная, квадратичная или корнеизвлечения);
- ✚ хранить данные о результатах поверки в архиве калибраторов или автоматически формировать протокол поверки (при использовании ПО, опция USB или RS232).

### 3. Комплект поставки, дополнительное оборудование и опции

В комплект поставки метрологического стенда входят:

- ✓ стенд поверочный датчиков температуры СПТ-xxxxxxxx-xxx\*;
- ✓ эталонные средства измерений (в зависимости от поверяемых средств измерений);
- ✓ источники создания температуры;
- ✓ источники электрических сигналов;
- ✓ опции (по заказу)

Маркировка стенда СПТ определяется на основании заполненного опросного листа на стенд.

Стандартный комплект стенда СПТ-xxxxxxxx-xxx:

- 1) рабочее место (включает стол с функциональными панелями, светильником, розетками и устройством заземления);
- 2) кресло, тумба;
- 3) набор ключей и отверток.

#### ДОПОЛНИТЕЛЬНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ И ОПЦИИ

Дополнительно стенд может быть укомплектован следующим оборудованием:

- универсальный измеритель параметров окружающей среды (температура, давление, влажность) метеометр;
- цифровой мультиметр;
- осциллограф;
- вольтметр;
- паяльная станция;
- персональный компьютер (ноутбук);
- принтер;
- дополнительная мебель (подкатная тележка для транспортировки поверяемых датчиков; шкафы; стеллаж для хранения приборов, инструментов и технической документации);

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

- комплект лотков/контейнеров для хранения мелких деталей;
- другое оборудование, указанное в опросном листе.

**Внимание!**

Для запроса стоимости и заказа метрологического стенда для поверки, калибровки и ремонта датчиков температуры необходимо заполнить опросный лист (см. соответствующий раздел каталога, в электронном виде на сайте компании, компакт-диске или в региональном представительстве компании) и направить его в ближайшее региональное представительство компании.

Состав и обозначение комплектующих метрологического стенда формируется специалистами ПГ "Метран" на основании заполненного заказчиком опросного листа. Типовых стендов для всех применений нет, выбор оборудования индивидуальный в зависимости от поверяемых средств и пожеланий заказчика по автоматизации и опциям стенда, поэтому заполнение опросного листа обязательно для формирования комплекта стенда!

**4. ТХ источников создания температуры, эталонных датчиков температуры, эталонного мультиметра МЕТРАН-514 ММП, эталонных калибраторов**

**ТХ источников создания температуры**

Таблица 1

Характеристики и параметры	Жидкостные		Печи	Сухоблочные калибраторы
	криостаты	термостаты		
Диапазон воспроизводимых температур, °С	от минус 80	до 300	от 100 до 1600	от минус 55 (относительно окруж. температуры) до 650 °С
Пределы допускаемой основной погрешности, °С	-	-		от ±0,02 до ±4,0
Нестабильность поддержания температуры, °С, в течение, не более	±0,02/ч	±(0,01 -0,02)/ч	от ±0,03/4. до ±0,4/мин	от ±0,02 до ±0,5
Глубина погружения в рабочее пространство, мм	450	500	от 180 до 550	от 140 до 160
Количество одновременно поверяемых датчиков, шт.	1-6		7-15	1-8
Диаметр поверяемых датчиков, мм	3-20		6-35	3,5-19,5
Напряжение питания, В; частота Гц	220; 50		220 и 380; 50	220; 50

**ТХ эталонных датчиков температуры**

Таблица 2

Характеристики и параметры	Эталонные термопреобразователи сопротивления		Эталонные термоэлектрические преобразователи		
	ЭТС-100	ПТС-100	ППО	ПРО	
Диапазон измеряемых температур, °С	-196...0,01 - 50...419,527 0,01...419,527 0,01...660,323	-196...0,01 0,01...419,527	300... 1200	900...1800	
Диаметр погружаемой части, мм	5	6,3	4,6	4	
Длина погружаемой части, мм	550	550	290	290; 530	300
Общая длина, мм	670		1000	1250; 1600	1250;1600

**ТХ эталонного мультиметра Метран-514 ММП**

Таблица 3

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

Функция	Диапазон измерений	Цена младшего разряда	Пределы допускаемой основной погрешности, °С
Измерение силы постоянного тока	$\pm(0-25)$ мА	0,0001 мА	0,0065%ИВ+0,25 мкА*
Измерение напряжения постоянного тока	$\pm(0-200)$ мВ $\pm(0-1,1)$ В	0,1 мкВ 1 мкВ	0,005%ИВ+2,0 мкВ* 0,005%ИВ+10 мкВ*
Измерение сопротивления постоянному току	0-400 Ом 400-2000 Ом	0,001 Ом 0,001 Ом	0,0025%ИВ+0,005 Ом* 0,0025%ИВ+0,02 Ом*
Измерение ТП следующих типов НСХ: R(nn), S(nn), В(ПР), N(НН), К(ХА), Т(МК), J(ХК), Е(ХКн), ЦХК), А1, А2, А3 (ВР)	-200...2500°С	0,1	$\pm 0,15...0,5$ °С (дополнительная погрешность при использовании кабеля КТП, для компенсации температуры холодного спая $\pm 0,3$ °С)
Измерение ТС W100=1,3910 НСХ: 50П, 100П, 200П, 500П, 1000П; W100=1,3850 НСХ: Pt50, Pt100, Pt200, Pt500, Pt1000; W100=1,4280 НСХ: 50М, 53М, 100М; W100=1,4260 НСХ: Cu50, Cu100; W100=1,6170 НСХ: 100Н, Ni100	-199...1099-С	0,001	от $\pm 0,015+0,000025t$ до $\pm 0,03+0,000025t$

В диапазоне температур от 10 до 35°С.

Примечания:

□ ИВ - значение текущей измеряемой величины.

Выбор поддиапазонов измерений осуществляется автоматически.

ТХ эталонных калибраторов

Таблица 4

Функция	Диапазон измерений (рабочий)	Цена младшего разряда	Пределы допускаемой основной погрешности		
			Метран-51 ОПКМ-А	Метран-51ОПКМ-Б	Метран-540
Измерение силы постоянного тока	$\pm(0-5)$ мА $+(0-22)$ мА $\pm(0-24)$ мА	0,1 мкА (1 мкА <sup>1)</sup> )	0,0075%ИВ+0,25 мкА 0,0075%ИВ+1 мкА	0,015%ИВ+0,25 мкА 0,015%ИВ+1 мкА	0,03%ИВ+1 мкА
Воспроизведение силы постоянного тока	$\pm(0-5)$ мА $\pm(0-24)$ мА $\pm(0-25)$ мА	0,1 мкА (1 мкА <sup>11)</sup> )	0,0075%ИВ+0,25 мкА 0,0075%ИВ+1 мкА	0,015%ИВ+0,25 мкА 0,015%ИВ+1 мкА	0,03%ИВ+1 мкА
Измерение напряжения постоянного тока	$\pm(0-100)$ мВ $\pm(0,1-1)$ В $\pm(1-10)$ В $\pm(10-50)$ В	1 мкВ (0,01 мВ <sup>1)</sup> ) 0,01 мВ (0,1 мВ <sup>1)</sup> ) 0,1 мВ (1 мВ <sup>11)</sup> ) 1 мВ	0,0075%ИВ+5 мкВ 0,0075%ИВ+0,05 мВ 0,0075%ИВ+0,55 мВ	0,015%ИВ+5 мкВ 0,015%ИВ+0,05 мВ 0,015%ИВ+0,55 мВ	0,03%ИВ+7 мкВ 0,03%ИВ+0,07 мВ 0,03%ИВ+0,7 мВ 0,03%ИВ+7 мВ
Воспроизведение напряжения постоянного тока	$\pm(0-100)$ мВ $\pm(-10-100)$ мВ $\pm(0-1)$ В $\pm(0-5)$ В $\pm(0-12)$ В	1 мкВ 1 мкВ 0,01 мВ 0,1 мВ 0,1 мВ (1 мВ <sup>11)</sup> )	0,0075%ИВ+5 мкВ 0,0075%ИВ+0,05 мВ 0,0075%ИВ+0,25 мВ	0,015%ИВ+5 мкВ 0,015%ИВ+0,05 мВ 0,015%ИВ+0,25 мВ	0,03%ИВ+7 мкВ 0,03%ИВ+0,07 мВ 0,03%ИВ+0,7 мВ
Измерение сопротивления	$\pm(0-400)$ Ом $\pm(400-2000)$ Ом	1 мОм (0,01 Ом <sup>1)</sup> ) 0,01 Ом (0,1 Ом <sup>11)</sup> )	0,0075%ИВ+0,01 Ом 0,0075%ИВ+0,05 Ом	0,015%ИВ+0,02 Ом 0,015%ИВ+0,1 Ом	0,03%ИВ+0,04 Ом 0,03%ИВ+0,1 Ом
Воспроизведение сопротивления	$\pm(0-400)$ Ом $\pm(400-2000)$ Ом	1 мОм (0,01 Ом <sup>1)</sup> ) 0,01 Ом (0,1 Ом <sup>1)</sup> )	0,0075%ИВ+0,01 Ом 0,0075%ИВ+0,05 Ом	0,015%ИВ+0,02 Ом 0,015%ИВ+0,1 Ом	0,03%ИВ+0,08 Ом 0,03%ИВ+0,4 Ом
Измерение ТП следующих типов НСХ: R (ПП); S (ПП); В (ПР); N (НН); К (ХА); Т (МКн); J (ЖК); Е (ХКн); L (ХК); А-1, А-2, А-3 (ВР)	-200...2500°С	0,01 -С(0,ГС <sup>1)</sup> )	0,2...1,58°С $\pm 1$ е.м.р. <sup>21)</sup>	0,25... 1,6°С $\pm 1$ е.м.р. <sup>21)</sup>	0,2...2,5°С <sup>2&gt;</sup>
Измерение ТС №100=1,3910 НСХ: 50П, 100П, 200П, 500П, 1000П; W100= 1,3850 НСХ: Pt50, Pt100, Pt200, Pt500, Pt1000; W100=1,4280 НСХ: 50М, 53М, 100М; W100=1,4260 НСХ: Cu50, Cu100; W100=1,6170 НСХ: 100Н, Ni100	-199...849-С	<b>о.огс</b>	0,01 ...0,14°С $\pm 1$ е.м.р.	0,01 ...0,38°С $\pm 1$ е.м.р.	0,027...0,76

## ЛЕКЦИЯ ТЕМА №3.3 «БАЗОВЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ АВТОМАТИЧЕСКИХ СИСТЕМ ИЗМЕРЕНИЙ И КОНТРОЛЯ»

### ВОПРОСЫ

1. Измерительные преобразователи.
2. Операционные усилители.
3. Коммутация измерительных сигналов.
4. Аналого-цифровое преобразование.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Парахуда Р.Н., Шевцов В.И. Автоматизация измерений и контроля: Письменные лекции. – СПб., СЗТУ, 75 с.

### 1. Измерительные преобразователи

#### *Измерительные преобразователи*

*Измерительный преобразователь* (ИП) - техническое средство с нормированными метрологическими характеристиками, служащее для преобразования измеряемой величины в другую величину или измерительный сигнал, удобный для обработки, хранения, дальнейших преобразований или передачи (РМГ 29-99).

В зависимости от назначения ИП делятся на *масштабные*, служащие для изменения значения величины в заданное число раз, и *преобразователи рода величины*: **преобразователи электрических величин в электрические величины** (электрическая величина - в цифровой код; напряжение - в частоту); **неэлектрических величин в электрические** (терморезисторы, термопары, тензодатчики); **магнитных величин в электрические** (индукционные, гальванометрические преобразователи); **электрических величин в неэлектрические** (измерительные механизмы электромеханических приборов).

По месту, занимаемому в измерительной цепи, ИП делятся на *первичные*, *промежуточные* и т. д. На первичный ИП непосредственно воздействует измеряемая физическая величина (ФВ).

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

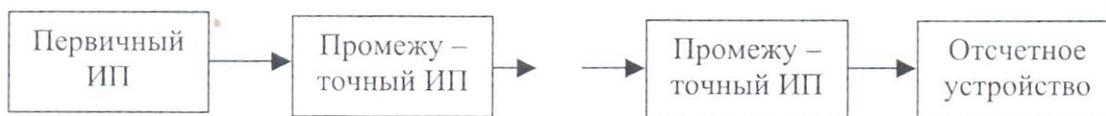


Рис. 5.1. Измерительная цепь

Конструктивно ИП выполняются либо в виде отдельных блоков, либо являются составной частью СИ.

### 1.1.1. Классификация измерительных преобразователей

Измерительные преобразователи классифицируют по роду измеряемой ФВ (температуры, давления, влажности и др.) и по выходной величине (генераторные, параметрические).

Выходным сигналом генераторных датчиков является ЭДС, напряжение, ток или электрический заряд, функционально связанные с измеряемой величиной. В параметрических преобразователях выходной величиной является изменение параметра электрической цепи (R, L, C).

#### *Генераторные измерительные преобразователи*

#### **Термоэлектрические преобразователи (термопары).**

Эти

преобразователи применяются для измерения температуры. Принцип действия термопары поясняется рис. 5.2а, где изображена термоэлектрическая цепь, составленная из двух разнородных проводников А и В. Точки 1 и 2 соединения проводников называются спаями термопары. Если температуры  $t$  спаев 1 и 2 одинаковы, то ток в термоэлектрической цепи отсутствует. Если же температура одного из спаев (например, спая 1) выше, чем температура спая 2, то в цепи возникает термоэлектродвижущая сила (ТЭДС)  $E$ , зависящая от разности температур спаев

$$E = f(t_1 - t_2).$$

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

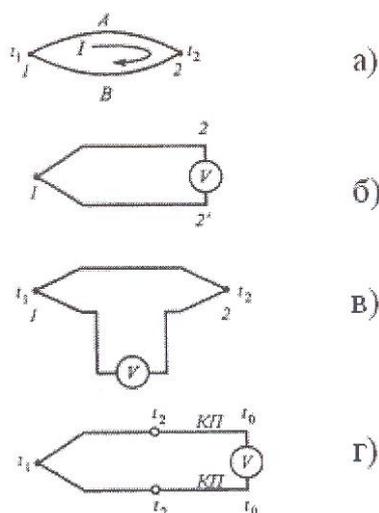


Рис. 5.2. Термоэлектрические цепи

Если поддерживать температуру спая 2 постоянной, то  $E = f(t_1)$ . Эту зависимость используют для измерения температуры с помощью термопар. Для измерения ТЭДС электроизмерительный прибор включают в разрыв спая 2 (рис. б). Спай 1 называют горячим (рабочим) спаем, а спай 2 — холодным (концы — 2 и 2' называют свободными концами).

Чтобы ТЭДС термопары однозначно определялась температурой горячего спая, необходимо температуру холодного спая поддерживать всегда одинаковой.

Для изготовления электродов термопар используют как чистые металлы, так и специальные сплавы стандартизованного состава. Градуировочные таблицы для стандартных термопар составлены при условии равенства температуры свободных концов 0 °С. На практике не всегда удается поддерживать эту температуру. В таких случаях в показания термопары вводят поправку на температуру свободных концов. Существуют схемы для автоматического введения поправок.

Конструктивно термопары выполняются в виде двух изолированных термоэлектродов с рабочим спаем, получаемым способом сварки, помещенных в защитную арматуру, предохраняющую термопару от внешних воздействий и повреждений. Рабочие концы термопары выведены в головку термопары, снабженную зажимами для включения термопары в электрическую цепь.

В зависимости от конструкции термопары могут иметь тепловую инерцию, характеризуемую постоянной времени от единиц секунд до нескольких минут, что ограничивает возможность их применения для измерения быстроменяющихся температур.

Кроме включения измерительного прибора в спай термопары возможно включение прибора «в электрод»; т.е. в разрыв одного из термоэлектродов (рис. 5.2в). Такое включение позволяет измерять разность температур. Например, может быть измерен перегрев обмоток

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

трансформатора над температурой окружающей среды при его испытаниях. Для этого рабочий спай термопары заделывают в обмотку, а свободный спай оставляют при температуре окружающей среды.

Требование постоянства температуры свободных концов термопары вынуждает по возможности удалять их от места измерения. Для этой цели применяют так называемые удлиняющие или компенсационные провода **КП**, подключаемые к свободным концам термопары с соблюдением полярности (рис. 5.2г). Компенсационные провода состоят из разнородных проводников, которые в интервале возможных колебаний температуры свободных концов развивают в паре между собой такую же ТЭДС, как и термопара. Максимальная развиваемая стандартными термопарами ТЭДС составляет от единиц до десятков милливольт.

*Пьезоэлектрические преобразователи.* Такие преобразователи основаны на использовании прямого пьезоэлектрического эффекта, заключающегося в появлении электрических зарядов на поверхности некоторых кристаллов (кварца, турмалина, сегнетовой соли и др.) под влиянием механических напряжений. Пьезоэлектрическим эффектом обладают также некоторые поляризованные керамические материалы титанат бария, цирконат-титанат свинца).

Если из кристалла кварца вырезать пластинку в форме параллелепипеда с гранями, расположенными перпендикулярно оптической **Oz**, механической **Oy** и электрической **Ox** осям кристалла (рис. 5.3),

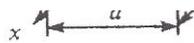


Рис. 5.3. Пластина из кристалла кварца

**то при воздействии на пластину усилия  $F_x$ , направленного вдоль электрической оси, на гранях  $x$  появляются заряды**

$$Q_x = K_n F_x$$

**где  $K_n$  — пьезоэлектрический коэффициент (модуль).**

**При воздействии на пластину усилия  $F_y$  вдоль механической оси, на тех же гранях  $x$  возникают заряды**

$$Q_y = K_n F_y a / e,$$

**где  $a$  и  $b$  — размеры граней пластины.**

**Механическое воздействие на пластину вдоль оптической оси появления зарядов не вызывает.**

**Пьезоэлектрический эффект является знакопеременным: при изменении направления прилагаемого усилия знаки зарядов на поверхности граней меняются на противоположные. Материалы сохраняют свои пьезоэлектрические свойства только при температурах ниже точки Кюри.**

Керамические датчики производят по технологии, обычной для радиокерамических изделий — путем прессования или литья под давлением; на керамику наносятся электроды, к электродам привариваются выводы. Для поляризации керамические изделия помещают в сильное электрическое поле, после чего они приобретают свойства пьезоэлектриков.

Электродвижущая сила, возникающая на электродах пьезоэлектрического преобразователя, довольно значительна — единицы вольт. Однако, если сила, приложенная к преобразователю постоянна, то измерить ЭДС трудно, поскольку заряд мал и быстро стекает через входное сопротивление вольтметра. Если же сила переменна и при этом период изменения силы много меньше постоянной времени разряда, определяемой емкостью преобразователя и сопротивлением утечки, то процесс утечки почти не влияет на выходное напряжение преобразователя. При изменении силы  $F$  по закону  $F=F_m \sin \cot$  ЭДС также изменяется по синусоидальному закону.

Параметрические измерительные преобразователи

Термометры сопротивления. Термометры сопротивления как и термопары, предназначены для измерения температуры газообразных, твердых и жидких тел, а также температуры поверхности. Принцип действия термометров основан на использовании свойства металлов и полупроводников изменять свое электрическое сопротивление с температурой. Для проводников из чистых металлов эта зависимость в области температур от  $-200\text{ }^\circ\text{C}$  до  $0\text{ }^\circ\text{C}$  имеет вид:

$$R_t = R_0 [1 + At + Bt^2 + C(t-100)t^3],$$

а в области температур от  $0\text{ }^\circ\text{C}$  до  $630\text{ }^\circ\text{C}$

$$R_t = R_0 [1 + At + Bt^2],$$

где  $R_t$ ,  $R_0$  — сопротивление проводника при температуре  $t$  и  $0\text{ }^\circ\text{C}$ ;  $A$ ,  $B$ ,  $C$  — коэффициенты;  $t$  — температура,  $^\circ\text{C}$ .

В диапазоне температур от  $0\text{ }^\circ\text{C}$  до  $180\text{ }^\circ\text{C}$  зависимость сопротивления проводника от температуры описывается приближенной формулой

$$R_t = R_0 [1 + at],$$

где  $a$  — температурный коэффициент сопротивления материала проводника (ТКС).

Для проводников из чистого металла  $a \sim 6 \cdot 10^{-3} \dots 4 \cdot 10^{-3}$  град $^{-1}$ .

Измерение температуры термометром сопротивления сводится к измерению его сопротивления  $R_t$  с последующим переходом к температуре по формулам или градуировочным таблицам.

**Различают проволочные и полупроводниковые термометры сопротивления. Проволочный термометр сопротивления представляет собой тонкую проволоку из чистого металла, закрепленную на каркасе из температуростойкого материала (чувствительный элемент), помещенную в защитную арматуру (рис. 5.4).**

Рис. 5.4. Чувствительный элемент термометра сопротивления

**Выводы от чувствительного элемента подведены к головке термометра. Выбор для изготовления термометров сопротивления проволок из чистых металлов, а не сплавов, обусловлен тем, что ТКС чистых металлов больше, чем ТКС сплавов и, следовательно, термометры на основе чистых металлов обладают большей чувствительностью.**

**Промышленностью выпускаются платиновые, никелевые и медные термометры сопротивления. Для обеспечения взаимозаменяемости и единой градуировки термометров стандартизованы величины их сопротивления  $R_0$  и ТКС.**

**Полупроводниковые термометры сопротивления (термисторы) представляют собой бусинки, диски или стержни из полупроводникового материала с выводами для подключения в измерительную цепь.**

**Промышленность серийно выпускает множество типов термисторов в различном конструктивном оформлении.**

**Размеры термисторов, как правило, малы — около нескольких миллиметров, а отдельные типы десятых долей миллиметра. Для предохранения от механических повреждений и воздействия среды термисторы защищаются покрытиями из стекла или эмали, а также металлическими чехлами.**

Термисторы обычно имеют сопротивление от единиц до сотен килоом; их ТКС в рабочем диапазоне температур на порядок больше, чем у проволочных термометров. В качестве материалов для рабочего тела термисторов используют смеси оксидов никеля, марганца, меди, кобальта, которые смешивают со связующим веществом, придают ему требуемую форму и спекают при высокой температуре. Применяют термисторы для измерения температур в диапазоне от  $-100$  до  $300^{\circ}\text{C}$ . Инерционность термисторов сравнительно невелика. К числу их недостатков следует отнести нелинейность температурной зависимости сопротивления, отсутствие взаимозаменяемости из-за большого разброса номинального сопротивления и ТКС, а также необратимое изменение сопротивления во времени.

Для измерения в области температур, близких к абсолютному нулю, применяются германиевые полупроводниковые термометры.

Измерение электрического сопротивления термометров производится с помощью мостов постоянного и переменного тока или компенсаторов.

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

Особенностью термометрических измерений является ограничение измерительного тока с тем, чтобы исключить разогрев рабочего тела термометра. Для проволочных термометров сопротивления рекомендуется выбрать такой измерительный ток, чтобы мощность, рассеиваемая термометром, не превышала 20 ... 50 мВт. Допустимая рассеиваемая мощность в термисторах значительно меньше и ее рекомендуется определять экспериментально для каждого термистора.

Тензочувствительные преобразователи (тензорезисторы). В конструкторской практике часто необходимы измерения механических напряжений и деформаций в элементах конструкций. Наиболее распространенными преобразователями этих величин в электрический сигнал являются тензорезисторы. В основе работы тензорезисторов лежит свойство металлов и полупроводников изменять свое электрическое сопротивление под действием приложенных к ним сил. Простейшим тензорезистором может быть отрезок проволоки, жестко сцепленный с поверхностью деформируемой детали. Растяжение или сжатие детали вызывает пропорциональное растяжение или сжатие проволоки, в результате чего изменяется ее электрическое сопротивление. В пределах упругих деформаций относительное изменение сопротивления проволоки связано с ее относительным удлинением соотношением

$$\Delta R / R = K_T \Delta l / l ,$$

где  $l$ ,  $R$  — начальные длина и сопротивление проволоки;  $\Delta l$ ,  $\Delta R$  — приращение длины и сопротивления;  $K_T$  — коэффициент тензочувствительности.

Величина коэффициента тензочувствительности зависит от свойств материала, из которого изготовлен тензорезистор, а также от способа крепления тензорезистора к изделию. Для металлических проволок из различных металлов  $K_T = 1 \dots 3,5$ .

Различают проволочные и полупроводниковые тензорезисторы. Для изготовления проволочных тензорезисторов применяются материалы, имеющие достаточно высокий коэффициент тензочувствительности и малый температурный коэффициент сопротивления. Наиболее употребительным материалом для изготовления проволочных тензорезисторов является константановая проволока диаметром 20 ... 30 мкм.

Конструктивно, проволочные тензорезисторы представляют собой решетку, состоящую из нескольких петель проволоки, наклеенных на тонкую бумажную (или иную) подложку (рис. 5.5). В зависимости от материала подложки тензорезисторы могут работать при температурах от -40 до +400 °С.

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

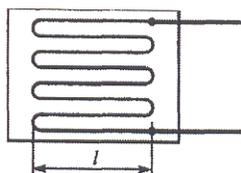


Рис. 5.5. Тензометр

Существуют конструкции тензорезисторов, прикрепляемых к поверхности деталей с помощью цемента, способные работать при температурах до 800 °С.

Основными характеристиками тензорезисторов являются номинальное сопротивление  $R$ , база  $l$  и коэффициент тензочувствительности  $K_T$ . Промышленностью выпускается широкий ассортимент тензорезисторов с величиной базы от 5 до 30 мм, номинальными сопротивлениями от 50 до 2000 Ом, с коэффициентом тензочувствительности  $2 \pm 0,2$ .

Дальнейшим развитием проволочных тензорезисторов являются фольговые и пленочные тензорезисторы, чувствительным элементом которых являются решетка из полосок фольги или тончайшая металлическая пленка, наносимые на подложки на лаковой основе.

Тензорезисторы выполняются, на основе полупроводниковых материалов. Наиболее сильно тензоэффект выражен у германия, кремния и др. Основным отличием полупроводниковых тензорезисторов от проволочных является большое (до 50 %) изменение сопротивления при деформации благодаря большой величине коэффициента тензочувствительности.

*Индуктивные преобразователи.* Индуктивные преобразователи применяются для измерения перемещений, размеров, отклонений формы и расположения поверхностей. Преобразователь состоит из неподвижной катушки индуктивности с магнитопроводом и якоря, также являющегося частью магнитопровода, перемещающегося относительно катушки индуктивности. Для получения возможно большей индуктивности магнитопровод катушки и якорь выполняются из ферромагнитных материалов. При перемещении якоря (связанного, например, со щупом измерительного устройства) изменяется индуктивность катушки и, следовательно, изменяется ток, протекающий в обмотке. На рис. 5.6 приведены схемы индуктивных преобразователей с переменным воздушным зазором  $\delta$  (рис. 5.6а) применяемых для измерения

перемещения в пределах 0,01... 10 мм; с переменной площадью воздушного зазора  $S_{\delta}$  (рис. 5.6б), применяемых в диапазоне 5 ... 20 мм.

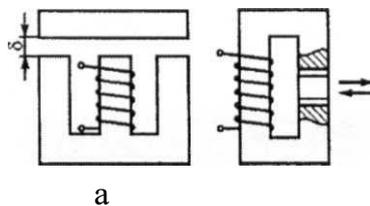


Рис. 5.6. Индуктивные преобразователи

## 2. Операционные усилители

*Операционный усилитель (ОУ)* - это дифференциальный усилитель постоянного тока с очень большим коэффициентом усиления. Для усилителя напряжения передаточная функция (коэффициент усиления) определяется выражением

$$A_v = \frac{v_0}{v_i}$$

Для упрощения конструкторских расчетов предполагается, что идеальный ОУ имеет следующие характеристики:

1. Коэффициент усиления при разомкнутой петле обратной связи равен бесконечности.
2. Входное сопротивление  $R_d$  равно бесконечности.
3. Выходное сопротивление  $R_0 = 0$ .
4. Ширина полосы пропускания равна бесконечности.
5.  $V_0 = 0$  при  $V_1 = V_2$  (отсутствует напряжение смещения нуля).  
Последняя характеристика очень важна. Так как  $V_1 - V_2 = V_0 / A$ , то если  $V_0$  имеет конечное значение, а коэффициент  $A$  бесконечно велик (типичное значение 100000) будем иметь  
 $V_1 - V_2 = 0$  и  $V_1 = V_2$ .

Поскольку входное сопротивление для дифференциального сигнала  $(V_1 - V_2)$  также очень велико, то можно пренебречь током через  $R_d$ . Эти два допущения существенно упрощают разработку схем на ОУ.

Правило 1. При работе ОУ в линейной области на двух его входах действуют одинаковые напряжения.

Правило 2. Входные токи для обоих входов ОУ равны нулю.

Рассмотрим базовые схемные блоки на ОУ. В большинстве этих схем ОУ используется в конфигурации с замкнутой петлей обратной связи.

**2.1. Усилитель с единичным коэффициентом усиления (повторитель напряжения).** Если в неинвертирующем усилителе положить  $R_i$  равным бесконечности, а  $R_f$  равным нулю, то мы приходим к схеме, изображенной на рис. 5.7.

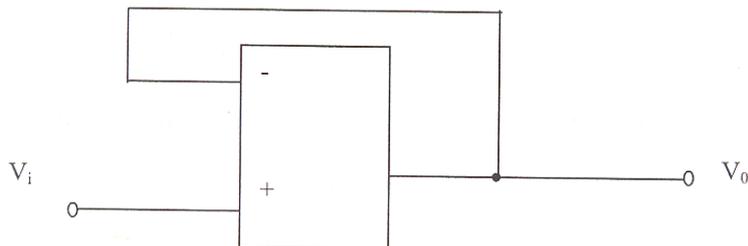


Рис.5.7. Повторитель напряжения

Согласно правилу 1, на инвертирующем входе ОУ тоже действует входное напряжение  $V_i$ , которое непосредственно передается на выход схемы. Следовательно,  $V_o = V_i$ , и выходное напряжение отслеживает (повторяет) входное напряжение. У многих аналого-цифровых преобразователей входное сопротивление зависит от значения аналогичного входного сигнала. С помощью повторителя напряжения обеспечивается постоянство входного сопротивления.

## 2.2. Сумматоры

Инвертирующий усилитель может суммировать несколько входных напряжений. Каждый вход сумматора соединяется с инвертирующим входом ОУ через взвешивающий резистор. Инвертирующий вход называется суммирующим узлом, поскольку здесь суммируются все входные токи и ток обратной связи. Базовая принципиальная схема суммирующего усилителя представлена на рис. 5.8.

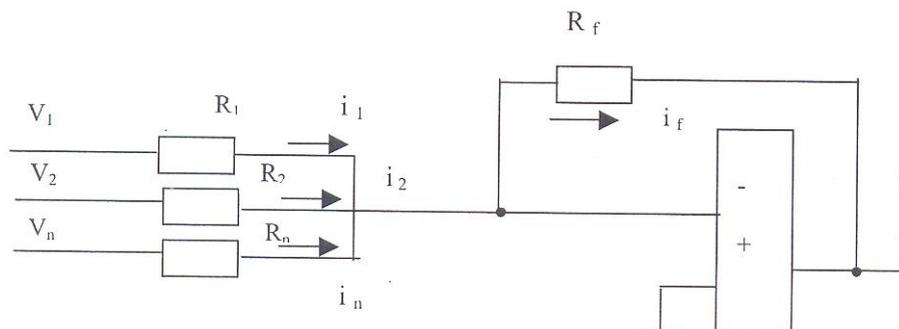


Рис. 5.8. Базовая принципиальная схема суммирующего усилителя

Как и в обычном инвертирующем усилителе, напряжение на инвертирующем входе должно быть равно нулю, следовательно, равен нулю и ток, втекающий в ОУ. Таким образом,

$$i_f = i_1 + i_2 + \dots + i_n$$

и

$$i_1 = \frac{V_1}{R_1}, \quad i_2 = \frac{V_2}{R_2}, \dots, i_n = \frac{V_n}{R_n}.$$

**Так как на инвертирующем входе действует нулевое напряжение, то после соответствующих подстановок, получаем**

$$V_0 = -R_f \left( \frac{V_1}{R_1} + \frac{V_2}{R_2} + \dots + \frac{V_n}{R_n} \right).$$

Резистор  $R_f$  определяет общее усиление схемы. Сопротивления  $R_1, R_2, \dots, R_n$  задают значения весовых коэффициентов и входных сопротивлений соответствующих каналов.

### 2.3. Интеграторы

Интегратор - это электронная схема, которая вырабатывает выходной сигнал, пропорциональный интегралу (по времени) от входного сигнала.

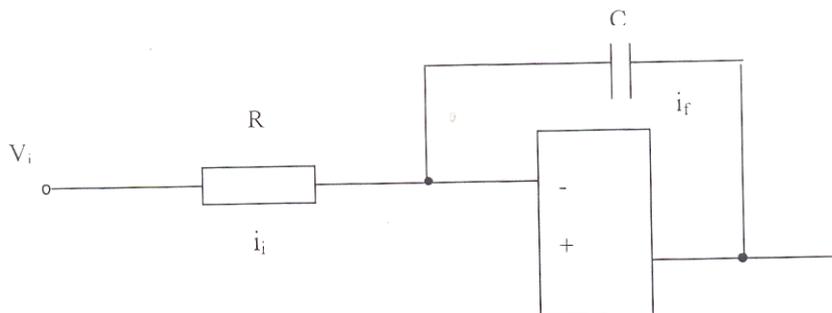


Рис. 5.9. Принципиальная схема аналогового интегратора

На рис. 5.9 показана принципиальная схема простого аналогового интегратора. Один вывод интегратора присоединен к суммирующему узлу, а другой - к выходу интегратора. Следовательно, напряжение на конденсаторе одновременно является выходным напряжением. Выходной сигнал интегратора не удастся описать простой алгебраической зависимостью, поскольку при фиксированном входном напряжении выходное напряжение изменяется со скоростью, определяемой параметрами  $V$ ,  $R$  и  $C$ . Таким образом, для того, чтобы найти выходное

напряжение, нужно знать длительность действия входного сигнала. Напряжение на первоначально разряженном конденсаторе

$$V = \frac{i_f t_i}{C},$$

где  $i_f$  – ток через конденсатор и  $t_i$  – время интегрирования. Для положительного  $V_i$  имеем  $i_i = V_i / R$ . Поскольку  $i_f = i_i$ , то с учетом инверсии сигнала получаем

$$V_0 = -\frac{1}{RC} \int_0^{t_1} V_i dt + V_{ic}.$$

Из этого соотношения следует, что  $V_0$  определяется интегралом (с обратным знаком) от входного напряжения в интервале от 0 до  $t_1$ , умноженным на масштабный коэффициент  $1/RC$ . Напряжение  $V_{ic}$  – это напряжение на конденсаторе в начальный момент времени ( $t = 0$ ).

## 2.4. Дифференциаторы

Дифференциатор вырабатывает выходной сигнал, пропорциональный скорости изменения во времени входного сигнала. На рис. 5.10 показана принципиальная схема простого дифференциатора.

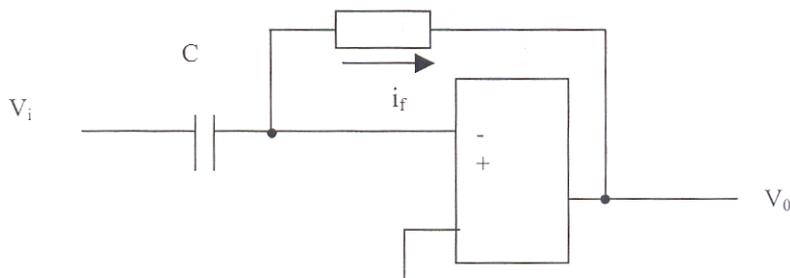


Рис. 5.10. Принципиальная схема дифференциатора

Ток через конденсатор

$$i_1 = C \frac{dV_i}{dt}.$$

Если производная  $\frac{dV_i}{dt}$  положительна, ток  $i_i$  течет в таком направлении, что формируется отрицательное выходное напряжение  $V_0$ . Таким образом,

$$V_0 = -RC \frac{dV_i}{dt}.$$

Этот метод дифференцирования сигнала кажется простым, но при его практической реализации возникают проблемы с обеспечением устойчивости схемы на высоких частотах. Не всякий ОУ пригоден для использования в дифференциаторе. Критерием выбора является быстродействие ОУ: нужно выбирать ОУ с высокой максимальной скоростью нарастания выходного напряжения и высоким значением произведения коэффициента усиления на ширину полосы. Хорошо работают в дифференциаторах быстродействующие ОУ на полевых транзисторах.

## 2.5. Компараторы

Компаратор - это электронная схема, которая сравнивает два входных напряжения и вырабатывает выходной сигнал, зависящий от состояния входов. Базовая принципиальная схема компаратора показана на рис. 5.11.

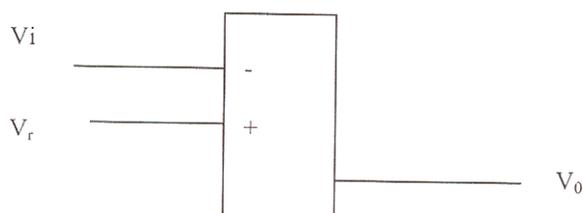


Рис. 5.11. Принципиальная схема компаратора

Как видим, здесь ОУ работает с разомкнутой петлей обратной связи. На один из его входов подается опорное напряжение, на другой - неизвестное (сравниваемое) напряжение. Выходной сигнал компаратора указывает: выше или ниже уровня опорного напряжения находится уровень неизвестного входного сигнала. В схеме на рис.5.11 опорное напряжение  $V_{\bar{a}}$  подается на неинвертирующий вход, а на инвертирующий вход поступает неизвестный сигнал  $V_i$ .

При  $V_i > V_{\bar{a}}$  на выходе компаратора устанавливается напряжение  $V_0 = -V_{\bar{a}}$  (отрицательное напряжение насыщения). В противоположном случае получаем  $V_0 = +V_{\bar{a}}$ . Можно поменять местами входы - это приведет к инверсии выходного сигнала.

## 3. Коммутация измерительных сигналов

В информационно-измерительной технике при реализации аналоговых измерительных преобразований часто приходится

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

осуществлять электрические соединения между двумя и более точками измерительной схемы с целью вызвать необходимый переходный процесс, рассеять запасенную реактивным элементом энергию (например, разрядить конденсатор), подключить источник питания измерительной цепи, включить ячейку аналоговой памяти, взять выборку непрерывного процесса при дискретизации и т. д. Кроме того, многие измерительные средства осуществляют измерительные преобразования последовательно над большим числом электрических величин, распределенных в пространстве. Для реализации сказанного используются измерительные коммутаторы и измерительные ключи.

Измерительным коммутатором называется устройство, которое преобразует пространственно разнесенные аналоговые сигналы в сигналы, разделенные во времени, и наоборот.

Измерительные коммутаторы аналоговых сигналов характеризуются следующими параметрами:

- динамическим диапазоном коммутируемых величин;
- погрешностью коэффициента передачи;
- быстродействием (частотой переключения или временем, необходимым для выполнения одной коммутационной операции);
- числом коммутируемых сигналов;
- предельным числом переключений (для коммутаторов с контактными измерительными ключами).

В зависимости от типа используемых в коммутаторе измерительных ключей различают контактные и бесконтактные коммутаторы.

Измерительный ключ представляет собой двухполюсник с явно выраженной нелинейностью вольт-амперной характеристики. Переход ключа из одного состояния (закрытого) в другое (открытое) выполняется с помощью управляющего элемента.

#### *4. Аналого-цифровое преобразование*

Аналого-цифровое преобразование составляет неотъемлемую часть измерительной процедуры. В показывающих приборах эта операция соответствует считыванию числового результата экспериментатором. В цифровых и процессорных измерительных средствах аналого-цифровое преобразование выполняется автоматически, а результат либо поступает непосредственно на индикацию, либо вводится в процессор для выполнения последующих измерительных преобразований в числовой форме.

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

Методы аналого-цифрового преобразования в измерениях разработаны глубоко и основательно и сводятся к представлению мгновенных значений входного воздействия в фиксированные моменты времени соответствующей кодовой комбинацией (числом). Физическую основу аналого-цифрового преобразования составляет стробирование и сравнение с фиксированными опорными уровнями. Наибольшее распространение получили АЦП поразрядного кодирования, последовательного счета, следящего уравнивания и некоторые другие. К вопросам методологии аналого-цифрового преобразования, которые связаны с тенденциями развития АЦП и цифровых измерений на ближайшие годы относятся, в частности:

- устранение неоднозначности считывания в наиболее быстродействующих АЦП сопоставления, получающих все большее распространение с развитием интегральной технологии;
- достижение устойчивости к сбоям и улучшение метрологических характеристик АЦП на основе избыточной системы счисления Фибоначчи;
- применение для аналого-цифрового преобразования метода статистических испытаний.

#### **4.1 Цифроаналоговые и аналого-цифровые преобразователи**

Цифроаналоговые (ЦАП) и аналого-цифровые преобразователи (АЦП) являются неотъемлемой частью автоматических систем контроля управления и регулирования. Кроме того, поскольку подавляющее большинство измеряемых физических величин являются аналоговыми, а их обработка индикация и регистрация, как правило, осуществляются цифровыми методами, ЦАП и АЦП нашли широкое применение в автоматических средствах измерений. Так, ЦАП и АЦП входят в состав цифровых измерительных приборов (вольтметров, осциллографов, анализаторов спектра, корреляторов и т. п.), программируемых источников питания, дисплеев на электроннолучевых трубках, графопостроителей, радиолокационных систем установок для контроля элементов и микросхем, являются важными компонентами различных преобразователей и генераторов, устройств ввода вывода информации ЭВМ. Широкие перспективы применения ЦАП и АЦП открываются в телеметрии и телевидении. Серийный выпуск малогабаритных и относительно дешевых ЦАП и АЦП даст возможность еще более широкого использования методов дискретно непрерывного преобразования в науке и технике.

Существует три разновидности конструктивно технологического исполнения ЦАП и АЦП: *модульное, гибридное и интегральное*. При этом доля производства интегральных схем (ИС) ЦАП и АЦП в общем объеме их выпуска непрерывно возрастает, чему в значительной степени способствует широкое распространение микропроцессоров и методов цифровой обработки данных. ЦАП - устройство, которое создает на выходе аналоговый сигнал (напряжение или ток), пропорциональный входному цифровому сигналу. При этом значение выходного сигнала зависит от значения опорного напряжения  $U_{\text{и}}$ , определяющего полную шкалу выходного сигнала. Если в качестве опорного напряжения использовать какой либо аналоговый сигнал, то выходной сигнал ЦАП будет пропорционален произведению входных цифрового и аналогового сигналов. В АЦП цифровой код на выходе определяется отношением преобразуемого входного аналогового сигнала к опорному сигналу, соответствующему полной шкале. Это соотношение выполняется и в том случае, если опорный сигнал изменяется по какому-либо закону. АЦП можно рассматривать как измеритель отношений или делитель напряжений с цифровым выходом.

#### *4.2. Принципы действия, основные элементы и структурные схемы АЦП*

В настоящее время разработано большое количество типов АЦП, удовлетворяющее разнообразным требованиям. В одних случаях преобладающим требованием является высокая точность, в других - скорость преобразования.

По принципу действия все существующие типы АЦП можно разделить на две группы: АЦП со сравнением входного преобразуемого сигнала с дискретными уровнями напряжений и АЦП интегрирующего типа.

В АЦП со сравнением входного преобразуемого сигнала с дискретными уровнями напряжений используется процесс преобразования, сущность которого заключается в формировании напряжения с уровнями, эквивалентными соответствующим цифровым кодам, и сравнении этих уровней напряжения с входным напряжением с целью определения цифрового эквивалента входного сигнала. При этом уровни напряжения могут формироваться одновременно, последовательно или комбинированным способом.

АЦП последовательного счета со ступенчатым пилообразным напряжением является одним из простейших преобразователей (рис. 5.12).

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

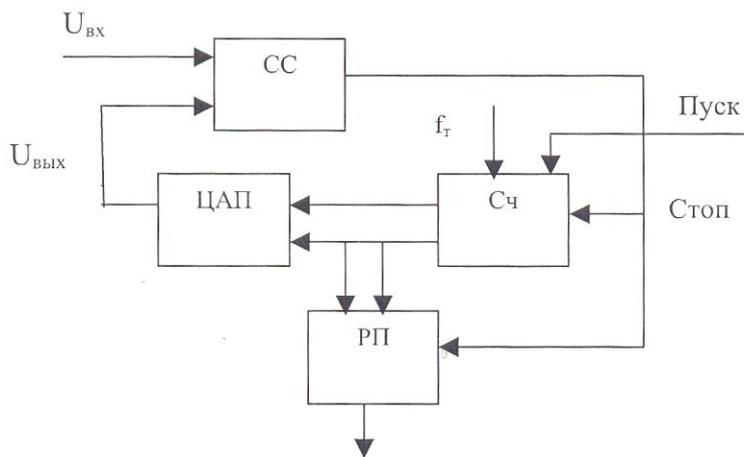


Рис. 5.12. Структурная схема АЦП последовательного счета  
СС - схема сравнения; Сч - счетчик импульсов; РП - регистр памяти; ЦАП - цифро-аналоговый преобразователь.

По сигналу "Пуск" счетчик устанавливается в нулевое состояние, после чего по мере поступления на его вход тактовых импульсов с частотой  $f_{\text{т}}$  линейно-ступенчато возрастает выходное напряжение ЦАП. При достижении напряжением  $U_{\text{аио}}$  значения  $U_{\text{ао}}$  схема сравнения прекращает подсчет импульсов в счетчике Сч, а код с выходов последнего заносится в регистр памяти. Разрядность и разрешающая способность таких АЦП определяется разрядностью и разрешающей способностью используемого в его составе ЦАП. Время преобразования зависит от уровня входного преобразуемого напряжения. Для входного напряжения, соответствующего значению полной шкалы, Сч должен быть заполнен и при этом он должен сформировать на входе ЦАП код полной шкалы. Это требует для  $n$ -разрядного ЦАП времени преобразования в  $(2^n - 1)$  раз больше периода тактовых импульсов. Для быстрого аналого-цифрового преобразования использование подобных АЦП нецелесообразно.

В следящем АЦП (рис. 5.13) суммирующий Сч заменен на реверсивный счетчик РСч, чтобы отслеживать изменяющееся входное напряжение. Выходной сигнал КН определяет направление счета в зависимости от того превышает или нет входное напряжение АЦП выходное напряжение ЦАП.

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

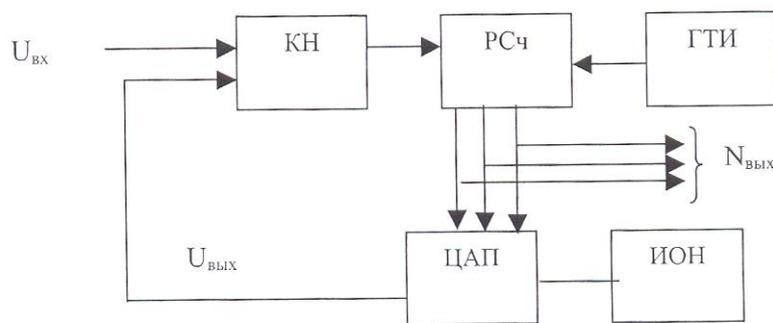


Рис. 5.13. Структурная схема АЦП следящего типа

Перед началом измерений РСч устанавливается в состояние, соответствующее середине шкалы (01 ... 1). Первый цикл преобразования следящего АЦП аналогичен циклу преобразования в АЦП последовательного счета. В дальнейшем циклы преобразования существенно сокращаются, так как данный АЦП успевает отследить малые отклонения входного сигнала за несколько тактовых периодов, увеличивая или уменьшая число импульсов, записанное в РСч, в зависимости от знака рассогласования текущего значения преобразуемого напряжения  $U_{\text{вх}}$  и выходного напряжения ЦАП.

*АЦП последовательного приближения (поразрядного уравнивания)* нашли наиболее широкое распространение в силу достаточно простой их реализации при одновременном обеспечении высокой разрешающей способности, точности и быстродействия, имеют несколько меньшее быстродействие, но существенно большую разрешающую способность в сравнении с АЦП, реализующими метод параллельного преобразования (рис.5.14).

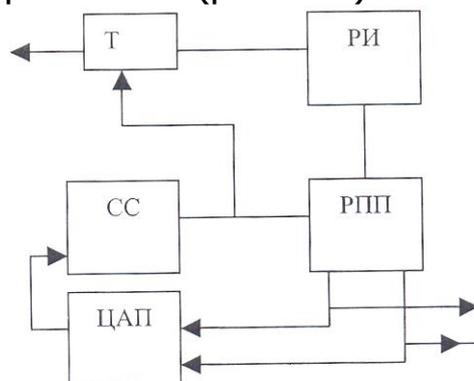


Рис. 5.14. Структурная схема АЦП поразрядного уравнивания  
СС - схема сравнения; Т - триггер, РПП - регистр последовательного приближения; РИ - распределитель импульсов.

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

Для повышения быстродействия в качестве управляющего устройства используется распределитель импульсов РИ и регистр последовательного приближения. Сравнение входного напряжения с опорным (напряжением обратной связи ЦАП) ведется, начиная с величины, соответствующей старшему разряду формируемого двоичного кода.

При пуске АЦП с помощью РИ устанавливается в исходное состояние РПП: 1000 . . . 0. При этом на выходе ЦАП формируется напряжение, соответствующее половине диапазона преобразования, что обеспечивается включением его старшего разряда. Если входной сигнал меньше, чем сигнал от ЦАП, в следующем такте с помощью РПП на цифровых входах ЦАП формируется код 0100. . . 0, что соответствует включению 2-го по старшинству разряда. В результате выходной сигнал ЦАП уменьшается вдвое.

Если входной сигнал превышает сигнал от ЦАП, в очередном такте обеспечивается формирование кода 000 ... 0 на цифровых входах ЦАП и включение дополнительного 3-го разряда. При этом выходное напряжение ЦАП, возросшее в полтора раза, вновь сравнивается с входным напряжением и т. д. Описанная процедура повторяется  $n$  раз (где  $n$  - число разрядов АЦП).

В результате на выходе ЦАП сформируется напряжение, отличающееся от входного не более, чем на единицу младшего разряда ЦАП. Результат преобразования снимается с выхода РПП.

Достоинством данной схемы является возможность построения многоразрядных (до 12 разрядов и выше) преобразователей сравнительно высокого быстродействия (с временем преобразования порядка несколько сот наносекунд).

В АЦП непосредственного считывания (параллельного типа) (рис. 5.15) входной сигнал одновременно прикладывается ко входам всех КН, число  $m$  которых определяется разрядностью АЦП и равно  $m = 2^n - 1$ , где  $n$  - число разрядов АЦП. В каждом КН сигнал сравнивается с опорным напряжением, соответствующем весу определенного разряда и снимаемым с узлов резисторного делителя, питаемого от ИОН.

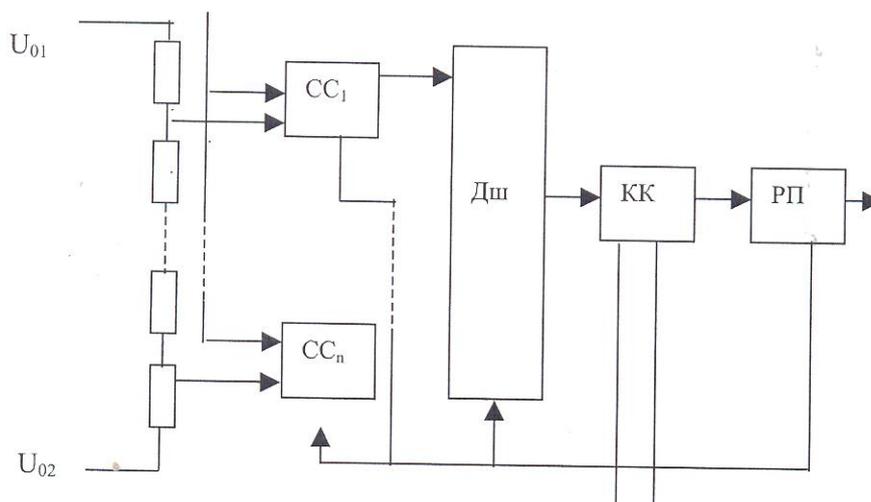


Рис. 5.15. Структурная схема параллельного АЦП

Выходные сигналы КН обрабатываются логическим дешифратором, вырабатывающим параллельный код, являющийся цифровым эквивалентом входного напряжения. Подобные АЦП обладают самым высоким быстродействием. Недостаток таких АЦП заключается в том, что с ростом разрядности количество требуемых элементов практически удваивается, что затрудняет построение многоразрядных АЦП подобного типа. Точность преобразования ограничивается точностью и стабильностью КН и резисторного делителя. Чтобы увеличить разрядность при высоком быстродействии реализуют двухкаскадные АЦП, при этом с выходов второй ступени ДШ снимаются младшие разряды выходного кода, а с выходов ДШ первой ступени - старшие разряды.

**АЦП с модуляцией длительности импульса (однотактный интегрирующий).** АЦП характеризуется тем, что уровень входного аналогового сигнала  $U_{\hat{a}0}$  преобразуется в импульс, длительность которого  $t_{\hat{e}i\hat{i}}$  является функцией значения входного сигнала и преобразуется в цифровую форму с помощью подсчета числа периодов опорной частоты, которые укладываются между началом и концом импульса. Выходное напряжение интегратора под действием подключенного к его входу  $U_{\hat{i}\hat{i}}$  изменяется от

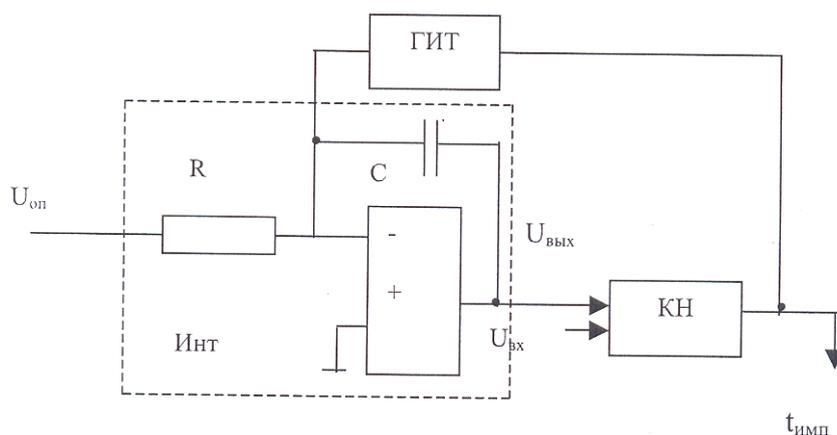


Рис. 5.16. Структурная схема АЦП однократного интегрирующего.

нулевого уровня со скоростью

$$U_{\hat{\alpha}\delta} = \frac{U_{\hat{i}\ddot{i}}}{\tau_{\hat{e}\dot{i}\delta}}$$

В момент, когда выходное напряжение интегратора становится равным входному  $U_{\hat{\alpha}\delta}$ , КН срабатывает, в результате чего заканчивается формирование длительности импульса, в течение которого в счетчиках АЦП происходит подсчет числа периодов опорной частоты. Длительность импульса определяется временем, за которое напряжение  $U_{\hat{\alpha}\delta}$  изменяется от нулевого уровня до  $U_{\hat{\alpha}\delta}$ :

$$t_{\hat{e}\dot{i}\ddot{i}} = \frac{U_{\hat{\alpha}\delta}}{U_{\hat{\alpha}\delta}} = \frac{U_{\hat{\alpha}\delta} \tau_{\hat{e}\dot{i}\delta}}{U_{\hat{i}\ddot{i}}}$$

Достоинство данного преобразователя заключается в его простоте, а недостатки - в относительно низком быстродействии и низкой точности.

*Вопросы для самоконтроля усвоения знаний:*

1. Какие физические принципы используются в первичных преобразователях?
2. Как классифицируют ИП по виду измеряемой величины?
3. Основные критерии согласования первичных преобразователей с объектом измерения.
4. Структура ИП, принципы действия, функция преобразования и особенности применения.
5. Поясните базовые схемные блоки на операционных усилителях (инвертирующие и неинвертирующие усилители, повторители напряжения и т.д.).

6. Каковы метрологические характеристики аналоговых вычислителей (сумматоров, интеграторов, дифференциаторов)?
7. Измерительные коммутаторы, их характеристики, эквивалентные схемы, обозначения на принципиальных схемах.
8. Реализация аналого-цифрового преобразования в АЦП последовательного счета.
9. Принципы действия. Основные элементы, структурные схемы и характеристики АЦП и ЦАП.

### Лекция по теме №3.3.1. Метрологические стенды для поверки/калибровки газоанализаторов

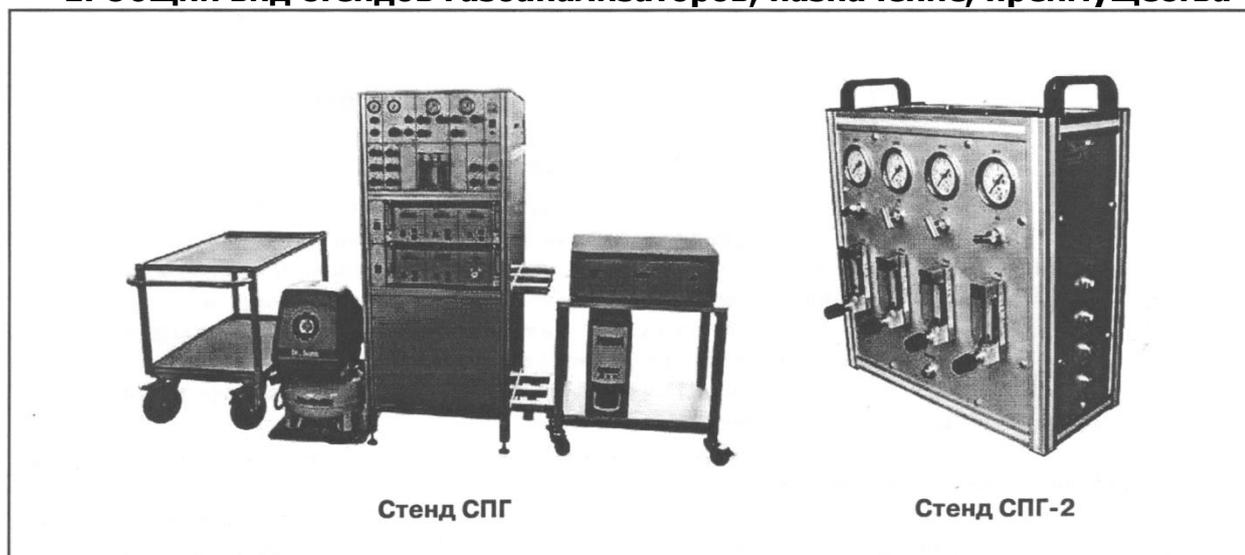
#### ВОПРОСЫ

1. Общий вид стендов газоанализаторов, назначение, преимущества.
2. Устройство и функциональные возможности стенда СПГ.
3. Устройство и функциональные возможности стенда СПГ-2.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Каталог – метрологическое обеспечение. М.: ПГ Метран. 2015, – с. 26-31.

#### 1. Общий вид стендов газоанализаторов, назначение, преимущества



- Автоматизированное рабочее место поверителя с эталонными газогенераторами (стенд СПГ)
- Рабочее место поверителя с ручным регулированием, с подаваемой в поверяемый прибор концентрацией газа (стенд СПГ-2)
- Интерфейс RS232
- Потребляемая мощность стенда не более 4 кВт, питание от сети 220 В, 50 Гц

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

Метрологические стенды СПГ и СПГ-2 для газоанализаторов предназначены для поверки газоанализаторов, хроматографов, газоаналитических систем и газоаналитических преобразователей в соответствии с ГОСТ 8.578-2002.

Метрологические стенды СПГ и СПГ-2 могут также использоваться для калибровки, проверки работоспособности и наладки оборудования, перечисленного выше.

Преимущества:

- ❖ стенд СПГ служит для приготовления разнообразных газовых смесей, отличающихся концентрацией, при минимальном количестве исходных смесей, за счет разбавления целевого компонента газом разбавителем (коэффициент разбавления 1...2500), а также приготовления газовых смесей с низкими концентрациями компонента (при использовании источников микропотока). Автоматизация поверки (расчет коэффициентов разбавления и расхода, управление генераторами газовых смесей и источниками микропотока для выхода эталонов на режим).
- ❖ стенд СПГ-2 позволяет выполнить одновременное подключение до 4-х баллонов с поверочными газовыми смесями (ГСО-ПГС) и поочередное регулирование и подача смеси в поверяемый прибор.

## 2. Устройство и функциональные возможности стенда СПГ

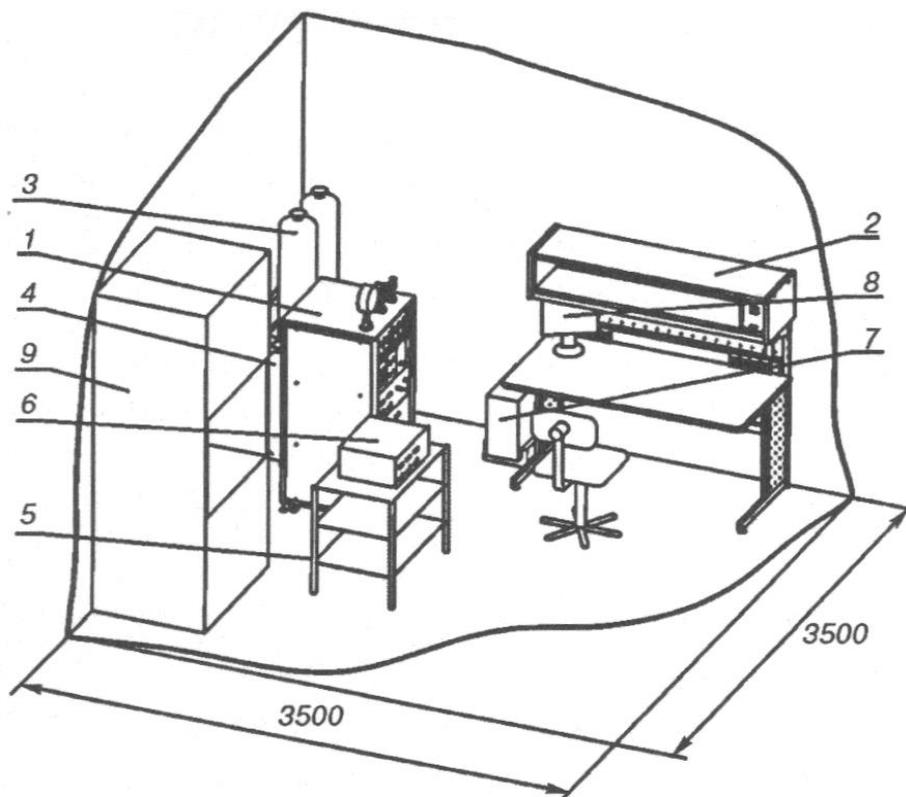
Устройство рабочего места для поверки газоанализаторов в комплекте со стендом СПГ (см.рис. 1).

1. Стенд СПГ<sup>1)</sup> (стойка с эталонами).
2. Стол рабочий СР-1.
3. Вытяжной шкаф
4. Поверяемый газоанализатор.
5. Баллоны<sup>2)</sup> с газом разбавителем.
6. Баллоны<sup>2)</sup> с образцовыми газовыми смесями (ГСО-ПГС).
7. Компьютер с ПО для управления эталонами.

<sup>1)</sup> Основной состав стенда с СПГ: каркас, панели с элементами пневматической коммутации, эталонные газогенераторы ГГС модификации ГГС-Р, ГГС-Т, ГГС-Кили ГГС-03-03, ротаметры.

<sup>2)</sup> Выбор баллонов осуществляет ЗАО «ПГ «Метран», а приобретение пользователь осуществляет самостоятельно у поставщиков баллонов.

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений



**Рис. 1. Внешний вид и устройство стенда СПГ.**

Метрологические стенды СПГ формируются на базе генераторов газовых смесей, которые являются рабочими эталонами 1-го разряда (в соответствии с Государственной поверочной схемой для средств измерений содержания компонентов в газовых средах ГОСТ 8.578\_2002) и предназначены

для воспроизведения заданных значений концентраций газов и паров в воздухе или азоте.

В состав метрологического стенда СПГ может входить один или несколько генераторов газовых смесей, в зависимости от подаваемой в поверяемый прибор газовой смеси.

Генератор газовых смесей ГГС-03-03 предназначен для приготовления бинарных газовых смесей методом динамического разбавления исходных чистых газов или газовых смесей (ГСО-ПГС или эталонов сравнения) газом - разбавителем (азотом, воздухом).

Генераторы газовых смесей ГГС-Р, ГГС-К предназначены для приготовления бинарных газовых смесей путем смешения чистых газов или разбавлением промежуточной смеси. Регулирование и измерение расходов исходного газа и газа-разбавителя осуществляется при помощи тепловых регуляторов массового расхода.

Генераторы газовых смесей ГГС-Т, ГГС-К предназначены для приготовления бинарных газовых смесей путем смешения потоков газов, один из которых (разбавитель) регулируется и измеряется с помощью теплового регулятора массового расхода, а второй (целевой газ) задается источником микропотока (ИМ), находящимся в термостате с контролируемой температурой.

Генераторы ГГС предназначены для приготовления газовых смесей со следующими компонентами: оксид азота, диоксид азота, диоксид серы, сероводород, аммиак, оксид углерода, метан, закись азота, диоксид углерода, сероуглерод,

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

хлористый водород, хлор, кислород, водород, ацетилен, этилен, этан, пентан, пропан, бутан, гексан, метилмеркаптан, бутилмеркаптан, этилмеркаптан, пропилмеркаптан, фтор, сероокись углерода, диэтиловый эфир, дихлорэтан, пропен, хладон R-22, хладон, хладон R134a, хладон 227ea, фтористый водород, метанол, этанол, бутанол, этилацетат, ацетон, бензол, толуол, ксилол, аргон, гелий, азот.

В генераторах имеется последовательный интерфейс типа RS232.

Работа генераторов может осуществляться как в ручном режиме (управление с лицевой панели), так и в автоматизированном (управление от персонального компьютера). В автоматизированном режиме производится автоматический расчет коэффициентов разбавления и расхода, контроль выхода эталонов на режим.

**ОСНОВНЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ И РАБОЧИЕ ДИАПАЗОНЫ  
СТЕНДА СПГ, ПАРАМЕТРЫ ГЕНЕРАТОРОВ ГАЗОВЫХ СМЕСЕЙ**

**Таблица 1**

	ГГС-03-03	ГГС-Р	ГГС-Т	ГГС-К
Приготавливаемые газовые смеси	<b>NO, NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S, NH<sub>3</sub>, CO, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, CO<sub>2</sub>, HCl, Cl<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>, C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>, C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>, C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>, C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>, C<sub>4</sub>H<sub>10</sub>, C<sub>6</sub>H<sub>14</sub>, Ar, He, N<sub>2</sub></b>			
		<b>CS<sub>2</sub>, CH<sub>3</sub>SH, C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>SH, C<sub>3</sub>H<sub>7</sub>S, F<sub>2</sub>, COS, HF, CH<sub>3</sub>OH, C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>OH, CH<sub>3</sub>COCH<sub>3</sub>, C<sub>6</sub>H<sub>6</sub>, C<sub>7</sub>H<sub>8</sub>, C<sub>8</sub>H<sub>10</sub></b>		
Количество каналов	3	3	2	4
Максимальный коэффициент разбавления	2500	-	2500	
Пределы допускаемой относительной погрешности коэффициента разбавления (только для ГГС-Р и ГГС-К), %	±(0,8-2,5)		±(0,8-2,5)	
Пределы относительной погрешности измерения расхода, %	±(0,5-1,5)	-	±(0,5-1,5)	
Объемный расход приготавливаемой газовой, см <sup>3</sup> /мин	100-5000			
Диапазон задания массовой концентрации целевого компонента в приготавливаемой газовой смеси, мг/ м <sup>3</sup>		0,02-100		
Погрешность термостатирования в диапазоне от 30 до 60°С в диапазоне от 60 до 120°С		не более ±0,10 К не более ±0,20 К		
Диапазон задания и поддержания температуры ИМ в термостате		от 30,0 до 120,0 °С		
Количество одновременно используемых ИМ		от 1 до 6 шт (Ф6); от 1 до 3 шт (Ф8-10)		
Габаритные размеры рабочих эталонов (ДхШхВ), мм	490x200x400	490x200x350	490x200x450	
Масса, кг, не более	10	15		

**3. Устройство и функциональные возможности стенда СПГ-2**

Основной состав и устройство стенда СПГ-2 для поверки газоанализаторов (см. рис. 2):

1. Каркас стенда СПГ-2.
2. Панель коммутации баллонов ПГС-ГСО<sup>1)</sup> и поверяемых приборов.
3. Панель регулирования газовой смеси в поверяемый прибор (для каждого входного порта предусмотрен независимый блок управления).
4. Винт заземления, расположенный с обратной стороны корпуса стенда.

<sup>1)</sup> Выбор баллонов осуществляет ЗАО ПГ «Метран», а приобретение пользователь осуществляет самостоятельно у поставщиков баллонов.

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

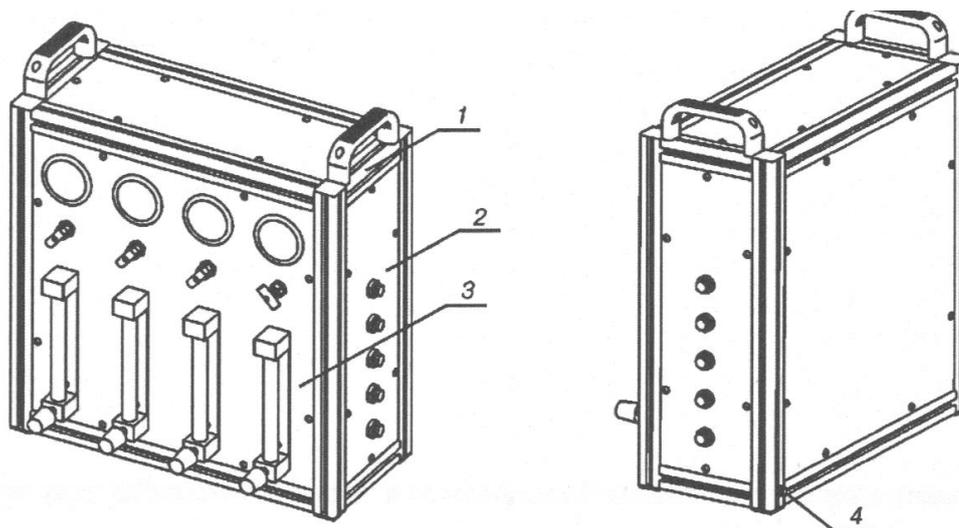


Рис.2. Внешний вид и устройство стэнда СПГ-2.

Стэнд СПГ-2 выполнен в виде стойки настольного исполнения и предназначен для проведения поверки газоаналитического оборудования с помощью готовых образцовых газовых смесей, с требуемыми по методике поверке значениями концентраций целевых компонентов. Стэнд СПГ-2 позволяет одновременно подключить до 4-х баллонов к входному порту поверяемого прибора. Каждый из каналов стэнда имеет свою линию регулирования, элементы которой встроены в лицевую панель стэнда СПГ-2:

- отсечной клапан канала, используется для включения/ отключения баллона ПГС-ГСО от выходного порта стэнда;
- манометр, для контроля в канале давления смеси;
- регулирующий ротаметр, используется для задания по каждому из каналов расхода газовой смеси (диапазон регулирования от 0,4 до 4,1 л/мин).

В качестве эталонов на стэнде СПГ-2, используются образцовые газовые смеси (ПГС-ГСО) нулевого, 1-го и 2-го разряда (в соответствии с Государственной поверочной схемой для средств измерений содержания компонентов в газовых средах ГОСТ 8.578-2002).

Внутренняя пневматическая разводка стэнда выполнена из материалов, устойчивых к воздействию химических сред (материал трубок - сталь 12Х18Н10Т, уплотнения фторопласт). Для регулирования давления до входа в пневматическую разводку стэнда СПГ-2 используются редукторы давления для баллонов ПГС-ГСО (для агрессивных и чистых сред), которые входят в комплект стэнда.

### КОМПЛЕКТ ПОСТАВКИ

В комплект поставки стэнда СПГ и СПГ-2 входят:

- ❖ стэнд поверочный газоанализаторов СПГ или СПГ-2;
- ❖ газогенераторы (только для стэндов СПГ);
- ❖ стол рабочий СР-1 (с полкой, светильником, розетками, заземлением, кресло, тумба);
- ❖ дополнительное оборудование - опции (по заказу);
- ❖ компьютер (для управления газогенераторами, только для стэндов СПГ);
- ❖ вытяжной шкаф;
- ❖ комплект подключения баллонов газоразбавителей и баллонов с поверочными газовыми смесями (ГСО-ПГС) (редукторы, переходные штуцеры, трубки);

В состав стэнда СПГ входят:

- стойка под эталонные газогенераторы (с вакуумным насосом по необходимости);

**Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений**

- трубки для подключения поверяемых приборов к стойке;
  - комплект регуляторов для подключения баллонов ГСО-ПГС, НПГ к стойке.
- В состав стенда СПГ-2 входят:
- ✚ стойка с панелью коммутации баллонов и поверяемого прибора и панелью контроля и регулирования потока газа;
  - ✚ трубки для подключения поверяемых приборов;
  - ✚ комплект регуляторов-регуляторов для подключения баллонов ГСО-ПГС, НПГ к стойке.

**ДОПОЛНИТЕЛЬНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ И ОПЦИИ**

Дополнительно стенд может быть укомплектован следующим оборудованием:

- тележка подкатная под поверяемые газоанализаторы;
- вакуумметр (от 1 до 0 кгс/см<sup>2</sup>);
- стеллаж;
- ноутбук (для стендов СПГ-2);
- принтер лазерный;
- универсальный измеритель параметров окружающей среды;
- секундомер;
- контейнер для баллонов с нулевыми газами;
- контейнер для баллонов с поверочными газовыми смесями;
- мегаомметр;
- источники питания;
- многофункциональные калибраторы или мультиметры;
- тестер;
- набор ключей (обмедненных).

**Для поверки газоанализаторов необходимо наличие баллонов с целевыми и чистыми газами, находящихся под высоким давлением. При подборе комплектации метрологического стенда Вам будет направлен перечень необходимых баллонов и адрес поставщика для организации прямой поставки. Внимание!**

Для запроса стоимости и заказа метрологического стенда для поверки, калибровки газоанализаторов необходимо заполнить опросный лист (см. приложение; в электронном виде - на сайте компании, компакт-диске, в региональном представительстве компании) и направить его в ближайшее региональное представительство компании.

Состав и обозначение комплектующих метрологического стенда формируется специалистами компании на основании заполненного заказчиком опросного листа. Типовых стендов для всех применений нет, выбор оборудования индивидуальный в зависимости от типов и характеристик поверяемых средств заказчика, поэтому заполнение опросного листа обязательно для формирования комплекта стенда!

**ЛЕКЦИЯ ТЕМА №3.4 «ЭЛЕМЕНТЫ ПРОГРАММНОГО  
ОБЕСПЕЧЕНИЯ»**

**ВОПРОСЫ**

1. Элементы микропроцессоров:
  - Программно-доступные регистры;

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

- Организация памяти МП;
  - Динамический запоминающий элемент;
  - Статические запоминающие элементы;
  - Оперативное запоминающее устройство;
  - Дешифратор;
  - Постоянные запоминающие устройства.
2. Методы и средства программирования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Парахуда Р.Н., Шевцов В.И. Автоматизация измерений и контроля: Письменные лекции. – СПб., СЗТУ, 75 с.

**1. Элементы микропроцессоров**

*1.1. Программно-доступные регистры микропроцессоров*

*Микропроцессор (МП) выполняет простейшие арифметические и логические операции, осуществляет общее управление работой компьютера ПК, дает разрешение на ввод и вывод информации и производит обмен информацией.*

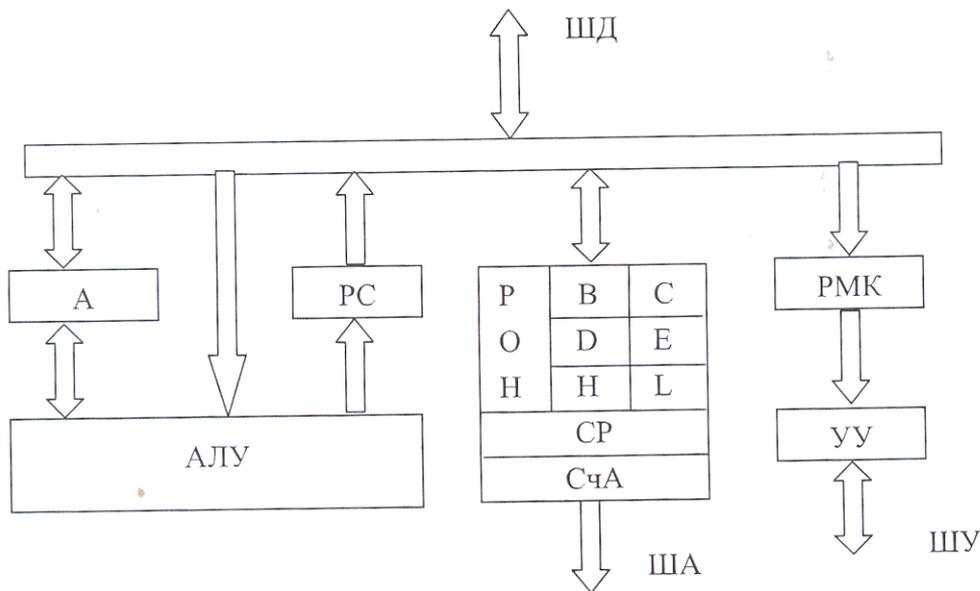


Рис. 6.1. Структурная схема МП

Структура МП обеспечивает выполнение операций обработки, обмена, хранения над тремя видами слов: данными, управляющими словами (командами, микрокомандами) и адресами (формализованными)

информационными словами, указывающими местоположение данных команд), которые передаются соответственно по шинам:

ШД - шина данных для передачи команд управления работой МП и обрабатываемой информации; разрядность шины данных 8 бит;

ША - шина адреса для передачи адресов ячеек памяти и номеров интерфейсов, к которым обращается МП; разрядность шины адреса -16 бит;

ШУ - шина управления для передачи команд режимов работы блоков МПТС.

Из всего многообразия возможных принципов вычисления в МП, которые нашли отражение в структурно-логической организации различных типов микропроцессорных БИС, можно выделить следующие наиболее общие элементы МП:

АЛУ - арифметико-логическое устройство для выполнения простейших арифметических и логических операций;

А - аккумулятор (регистр) для хранения первого операнда и результата обработки информации в АЛУ; в А возможно сдвигать информацию вправо и влево; прибавлять и отнимать единицу от содержимого регистра; объем А 8 бит;

РОН - регистры общего назначения для хранения промежуточных результатов; РОН содержит шесть регистров - В, С, D, E, H, L; объем каждого регистра 8 бит;

РС-регистр состояний, вырабатывающий сигналы, характеризующие результаты стандартных операций в АЛУ (например, результат больше, меньше или равен нулю);

СР - стековый регистр для хранения адреса ячейки памяти фоновой программы при возвращении из подпрограммы;

Сч А - счетчик адреса для выработки адресов ячеек памяти и номеров интерфейсов, к которым обращается МП; разрядность шины адреса 16 бит;

РМК - регистры хранения микрокоманд управления работой МП;

УУ - устройство управления работой МП;

### 1.1.1. Организация памяти МП

Каждая интегральная схема (ИС) памяти содержит строго определенное количество ячеек памяти. Это количество выражается как  $1024 \times 2^n$

где  $n = 0$ -к. Например, 1024, 2048, 4096, 8196 и т. д.

Каждая ячейка памяти запоминает только одну команду разрядностью 8 бит (1байт).

МП, обращаясь к ячейке памяти, посылает по шине адреса адрес этой ячейки памяти. Разрядность ША 16 бит. Разряды ША обозначаются А15-А0 (А0-младший разряд, А15-старший разряд). Максимальный адрес

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических проверок средств измерений

ячейки памяти, к которой МП может обратиться при разрядности ША в 16 бит - 65567.

Если в МПС используются ИС памяти одинакового объема, например в 1024 байта, то каждая ИС памяти содержит адреса ячеек памяти начиная с нуля и кончая 1023 (1023 адреса плюс нулевой адрес). В этом случае каждой ИС присваивают номер тысячи. Например, если в МПС используются четыре ИС памяти объемом по 1024 байта каждая, то всем ИС присваивают следующие номера: 0-я тысяча, 1-я тысяча, 2-я тысяча и 3-я тысяча. Чтобы МП обратился к той или иной ячейке памяти, ему необходимо указать номер тысячи и номер ячейки памяти внутри этой тысячи. Например, необходимо обратиться к ячейке памяти с адресом 96. В этом случае на ША должен поступить адрес 0096, т.е. 0-я тысяча, ячейка памяти 096.

Рассмотрим таблицу адресного поля памяти МПС (табл. 6.1). В верхних частях столбцов указаны разряды шины адреса (A15-A0) и весовые коэффициенты двоичных чисел адресов ячеек памяти (1, 2, 4, 8, 16, 32, 64 и т. д.). В первом столбце указаны номера тысяч. Во втором столбце указаны адреса ячеек. В основном пространстве столбцов с A0 по A15 указаны адреса ячеек памяти в двоичной системе счисления.

Табл. 6.1 Адресное поле памяти МПС

Номер тысячи	Адрес в дес. сис. числ	Адрес в шест. сис. числ	Адрес в двоичной системе счисления															
			A15	A14	A13	A12	A11	A10	A9	A8	A7	A6	A5	A4	A3	A2	A1	A0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
1	1023	03FF	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	1024	400	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	1025	401	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
	1026	402	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
2	2047	07FF	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	2048	800	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	2049	801	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
	2050	802	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
3	3071	0FFF	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	3072	1000	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	3073	1001	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
	3074	1002	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
4095	1FFF	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	

Если в МПС используются ИС памяти объемом 1024 байта каждая, то на каждую ИС памяти заводятся разряды шины адреса с A0 по A9. При этом на каждую ИС памяти поступают адреса, начиная с нулевого и кончая адресом 1023. В этом случае на дешифратор адреса заводятся разряды шины адреса, начиная с A10 и кончая A15, которые характеризуют номера тысяч. Дешифратор адреса включает в работу ту ИС, номер тысячи которой поступил на дешифратор адреса.

Если бы в МПС использовались ИС памяти объемом 2048 байт каждая, то на каждую ИС памяти заводились бы разряды шины адреса с А0 по А10. При этом на каждую ИС памяти поступали бы адреса начиная с 0 и кончая 2047, а на дешифратор адреса поступали разряды с А1 1 по А15. При этом ИС памяти 0-й и 1-й тысяч имели бы адрес 0, ИС памяти 2 и 3 тысяч имели бы адрес 1, ИС памяти 4 и 5 тысяч имели бы адрес 2 и т. д.

#### 1.1.1.1. Динамический запоминающий элемент

На рис. 6.2 показано условное обозначение МДП- транзистора. Буквами *И*, *С* и *З* обозначены, соответственно исток, сток и затвор. Длинная вертикальная черта обозначает подложку (штриховая, если канал индуцированный и непрерывная - если канал встроенный). Маленькая стрелка указывает на тип канала. Если канал типа *n* - она направлена к подложке, а если канал типа *p* - от подложки.



Рис.6.2. Условное обозначение транзистора:

а) - со встроенным n-каналом; б) - с индуцированным n-каналом

Промежуток между истоком и стоком представляет собой аналог электрического контакта. Если на затворе положительное напряжение относительно подложки - контакт замкнут, если отсутствует - разомкнут. Затвор изолирован от подложки тончайшим (доли мкм) слоем окиси кремния. Это значит, что затвор и подложка представляют собой две пластины конденсатора. Поскольку расстояние между пластинами очень мало, емкость такого конденсатора относительно велика. Если приложить к затвору положительное напряжение, а затем отсоединить источник этого напряжения, конденсатор остается заряженным и промежуток исток-сток будет проводящим. Если же замкнуть затвор и подложку, конденсатор мгновенно разрядится и промежуток исток-сток станет непроводящим.

Таким образом, МДП - транзистор способен запомнить тот факт, что к его затвору был подсоединен источник положительного напряжения. Подобная память получила название динамической. Иными словами процесс запоминания - забывания динамичен: он изменяется во времени и это изменение связано с разрядкой конденсатора. Для описания системы одной функции запоминания недостаточно. Полная функция динамического запоминающего МДП элемента, реализующего функции памяти и выбора показан на рис. 6.3. Здесь транзистор  $V_j$  осуществляет функцию запоминания, транзистор  $V_2$  делает выборку при запоминании (записи).

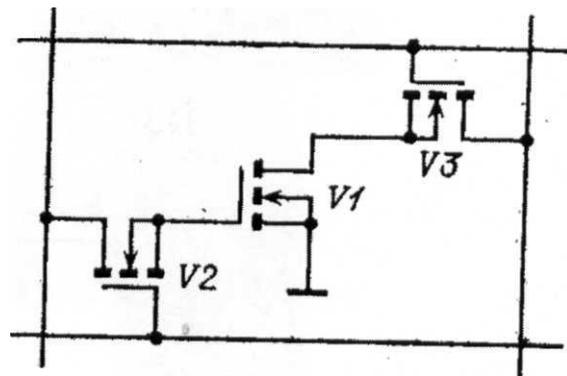


Рис. 6.3. Динамический запоминающий МДП-

Чтобы запомнить, необходимо подать положительное напряжение на провод **"Адресный провод записи"**. При этом затвор транзистора  $V_2$  окажется под положительным напряжением и, следовательно, затвор транзистора  $V_1$  через промежуток исток-сток окажется подсоединенным к проводу **"Запись"**.

Все зависит от того, каково состояние провода **"Запись"**. Если на нем имеется положительное напряжение, затвор транзистора  $V_1$  также окажется под положительным напряжением и это его состояние запомнится (запись  $1$ ).

Если провод **"Запись"** находится под нулевым напряжением, то затвор транзистора  $V_2$  разрядится (запись  $0$ ).

Если же адресный провод записи находится под нулевым напряжением, то состояние запоминающего элемента ( $0$  или  $1$ ) не будет зависеть от состояния провода записи.

Чтобы прочесть то, что записано в динамическом запоминающем элементе (рис. 6.3.) нужно подать положительное напряжение на **"Адресный провод чтения"**. При этом на затворе  $V_3$ , будет положительное напряжение и провод **"Чтение"** окажется подсоединенным к стоку  $V_1$ .

Теперь все зависит от состояния транзистора  $V_1$ . Если он помнит  $1$ , то провод для чтения окажется замкнутым с точкой нулевого потенциала (землей). Если транзистор  $V_1$  помнит нуль, такого замыкания не произойдет.

Динамические запоминающие элементы способны помнить в течение нескольких долей секунды, что является их недостатком.

Для длительного хранения информация периодически должна обновляться с помощью устройств регенерации (из-за чего устройства памяти быстро выходят из употребления).

### 1.1.1.2. Статические запоминающие элементы

Статические запоминающие элементы способны помнить неограниченно долго - до тех пор, пока не будет отключен источник питания. Основу его составляет триггер. Существует множество схем триггера. Рассмотрим схему на так называемых комплементарных транзисторных парах.

На рис. 6.4а приведена структура, у которой подложка выполнена из полупроводника типа  $n$ , а области истока и стока - из полупроводника типа  $p$ . Т.е. промежуток исток-сток проводит электрический ток при отрицательном напряжении на затворе. Такой транзистор (6.4,б) называется транзистором с индуцированным каналом типа  $p$ .

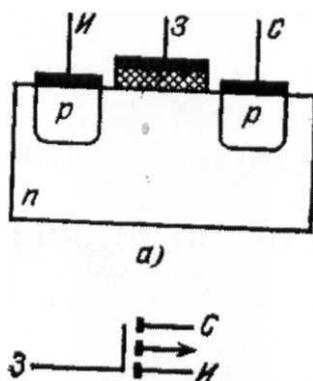


Рис. 6.4. Транзистор с индуцированным каналом типа  $p$  (а) и его условное обозначение (б)

На рис.6.5 показана структура комплементарной пары. Между стоком транзистора  $V_2$  и истоком  $V_1$  включен источник питания.

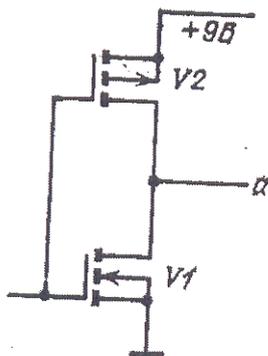


Рис. 6.5. Комплементарная транзисторная пара

Когда на объединенных затворах транзисторов  $V_1$  и  $V_2$  напряжение равно нулю, точку  $a$  можно считать соединенной и источником питания и напряжение на ней будет +9 В.

Действительно, подложка транзистора  $V_2$  соединена через сток с плюсом источника питания. На затворе  $V_2$  нулевое напряжение относительно земли и, следовательно, отрицательное напряжение относительно подложки. Транзистор  $V_2$  проводит, а транзистор  $V_1$  не проводит, т.к. его подложка соединена с истоком (землёй) и на его затворе нулевое напряжение относительно подложки.

Когда на объединенных затворах действует положительное напряжение, точку  $a$  можно считать соединенной с точкой нулевого потенциала (землёй). Напряжения на ней равно нулю ( $V_1$  проводит, а  $V_2$  — не проводит, т.к. на его затворе положительное напряжение относительно земли и нулевое — относительно подложки).

На рис. 6.6 изображены две комплементарные пары. Пусть на затворах транзисторов  $V_1$  и  $V_2$  установилось нулевое напряжение. Тогда точка  $a_1$  находится под напряжением источника и под этим же напряжением находятся затворы транзисторов  $V_3$  и  $V_4$ . Точка  $a_2$  находится под нулевым напряжением и под этим же напряжением находятся затворы транзисторов ( $V_1, V_2$ ). Состояние первой комплементарной пары ( $V_1, V_2$ ) как бы поддерживает такое состояние второй ( $V_3, V_4$ ) которое в свою очередь поддерживает исходное состояние первой пары.

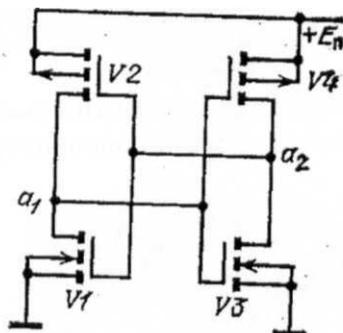


Рис. 6.6. Схема триггера

Триггер может находиться в одном из двух симметричных состояний, при этом энергия в цепи источника питания не потребляется. Энергия потребляется только в моменты переключения (несколько десятков наносекунд).

Полная схема запоминающего устройства на рис. 6.7. Здесь транзисторы  $V_1$ - $V_4$  - составляют схему триггера.

Если  $V_j$  - запоминающий транзистор  $V_2$ - $V_4$  - служат для поддержания транзистора  $V_i$  в одном из двух возможных состояний: проводящем (**1**) и непроводящем (**0**).

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

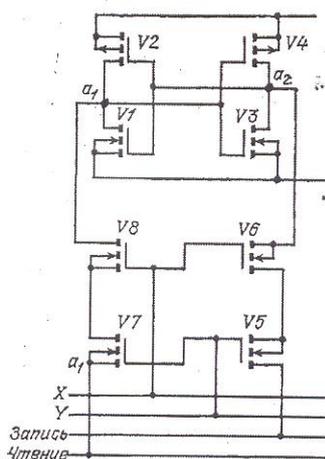


Рис. 6.7. Статический запоминающий элемент

Транзисторы V5-V6 выполняют ту же функцию что и V2 на рис. 6.3. Когда на затворы обоих транзисторов поданы положительные напряжения, точка a2 триггера соединяется с проводом записи. При наличии на этом проводе положительного напряжения триггера запоминает 1, а при наличии нулевого напряжения - 0. Транзисторы V7 и V8 играют ту же роль, что и V3 на рис. 6.3. При наличии положительных напряжений на затворах обоих этих транзисторов точка a1 триггера соединяется с проводом чтения. Если триггер помнит 1, провод чтения оказывается замкнутым на землю, а если помнит 0, провод чтения оказывается замкнутым на положительный полюс источника питания. Провода, обозначенные буквами X и Y, должны быть под положительным напряжением при осуществлении операций записи или чтения. Если хотя бы на одном из них наполнение равно нулю, данный запоминающийся элемент оказывается отключенным от внешней цепи. На рис. 6.8. - условное обозначение статического запоминающего элемента. Это означает, что нас будет интересовать не электрическая схема элемента, а только его функции, однозначно определяющиеся состоянием проводов X, Y, "Чтение" и "Запись".

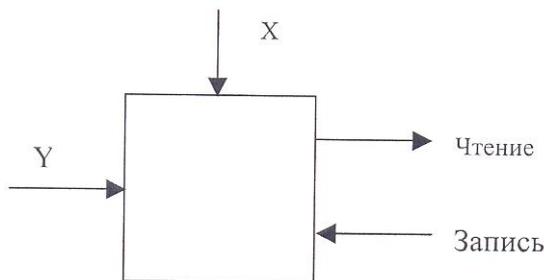


Рис. 6.8. Условное обозначение статического запоминающего

### 1.1.1.3. Оперативные запоминающие устройства (ОЗУ)

Рассмотренный статический запоминающий элемент состоит из восьми транзисторов. Нет никакого смысла изготавливать его в виде отдельного компонента. Экономически оправданным оказывается изготовление микросхем, содержащих не менее 1000 запоминающих элементов.

Пусть имеется кристалл (полупроводниковая пластинка), содержащий 1000 элементов. Провода "Чтение" всех 1000 элементов можно соединить и сделать общий вывод, поскольку при отсутствии напряжения хотя бы на одном их проводов X и Y провода "Запись" и "Чтение" оказываются изолированными от всей схемы запоминающего устройства. В любом случае вывод "Чтение" окажется подсоединенным только к выбранному элементу, т.е. к тому, у которого имеется положительное напряжение одновременно на входах X и Y. Все это справедливо для проводов записи всех элементов.

Провода X и Y нельзя соединять. Изготавливать микросхемы с 20000 выводов - нереально. Как обеспечить выбор одного лишь запоминающего элемента? Для этого используется дешифраторы.

На рис. 6.9а представлен переключательный элемент, состоящий из транзистора V2 с индуцированным каналом типа п и подложкой, соединенной с истоком, а другой V1 с индуцированным каналом типа р и подложкой, соединенной со стоком.

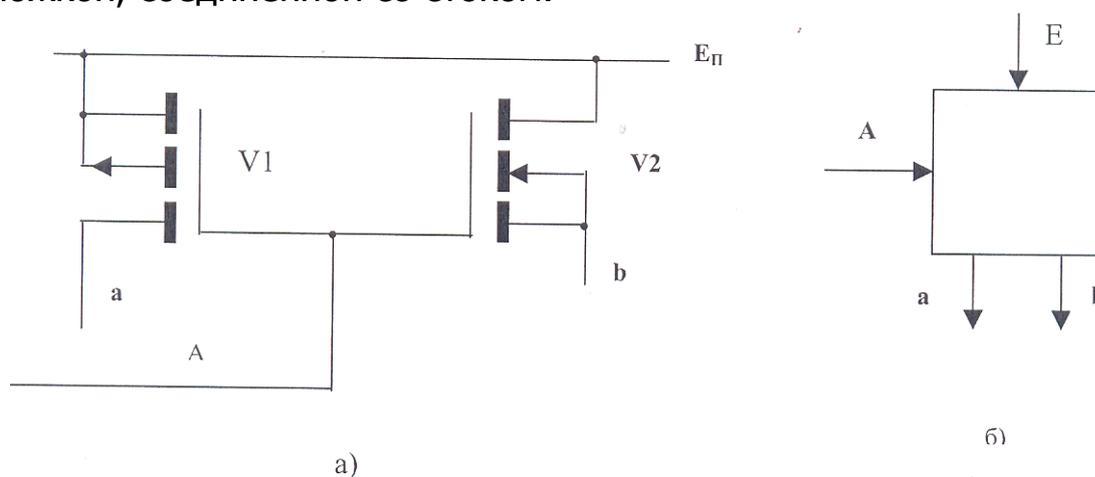


Рис. 6.9. Переключательный элемент (а) и его условное обозначение (б)

Стоки обоих транзисторов подсоединены к источнику питания, а истоки представляют собой выходы схемы, обозначенные буквами а и б. Затворы обоих транзисторов соединены и являются входом схемы, обозначенным буквой А.

Если на входе схемы напряжение высокого уровня, с источником питания соединен выход В, а если напряжение низкого уровня, то с источником питания соединен выхода.

На рис. 6.10 каждый квадратик представляет собой схему, показанную на рис. 6.9. Если на входе А4 действует 1 - к источнику питания оказывается подключенной правая часть схемы (отделена штриховой линией).

Если на А4 действует 0 - подключена левая половина. При комбинации 00000 - подключен выход, помеченный цифрой 0 и на этом выходе будет действовать положительное напряжение.

При комбинации 11111 - на выходе 31 положительное напряжение. Подобная схема называется **дешифратором**.

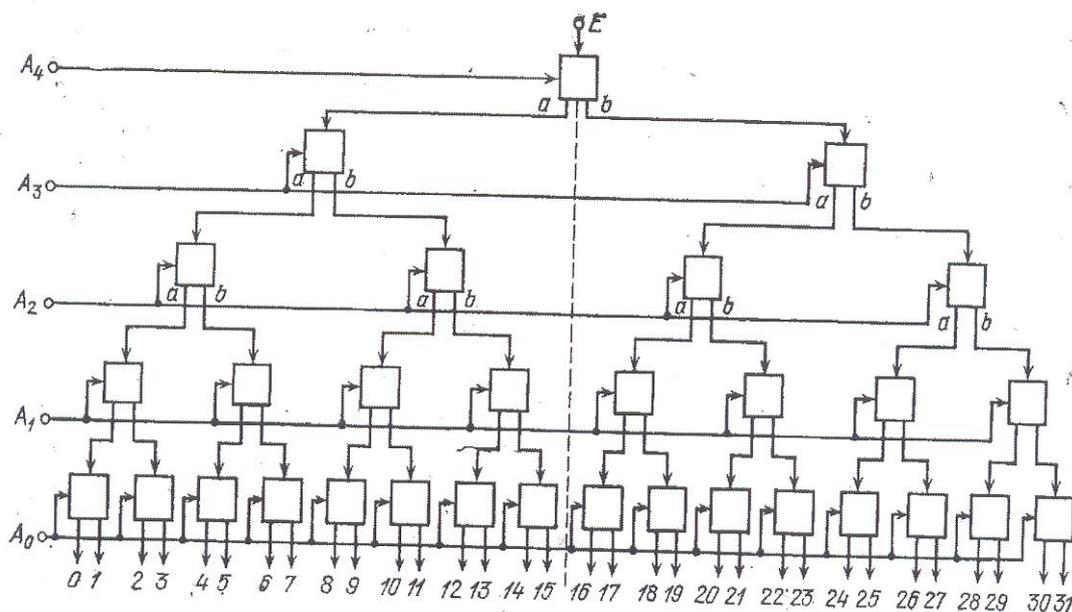


Рис. 6.10. Схема дешифратора

Дешифратор позволяет выбрать один из 32 проводов, задавая комбинацию на 5-ти входах. На рис. 6.11 приведено условное обозначение дешифратора.

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний, метрологических поверок средств измерений

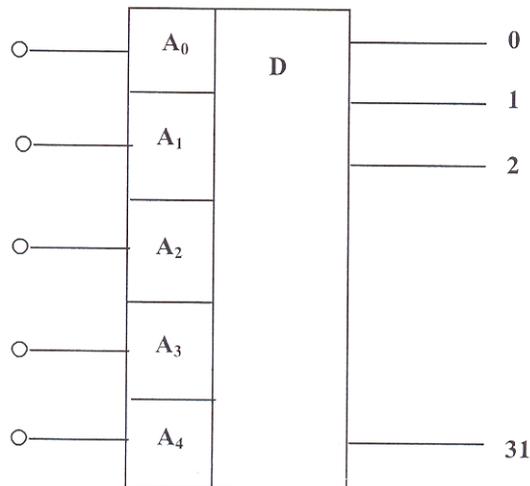


Рис. 6.11. Условное обозначение дешифратора

На рис. 6.12 приведена функциональная схема модуля ОЗУ. Она содержит 1024 статических запоминающих элемента ЗЭ<sub>0</sub> - ЗЭ<sub>1023</sub>. Выводы "Чтение" и "Запись" всех элементов соединены и подключены к соответствующим выводам.

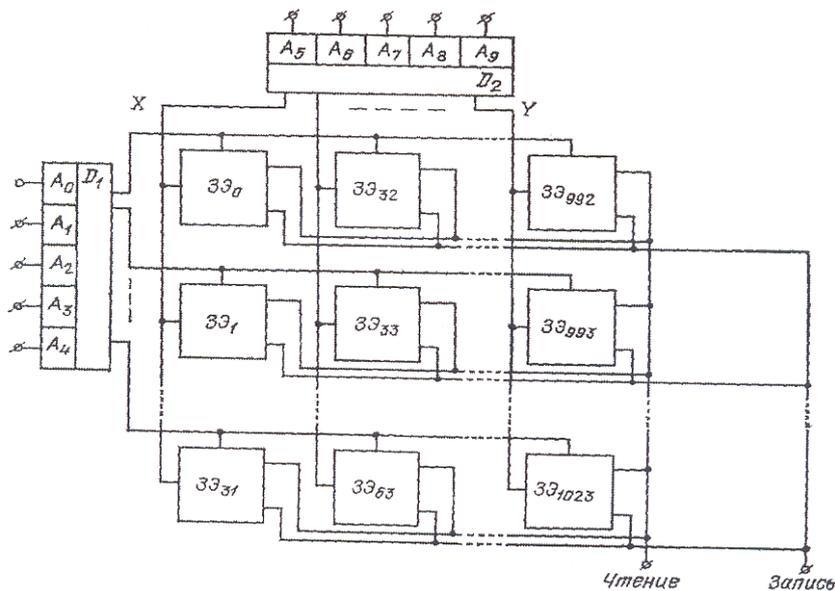


Рис. 6.12. Функциональная схема модуля ОЗУ К537РУ1

Иначе дело обстоит с выводами X и Y. Выводы Y объединяются для каждого столбца и подсоединяются к выводам дешифратора D2. Выводы X объединяются в пределах каждой строки и подсоединяются к выводам Di.

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

Пусть на входах  $A_5 - A_9$  дешифратора действует некоторая комбинация 01010 - на 11 слева выходе дешифратора D2 появится положительное напряжение.

Это напряжение будет действовать на входах  $У$  всех запоминающих элементов 11-го слева столбца матрицы. Предположим, что на входах  $A_0 - A_4$  действует комбинация 01101 - при этом положительное напряжение появится на 14 сверху выходе дешифратора и будет действовать на всех входах  $X$  14-ой сверху строки.

Таким образом, среди всех элементов матрицы окажется один, расположенный на пересечении 11-го слева столбца и 14-й сверху строки. Для выбора одного из 1024 элементов нужно задать комбинацию положительных и нулевых напряжений на десяти входах  $A_0 - A_9$ . (микросхема 537РУ1). Емкость в 1024 (1024 бит) далеко не предел.

Каждая микросхема памяти представляет собой основную структурную единицу ОЗУ. Оперативными они названы потому, что сохраненные в них данные можно в любой момент изменить, затрачивая на это сотни и даже десятки наносекунд.

На рис. 6.13 - структура ОЗУ, состоящая из 10 микросхем, входы которых  $A_0 - A_9$  соединены параллельно. Такая совокупность позволяет на выходах "Чтение" и "Запись" получать 10 бит (длина слова). Т. о. ОЗУ - совокупность запоминающих ячеек, каждая из которых характеризуется своим адресом. Невыгодно иметь длину слова в ОЗУ больше, чем 32 бита. Алгоритм просмотра расположения слов в ячейках реализуется организацией **стеков**.

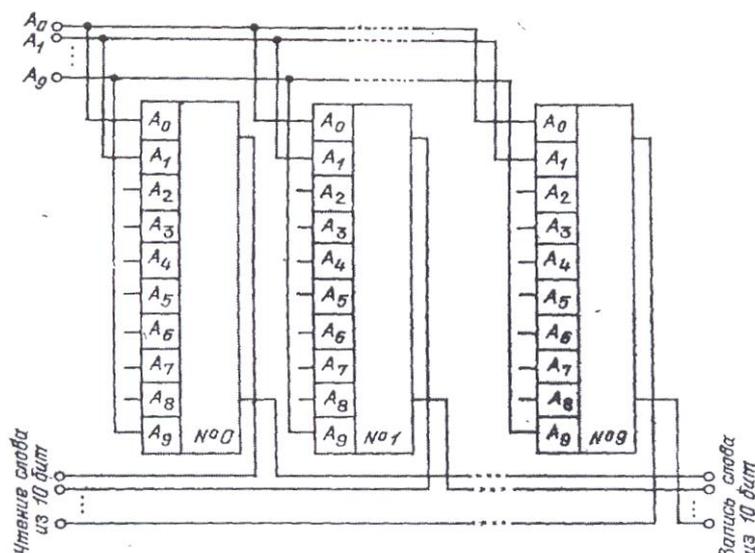


Рис. 6.13. Структурная схема ОЗУ

1.1.1.4. Постоянные запоминающие устройства (ПЗУ)

Основная идея построения ПЗУ весьма простая (рис. 6.14). Имеются набор горизонтальных (адресных) и вертикальных (разрядных) проводов. Число разрядных проводов соответствует числу разрядов (бит) в запоминаемых словах (чаще 8 или 16). Число адресных равно объему памяти или емкости модуля ПЗУ. Пусть на горизонтальный провод "Слово 1" подано положительное напряжение. На остальные горизонтальные провода - не подается. Аноды всех диодов, подсоединенных к этому проводу, окажутся под положительным напряжением, т.е. способны проводить электрический ток. Следовательно, на всех вертикальных проводах, соединенных с горизонтальным проводом "Слово 2" установится такое же напряжение (т.е. на вертикальных проводах 1,2,4 и 5). Следовательно, в ПЗУ можно прочитать 8- разрядное слово 01101100.

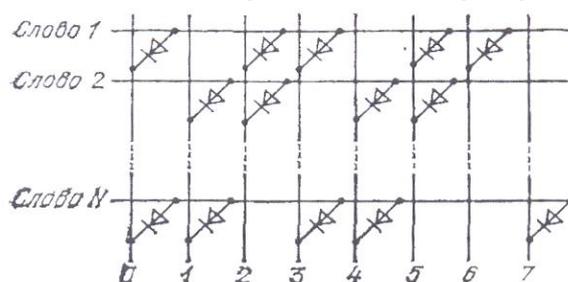


Рис. 6.14. Схема ПЗУ

Когда на каком-либо вертикальном проводе устанавливается положительное напряжение, катоды всех остальных диодов, подсоединенных к этому проводу, оказываются так же под напряжением. Следовательно, они не проводят электрический ток и не участвуют в работе ПЗУ.

Первичную информацию в ПЗУ записывают в процессе изготовления и выпускают ПЗУ с уже записанной информацией. В ПЗУ могут быть записаны: рекомендации по выбору наилучших режимов работы, программы работы станков с ЧПУ, справочные данные.

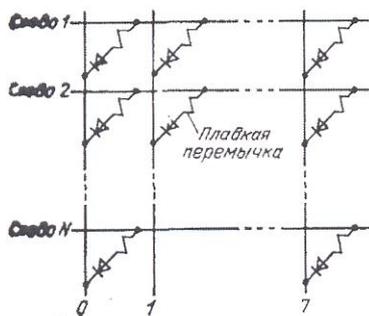


Рис. 6.15 Схема ПЗУ с плавкими

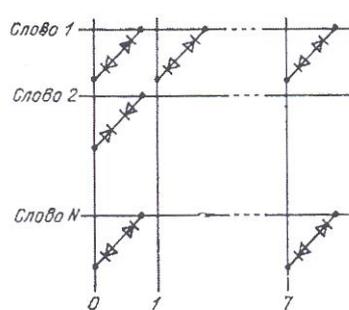


Рис. 6.16 Схема ПЗУ с цепочками из двух диодов

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

Первый способ иллюстрирует схема на рис. 6.15 - диоды расположены во всех без исключения точках пересечения вертикальных и горизонтальных проводов; последовательно с каждым диодом включена плавкая перемычка.

В ПЗУ с плавкими перемычками записываются нули. Для этого между адресным проводом данного слова и вертикальным проводом того разряда, в котором в данном слове имеется ноль, прикладывается большая разность напряжений и выжигается плавкая перемычка. Диоды, оставшиеся подключенными, соответствуют единицам.

Второй способ - на рис. 6.16. Здесь во всех без исключения точках пересечения проводов включены пары диодов. В каждой паре диоды включены навстречу другу. Такая цепь не проводит тоже ни в одном из возможных направлений.

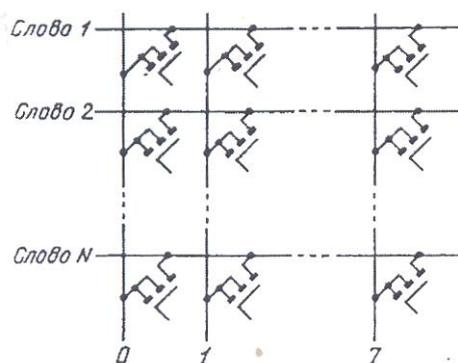


Рис. 6.17. Схема ПЗУ

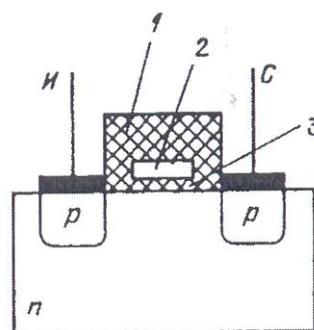


Рис. 6.18. Структура МДП-транзистора с плавающим затвором:  
1- толстый слой SiO<sub>2</sub>; 2-затвор; 3- тонкий слой SiO<sub>2</sub>

В ПЗУ подобного типа в момент выпуска его записаны одни нули. Для записи единицы в данный разряд данного слова между вертикальным и горизонтальным проводом прикладывается большая разность напряжений. Тот из двух диодов, который оказывается смещенным в обратном направлении, пробивается и в дальнейшем представляет собой электрическое соединение. ПЗУ - позволяют многократно записывать информацию. В точках пересечения - транзисторы с плавающим затвором. Запись единиц осуществляется приложением напряжения (около 80 В). Стирание осуществляется облучением ультрафиолетовым светом или рентгеновскими лучами.

*Вопросы для самоконтроля усвоения знаний:*

1. Каким образом реализуются алгоритмы?
2. Поясните структурную схему МП. Как осуществляется выполнение операций обработки, обмена и хранения информации?

3. Поясните принцип записи и чтения информации на примере динамического запоминающего элемента.
4. Поясните структурную схему и принцип действия статического запоминающего элемента. Как организуется оперативная память?
5. Приведите структурные схемы ПЗУ и ППЗУ. В чем их отличие от ОЗУ и каковы принципы построения и особенности изготовления?
6. Перечислите факторы, влияющие на показатели качества и МХ базовых элементов.

## 2. Методы и средства программирования

При составлении программ для ПК используется язык Ассемблер, в котором машинные коды выражаются в шестнадцатеричной системе счисления (ШСС), а команды близкие по функциональному назначению объединяются в группы и обозначаются специальными символами-мнемокодами. При вводе программы в ПК команды из шестнадцатеричной системы счисления вновь переводятся в двоичную систему счисления. Мнемокоды и шестнадцатеричная система счисления служат лишь для написания программ, помогая программисту в ее составлении и прочтении.

ШСС образуется из двоичной системы счисления путем разбиения двоичного числа на группы по четыре бит и замены каждой группы числами, выраженными в ШСС. Десятичные числа 10, 11, 12, 13, 14 и 15 обозначаются латинскими буквами А, В, С, D, E и F.

*Дес. сис. счисл. (В) 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15*

*ШСС(Н) 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, А, В, С, D, E, F.*

*По назначению команды делятся на пять групп: команды пересылок, арифметико-логические команды, команды ввода-вывода, команды управления и специальные команды.*

*Типичным примером команды однобайтовой пересылки служит команда межрегистровой пересылки, мнемонический код которой имеет вид:*

*MOV RI, R: R → RI.*

*MOV RI, R - это родовое имя целой группы операций, отличающихся друг от друга конкретными регистрами, между которыми осуществляется пересылка.*

### Пересылка информации между А и РОН

<i>MOV BA</i>	<i>47</i>	<i>A → B</i>
<i>MOV DA</i>	<i>57</i>	<i>A → D</i>
<i>MOV CA</i>	<i>4F</i>	<i>A → C</i>
<i>MOV EA</i>	<i>5F</i>	<i>A → E</i>

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических проверок средств измерений

<i>MOV AB</i>	<i>78</i>		<i>B → A</i>
<i>MOV AC</i>	<i>79</i>	<i>C → A</i>	
<i>MOV AD</i>	<i>7A</i>	<i>D → A</i>	
<i>MOV AE</i>	<i>7B</i>	<i>E → A</i>	

Всего в составе набора имеется 63 команды типа *MOV*. К семейству операций пересылок относится также команда, мнемокод которой имеет вид:

*MVIR, D:D8 → R.*

Символ *D8* означает, что сама команда имеет двухбайтовый формат. Смысл всего семейства операций означает, что операнд *D8*, т.е. содержимое второго байта команды, передается в регистр, имя которого стоит на месте символа *R*. Всего таких команд восемь. Они позволяют записать операнд в любой из *POH* в ячейку памяти, адрес которой хранится в регистровой паре *HL*, или в регистр-аккумулятор.

Ввод информации в *A* и *POH*

<i>MVIA</i>	<i>3E</i>	<i>D8 → A.</i>
<i>MVIB</i>	<i>06</i>	<i>D8 → B.</i>
<i>MVIC</i>	<i>0E</i>	<i>D8 → C.</i>
<i>MVID</i>	<i>16</i>	<i>D8 → D.</i>
<i>MVIE</i>	<i>IE</i>	<i>D8 → E.</i>

Группа команд арифметических и логических операций делится на четыре подгруппы (операции с одним операндом, с двумя операндами, операции

сложения над двумя 16-разрядными двоичными числами и операции сдвига содержимого регистра результатов).

Примеры мнемокодов арифметико-логических команд:

*ADD R: A + R → A;* - сложение двух чисел.

*SUB R : A - R → A;* - вычитание одного числа из другого.

*IRN R : R + 1 → R;* - увеличение на единицу соответствующего числа.

Сдвиг числа в *A*

Сдвиг чисел на один бит влево обеспечивает умножение сдвинутого числа на 2.

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

*Сдвиг числа на один бит вправо обеспечивает деление этого числа на 2.*

*Сдвиг влево                    RLC            07*  
*Сдвиг вправо                RRC            0F*

*Условные переходы применяются для ветвления программы. Они осуществляются только после выполнения арифметических или логических операций.*

*Если указанное в команде условие выполняется, то происходит переход программы по указанному адресу. Если указанное в команде условие не выполняется, то МП пропускает команду условного перехода и продолжает программу.*

Режимы работы

<i>Символы команд</i>	<i>Функциональное назначение</i>
<b>DBIN</b>	<i>Чтение информации из олоков МПК и ввод в МП</i>
<b>WR</b>	<i>Запись во внешнее устройство</i>
<b>INTE</b>	<i>МП готов к обмену информацией</i>
<b>WATT</b>	<i>Внешнему устройству следует ожидать</i>
<b>HOLD</b>	<i>ША и ШД должны быть закрыты</i>
<b>RESET</b>	<i>Сброс на нуль информации</i>
<b>INT</b>	<i>Запрос на обмен информацией</i>
<b>SYNC</b>	<i>Признак начала машинного цикла</i>
<b>READY</b>	<i>Внешнее устройство готово к обмену информацией</i>

Пример : *Сложить два числа: 2+5.*

- 1. Для запоминания команды "Ввести в А МП" используем ячейку памяти с адресом 2048.*
- 2. Для запоминания самого числа 2 используем ячейку памяти с адресом 2049.*
- 3. Для запоминания команды "Ввести в РОН В" используем ячейку памяти с адресом 2050.*
- 4. Для запоминания самого числа 5 используется ячейка памяти с адресом 2051.*
- 5. Для запоминания команды "Сложить содержимое А и РОН В" используем ячейку памяти с адресом 2052.*

*В машинных кодах программа будет иметь вид:*  
*1)0000.1000.0000.0000.    0011.1110.                    Ввести в А МП;*

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

2)0000.1000.0000.0001.	0000.0010.	Число 2;
3) 0000.1000.0000.0010.	0000.0110.	Ввести в РОН В МП;
4)0000.1000.0000.0011	0000.0101.	Число 5;
5) 0000.1000.0000.0100	1000.0000.	Сложить А и РОН В.

На языке Ассемблер эта программа будет иметь

вид:

1) 0800	3E	Ввести в А МП;
2)0801	02	Число 2;
3) 0802	06	Ввести в РОН В МП;
4) 0803	05	Число 5;
5) 0803	80	Сложить содержимое А и РОН В,

где 3E, 06 и 80 - команды управления работой МП, 02 и 05 - вводимые числа.

Вопросы для самоконтроля усвоения знаний:

1. Какие вы знаете системы счисления, коды, используемые в аналого-цифровых и цифроаналоговых преобразователях?
2. Как осуществляется перевод числа в двоичный, шестнадцатеричный и двоично-десятичный коды?
3. Программирование МП на языках низкого и высокого уровня.
4. Назначение, основные функции и состав операционных систем МП.
5. Как осуществляется программирование арифметических операций на МП?

## Лекция по теме №3.4.1. Метрологические стенды для поверки/калибровки приборов уровня

### ВОПРОСЫ

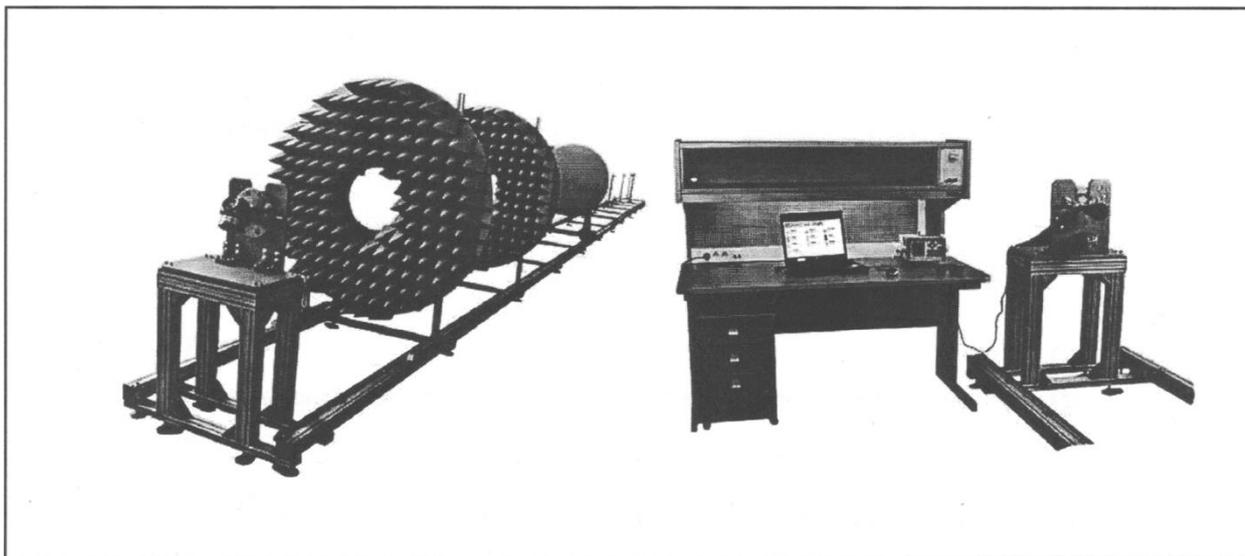
1. Общий вид стенда приборов уровня, комплекты оборудования.
2. Стенды для учебных заведений и центров повышения квалификации, назначение. Примеры комплектации и возможностей учебных стендов и комплектов.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Каталог – метрологическое обеспечение. М.: ПГ Метран. 2015г. с.31-34.
2. Метрологическое обеспечение. М.: ПГ Метран. 2015г.

### 1. Общий вид стенда приборов уровня, комплекты оборудования

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений



- Комплект оборудования для поверки радарных и волноводных уровнемеров:
- стенд для установки поверяемых уровнемеров;
- эталонные средства измерений (лазерный дальномер, мультиметр);
- диск;
- стол рабочий;
- персональный компьютер;
- система натяжения зонда (только для волноводных уровнемеров)
- Комплект оборудования для поверки буйковых уровнемеров:
  - стойка;
  - подвеска;
  - комплект грузов и навесок;
  - источник постоянного тока;
  - мегаомметр;
  - весы электронные;
  - вспомогательное оборудование (переходные фланцы, ключи шестигранные и др.)

др.)

Состав и характеристики комплекта для поверки уровнемеров определяется при его проектировании. Для поверки буйковых уровнемеров предлагается применение комплекта оборудования, действие которого основано на имитации веса буйка. Набор грузов и навесок подбирается индивидуально, т.к. зависит от массы буйка уровнемера, а также условий его эксплуатации (плотность измеряемой среды, местное ускорение свободного падения). Стойка и подвеска изготавливаются индивидуально под каждый тип уровнемера.

Для заказа стенда необходимо направить запрос в ближайшее региональное представительство ПГ Метран или на единый электронный адрес Центра поддержки заказчиков CIS-Support@emerson.com или на факс (351) 247-16-67 с указанием Ваших контактных данных. К запросу приложить перечень поверяемых уровнемеров с

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

указанием моделей и технических характеристик для каждого уровнемера и типы измеряемых сред.

**2. Стенды для учебных заведений и центров повышения квалификации, назначение. Примеры комплектации и возможностей учебных стендов и комплектов**

Метрологические стенды и комплекты оборудования для учебных заведений и центров повышения квалификации предназначены для организации учебного процесса:

- ❖ изучение устройства, принципов работы приборов и средств автоматизации: датчиков давления, температуры, расхода, уровня, вторичных приборов, блоков питания, регулирующих клапанов, штангенциркулей, микрометров и т.п.;
- ❖ изучение методов и средств поверки, калибровки и настройки приборов;
- ❖ обучение работе с эталонами (калибраторы, эталоны давления, прецизионные мультиметры и др.);
- ❖ обучение работе с устройствами для настройки интеллектуальных приборов на базе цифровых протоколов HART и FOUNDATION Fieldbus (коммуникаторы, модемы);
- ❖ изучение беспроводных технологий (полевой уровень, сеть управления), устройства, принципов работы и настройки беспроводных датчиков;
- ❖ обучение работе с программными обеспечениями указанных приборов и оборудования (настройка приборов, формирование протоколов поверки/калибровки и т.д.).

*Внимание! Комплекты оборудования формируются по заявке учебного заведения. По желанию заказчика поставляются учебные пособия (лабораторные работы) и проводится обучение преподавателей работе с приборами.*

**Примеры комплектации и возможностей учебных стендов и комплектов**

Стенды и комплекты оборудования формируются в зависимости от учебных целей, задач, темы и объема лабораторных работ по заявке учебного заведения. Стенды из разделов I, II, III можно изготовить универсальными, тогда на любом из них можно провести все лабораторные работы, предусмотренные для каждого из них.

**I. Стенд для изучения приборов давления, разрежения, давления-разрежения (рис. 1)**

Изучение:

- устройства и принципа действия манометров, тягонапорометров вакуумметров, и т.п.;
- преобразователей давления с пневматическим выходным сигналом;

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

- способов и средств их поверки.

**II. Стенд для изучения приборов давления, разрежения, давления-разрежения (рис.2)**

Изучение:

- устройства и принципа действия преобразователей давления с унифицированными и цифровыми выходными сигналами;
- способов и средств их настройки и поверки (калибраторы и т.п., HART-устройства).

**III. Стенд для изучения приборов измерения температуры (рис.3)**

Изучение:

- устройства и принципа действия преобразователей температуры с естественными, унифицированными и цифровыми выходными сигналами;
- устройства и принципа действия пирометров;
- способов и средств их настройки и поверки датчиков температуры (калибраторы и т.п., HART-устройства).

**IV. Стенд для изучения функциональной и вторичной аппаратуры (рис.4)**

Изучение:

- устройства принципа действия вторичных приборов, измерительных (нормирующих) преобразователей и функциональной аппаратуры;
- способов и средств настройки и поверки вторичных приборов и преобразователей (калибраторы и т.п.);
- изучение особенностей работы с оборудованием, предназначенным для применения во взрывоопасных зонах.

**V. Стенд для изучения приборов измерения уровня (рис.5)**

Изучение:

- устройства и принципа действия радарных (бесконтактных) и волноводных (контактных) уровнемеров; сигнализаторов уровня;
- способов и средств настройки уровнемеров (HART-устройств).

**VI. Стенд для изучения приборов расхода (рис.6)**

Изучение:

- устройства и принципа действия сужающих устройств (различные диафрагмы, трубка Annubar - аналог трубки Пито); расходомеров на базе трубки Annubar (измерение расхода по методу переменного перепада давлений);
- способов и средств настройки расходомеров (HART-устройства).

**VII. Стенд для изучения регулирующей и запорной аппаратуры (рис.7)**

Изучение:

- устройства и принципа действия клапана Fisher GX;
- настройка и показание работы клапана Fisher GX с помощью HART-модема Метран-682 и ПО PROLINK калибратора давления Метран-515 и стенда СПК.

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений



Рис.1.

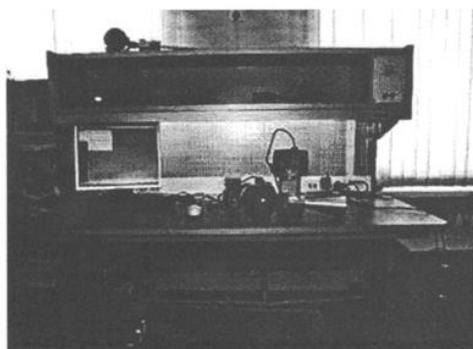


Рис.5.



Рис.2.

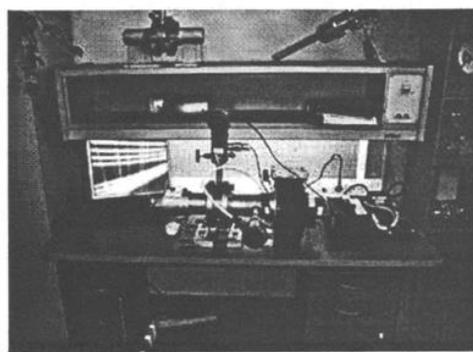


Рис.6.



Рис.3.



Рис.7.



Рис.4.

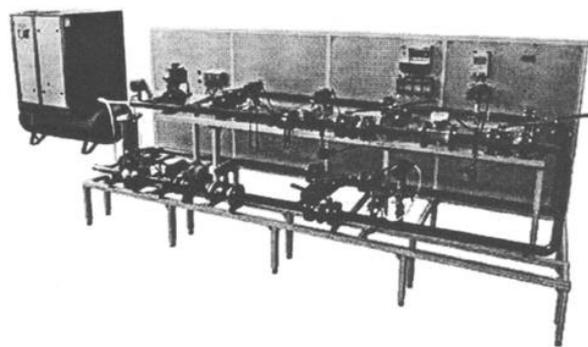


Рис.8.

**VIII. Комплект для изучения приборов для линейно-угловых измерений**

- Изучение устройства и принципа действия оборудования для измерения длин, углов и диаметров отверстий (штангенциркули, рулетки, меры и т.п.).
- Выполнение измерений с помощью оборудования для линейно-угловых измерений.

**IX. Комплект оборудования для организации методического обучения**

Планшеты, мультимедийный проектор, компьютер, доска и т.д.

**X. Стенды-тренажеры, имитирующие работу реально-действующих установок (рис. 8)**

Тренажер для изучения настройки, работы, поиска и устранения неисправностей для различных технологических процессов.

**Внимание!**

Специалисты ПГ "Метран" оказывают помощь и консультации при выборе состава стендов.

Для заказа учебного стенда необходимо составить перечень необходимых для учебного процесса лабораторных работ или указать необходимые для изучения приборы и направить запрос в ближайшее региональное представительство ПГ Метран.

Контакты региональных представительств см. на обложке каталога или на сайте [www.metran.ru](http://www.metran.ru)

## **ЛЕКЦИЯ ТЕМА №3.5 «АВТОМАТИЧЕСКИЕ И АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ ИЗМЕРЕНИЙ»**

### **ВОПРОСЫ**

1. Автоматизированные средства измерений с одно- и двукратным сравнением.
2. Автоматические средства с адаптацией чувствительности; с частотно-импульсным преобразованием.

### **ЛИТЕРАТУРА**

1. Парахуда Р.Н., Шевцов В.И. Автоматизация измерений и контроля: Письменные лекции. – СПб., СЗТУ, 75 с.

### **1. Автоматизированные средства измерений с одно- и двукратным сравнением**

*Рассмотрим структурные схемы автоматических СИ, иллюстрирующие применение основных классических методов преобразования, в которых в качестве чувствительных элементов используются терморезисторы (термисторы), т.к. они могут быть применены для преобразования большого количества физических величин (мощности СВЧ, температуры, объем потоков жидкостей и газов, напряжение и т.д.).*

Их недостатки: инерционность, нелинейность характеристик, разброс параметров.

Под действием на терморезистор любой физической величины, изменяющей условие теплообмена, изменяется рассеиваемая на нем мощность. Поэтому в качестве входной величины  $X$  выбрана мощность  $P_x$ .

### **1.1. Средства измерений с однократным сравнением**

Рассмотрим автоматические СИ, построенные на основе самобалансирующих мостов схем (СБМ), представляющих собой замкнутую систему автоматического регулирования, состоящую из измерительной мостовой схемы с терморезистором в одном из плеч и усилителя разбаланса моста.

В основу автоматического измерительного устройства с однократным сравнением (рис. 8.1) положен принцип, заключающийся в сравнении предварительного запомненного результата преобразования сигнала  $P_x$  с результатом преобразования замещающего сигнала в виде мощности, подаваемой на терморезистор от источника напряжения постоянного тока. В момент фиксации нулевого значения разности измеряется значение последнего, определяющего значение входного сигнала.

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний, метрологических поверок средств измерений

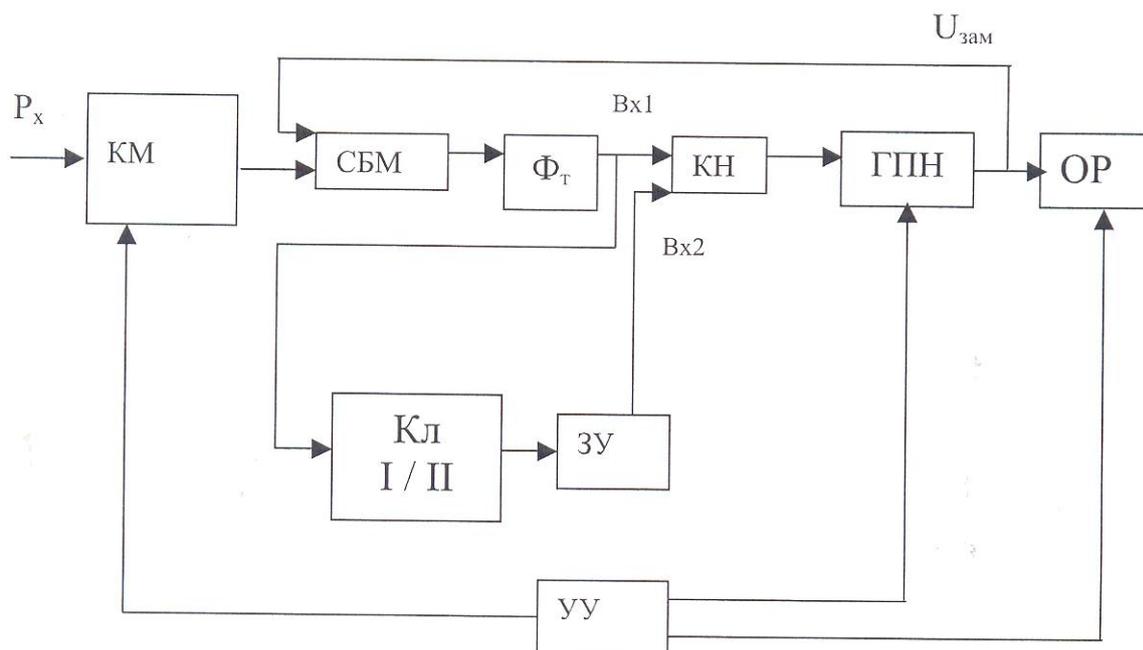


Рис. 8.1. Структурная схема автоматического измерительного устройства с однократным сравнением

КМ - коммутатор, СБМ - самобалансирующаяся мостовая схема, ФТ - выпрямитель с фильтром, КН - компаратор напряжения, ОРУ - отсчетно-регистрирующее устройство, УУ -управляющее устройство, Кл - ключ.

Измеряемый сигнал  $P_x$  через КМ поступает на терморезистор  $R_\delta$  СБМ переменного тока. По окончании переходных процессов на выходе ФТ устанавливается некоторый уровень постоянного напряжения  $U_1$  фиксируемый ЗУ, выход которого подключен к одному из входов КН.

В момент времени  $t_1$  УУ вырабатывает сигналы на коммутатор и Кл, что обеспечивает прекращение подачи  $P_x$  на терморезистор и отключение ЗУ от ФТ.

Это приводит к резкому возрастанию амплитуды колебания напряжения в СБМ и выходного напряжения фильтра до  $U_2$ . Спустя  $\Delta t$ , определяемый переходным процессом, УУ запускает ГПН, выходное напряжение которого  $U_{\text{зам}}$  (замещение) подается на  $R_\delta$ , уменьшая амплитуду колебаний напряжения в СБМ и напряжение на выходе фильтра, до момента времени  $t_2$  равенства напряжений на обоих входах КН.

В момент  $t_2$  срабатывает КН и прекращается изменение напряжения ГПН. Одновременно  $U_{\text{зам}}$  фиксируется ОРУ. При этом мощность входного сигнала

$$P_X = K_0 U_{\text{зам}}^2 ,$$

где  $K_0$  - коэффициент преобразования замещающего напряжения  $U_{\text{за}}^*$  в мощность, рассеиваемую на  $R_{\text{д}}$ , определяемый значением проводимости электрической цепи между ГПН и  $R_{\text{д}}$ .

Анализ приведенной структурной схемы установил, что отклонение выходного сигнала измерительного устройства от входного обусловлена:

- несовершенством ЗУ ( $\Delta U_{\text{зо}}$ );
- порогом срабатывания КН ( $\Delta U_{\text{êí}}$ );
- инерционностью преобразовательного тракта (СБМ, ФТ);
- временем срабатывания компаратора ( $\Delta t_{\text{êí}}$ );
- несовершенством ОРУ ( $\Delta U_{\text{âüð}}$ ).

Поскольку быстродействие КН выше быстродействия измерительного устройства составляющими  $\Delta t_{\text{êí}}$  и  $\Delta U_{\text{âüð}}$  можно пренебречь. Существенное уменьшение влияния  $\Delta U_{\text{êí}}$  и  $\Delta U_{\text{зо}}$  на точность измерения обеспечивает метод двукратного сравнения (рис. 8.2).

## 1.2. Средства измерений с двукратным сравнением

Входной сигнал  $R_x$  подается через  $K_m$  на СБМ, при этом на выходе фильтра устанавливается напряжение  $U'_{\text{ôð1}}$  (момент времени  $t_1$ ). Спустя промежуток времени  $\Delta t = t_2 - t_1$ , определяемый постоянной времени  $t_{\text{êíð}}$  в режиме апериодического усиления, на выходе интегратора устанавливается напряжение  $U'_{\text{ôð2}}$ , несколько меньшее  $U'_{\text{ôð1}}$ . По окончании времени задержки  $t_{\text{íð}} = \Delta t$ , необходимой для формирования начальных условий интегратора (т.е. установления на его выходе напряжения  $U'_{\text{ôð2}}$ ), Инт переводится из режима апериодического усиления в режим интегрирования (момент времени  $t_2$ ). На его второй вход с источника опорного напряжения (ИОН) подается некоторый уровень отрицательного напряжения, вызывающий на выходе Инт линейное изменение напряжения.

В момент времени  $t_1$ , когда выходное напряжение Инт достигнет значения

$$U_{\text{êíð}}(t) = U'_{\text{ôð1}} - \Delta U_{\text{êí}} = U_{\text{êíð}}^*$$

срабатывает компаратор, при этом устройство управления УУ осуществляет следующие операции:

- переводит  $U_{\text{êíð}}$  в режим "памяти", отключая ИОН;

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний, метрологических поверок средств измерений

- прекращает подачу сигнала  $P_x$  с помощью  $K_m$  ;
- включает ГПН, формирующий мощность замещения.

Под действием возрастающей замещающей мощности  $P_{\text{за}}(t)$  будет уменьшаться выходное напряжение фильтра  $U_{\text{од}}$  до тех пор, пока не достигнет (в момент времени  $t_4$ ) значения:

$$U_{\text{од}}(t) = U_{\text{эф}} + \Delta U_{\text{эф}} .$$

Компаратор срабатывает вторично и УУ прекращает изменение выходного

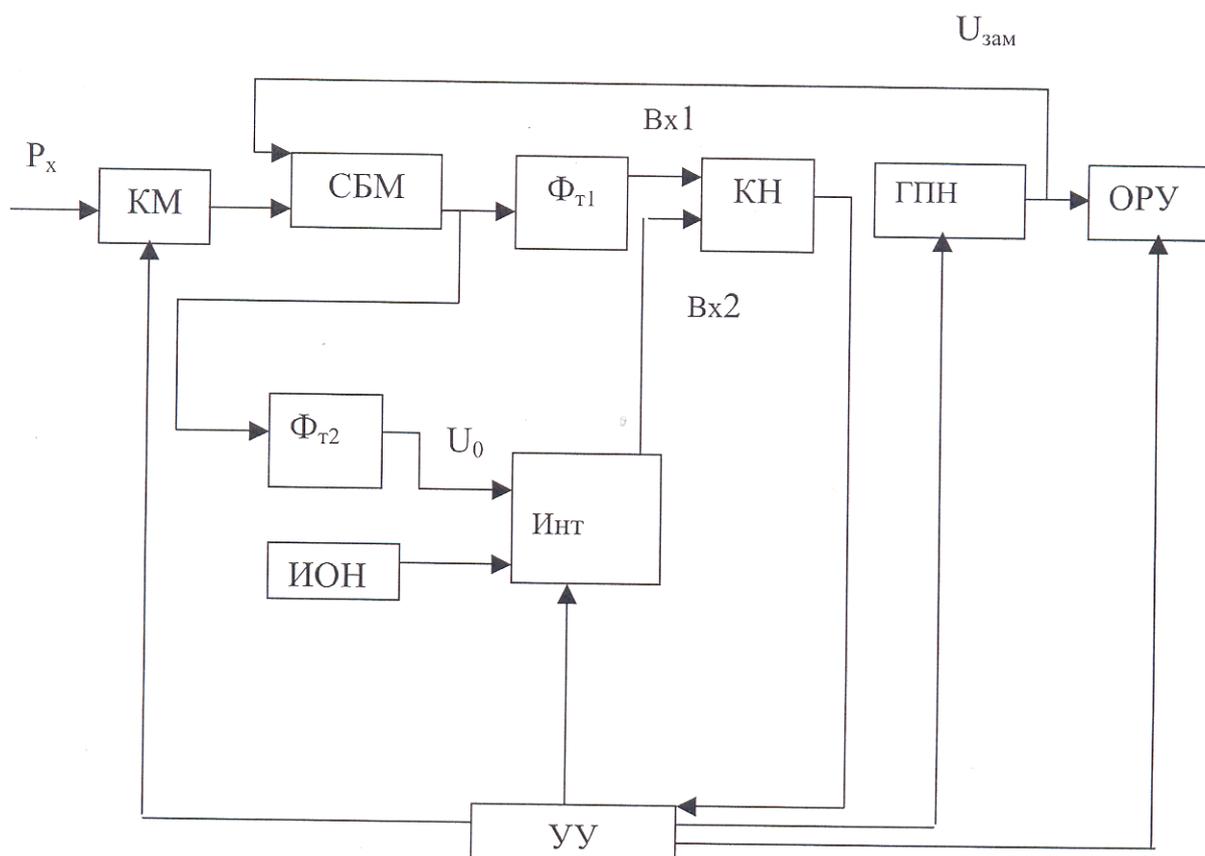


Рис. 8.2. Структурная схема автоматического устройства с двукратным сравнением  
ИОН - источник опорного напряжения, Инт - интегратор.

напряжения ГПН и запускает ОРУ, фиксирующий значение  $U_{\text{за}}$ , которое является МЕРОЙ ВХОДНОГО СИГНАЛА -  $P_x$ . На результат измерения оказывает влияние:

- дрейф выходного напряжения  $U_{\text{эф}}$  за время его уравнивания;
- динамическая составляющая на этапе уравнивания.

1я составляющая является СЛУЧАЙНОЙ ВЕЛИЧИНОЙ и для ее уменьшения необходимо уменьшать время замещения (увелич.  $U_{\text{за}}$ ).

Однако, при этом увеличивается влияние динамической составляющей. Использование таких СИ в несколько раз снижает требования к КН.

*Вопросы для самоконтроля усвоения знаний:*

1. Какой принцип положен в основу автоматического измерительного устройства с однократным сравнением? Дайте анализ факторов, влияющих на его точность.
2. Какие преимущества дает схема измерений с двукратным сравнением?

## **2. Автоматические средства с адаптацией чувствительности; с частотно-импульсным преобразованием**

### **Средства измерений с адаптацией чувствительности**

Повышение точности СИ связано с уменьшением значения  $P_{\hat{i}\hat{n}}$  и обеспечением инвариантности  $P_{\hat{i}\hat{n}}$  по отношению к возмущающим воздействиям.

В свою очередь уменьшение  $P_{\hat{i}\hat{n}}$  приводит к повышению чувствительности УСВМ и, следовательно, уменьшению погрешности. Другим важным показателем СБМ является относительное изменение его выходного напряжения при воздействии на терморезистор измеряемого сигнала. Полезный сигнал  $\Delta U_{\hat{i}\hat{n}}$ , несущей в себе информацию о значении измеряемого сигнала  $R_x$ , поступает на вход запоминающего и сравнивающего устройств в виде приращения относительно постоянной составляющей  $U_{\hat{i}\hat{n}}$ . При этом, чем выше значения  $\Delta U_{\hat{i}\hat{n}}/U_{\hat{i}\hat{n}}$ , тем меньше трудностей с выделением полезного сигнала.

Повышение относительного значения выходного полезного сигнала СБМ возможно за счет уменьшения мощности разогрева  $R_0$  напряжением обратной связи СБМ.

Поскольку необходимо выполнение уравнения баланса мощностей в мостовой схеме

$$P_{\hat{i}\hat{m}} + P_{\theta i} = P_0 = \text{const}$$

или

$$U_{\hat{i}\hat{m}}^2 / 4R_0 + P_{\theta i} = P_0 = \text{const},$$

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний, метрологических поверок средств измерений

где  $P_{\theta_i} = H(\theta_i - \theta_0)$  – мощность, эквивалентная воздействию на  $R_0$  температуры окружающей среды;  $H$  - постоянная рассеяния терморезистора, Вт/°С ;

уменьшение  $P_{i\bar{n}}$  возможно за счет подачи на терморезистор дополнительной мощности его разогрева  $P_{\bar{a}i\bar{i}}$  от какого-либо внешнего источника

$$P_{\bar{a}i\bar{i}}(t) = P_0 - P_{i\bar{n}} - P_{\theta}(t).$$

Практическая реализация данного способа адаптации чувствительности

возможна при использовании в качестве источника дополнительной мощности управляемого генератора (УГ), частота которого отличается от частоты

переменного напряжения СБМ, что исключает корреляцию между  $P_{\bar{a}i\bar{i}}, P_{\bar{c}a\bar{i}} \in P_{i\bar{n}}$ .

Структурная схема СИ с адаптацией чувствительности приведена на рис. 9.1.

В основе работы данного СИ лежит использование замкнутого контура, содержащего СБМ переменного тока, выпрямитель с фильтром ФТ, вычитающее устройство ВЧУ, Инт, УГ высокочастотного напряжения. Контур представляет собой САУ (систему автоматического регулирования) обеспечивающую стабилизацию  $P_{i\bar{n}}$  на требуемом уровне.

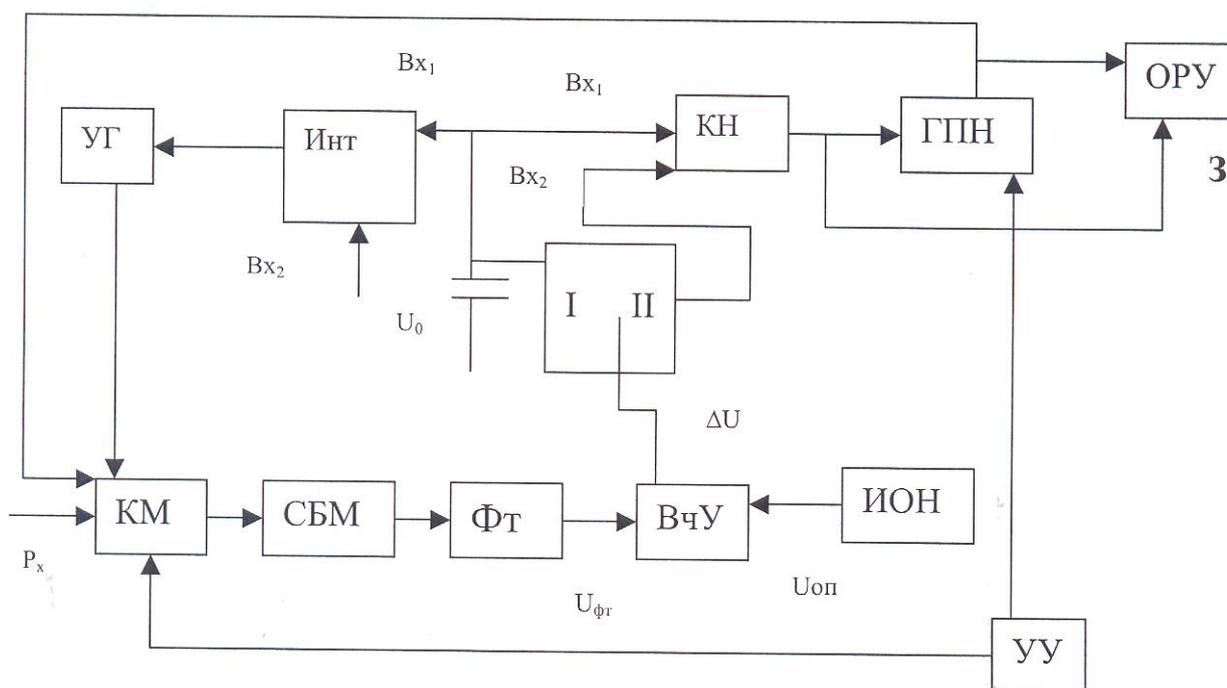


Рис. 9.1. Структурная схема автоматического устройства с адаптацией чувствительности

Выходное напряжение СБМ поступает на  $\hat{O}_\delta$  и затем сравнивается с  $U_{\hat{i}i}$  источника ИОН. Разностное напряжение  $\Delta U(t) = U_{\hat{o}\delta}(t) - U_{\hat{i}i}$  подается с выхода ВиУ на вход Инт (ключ находится в положении 1).

Изменяющееся выходное напряжение Инт приводит к изменению амплитуды выходного сигнала УГ и дополнительной мощности разогрева  $R_\delta$ , способствуя уменьшению  $\Delta U(t)$ .

В установившемся режиме значение  $\Delta U_{\hat{o}\delta}$  определяется выбранной рабочей точкой Инт, т. е. значением напряжения  $U_0$ , подаваемого на Вх2 Инт. По окончании переходных процессов с учетом смещения нуля  $U_{\hat{m}}$  интегратора:

$$\Delta U_{\hat{o}\delta} = U_0 \pm U_{\hat{m}} .$$

При этом конденсатор С, подключенный к Вх<sub>1</sub> Инт и Вх<sub>1</sub> КН заряжается до значения  $\Delta U_{\hat{o}\delta}$ . Рассмотрим подробно работу СИ с адаптацией чувствительности.

В момент  $t_1$  через КМ подается измеряемый сигнал Рх. Это приводит к уменьшению  $U_{\hat{i}n}$ . Сигнал рассогласования увеличивается, что вызывает уменьшение выходного напряжения Инт и напряжения на выходе УГ и, следовательно, увеличение выходного напряжения СБМ и уменьшение  $\Delta U(t)$ , поступающего на Вх<sub>1</sub> компаратора КН.

Таким образом, при подаче на  $R_\delta$  измеряемого сигнала Рх мощность, рассеиваемая на терморезисторе от УГ уменьшается на

$$\Delta P_{\hat{o}\delta} = P_X ,$$

возвращая амплитуду напряжения  $U_{\hat{i}n}$  СБМ к прежнему значению.

В момент времени  $t_2$  по окончании переходного процесса с помощью УУ переключается Кл в положение II, прекращается подача измеряемого сигнала Рх и запускается генератор ГПН. Прекращение подачи Рх вызывает увеличение амплитуды колебаний СБМ.

Напряжение, до которого заряжен конденсатор С поддерживает напряжение на выходе Инт, а, следовательно, и  $P_{\hat{i}i} = P_{\hat{o}\delta}$  постоянным.

Под действием возрастающего напряжения  $U_{\hat{a}i}$  амплитуда колебаний СБМ убывает, увеличивая рассогласование  $\Delta U(t)$ , поступающего на Вх2 КН.

В момент  $t_3$  наступления равенства напряжений на входах КН последний срабатывает, прекращая работу ГПН, запуская ОРУ. Значение  $U_{\hat{a}i} = U_{\hat{c}ai}$ , фиксируемое ОРУ, является мерой измеряемого сигнала Рх.

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

*Анализ точности СИ с адаптацией чувствительности* (ошибка сравнения  $\Delta P_X(\Delta U_{\hat{\epsilon}i})$  и запоминания  $\Delta P_X(\Delta U_{\hat{\zeta}o})$ ).

Использование САУ позволяет уменьшить амплитуду колебаний СБМ и обеспечить ее постоянство при воздействии ВВ ( за счет перераспределения мощностей, действующих на  $R_{\delta}$  ). Это в свою очередь позволяет уменьшить уровень напряжения запоминания. Следовательно, в качестве компаратора КН можно использовать устройства с невысоким уровнем напряжения, но высокой чувствительности (т.е. малое значение  $\Delta U_{\hat{\epsilon}i}$  ).

Низкий уровень  $U_{\hat{\zeta}o}$  значительно снижает ошибку  $\Delta P_X(\Delta U_{\hat{\zeta}o})$ , поскольку скорость уменьшения  $U_{\hat{\zeta}o}$  на запоминающем конденсаторе С пропорциональна значению этого напряжения.

Выбором  $U_{\hat{i}i}$  и коэффициента передачи  $K_{\delta\delta}$  чувствительность СБМ может быть увеличена в несколько раз. Таким образом, отклонения значения выходного сигнала, обусловленные несовершенством ЗУ ( $\Delta U_{\hat{\zeta}o}$ ) и порогом

- срабатывания КН ( $\Delta U_{\hat{\epsilon}i}$ ) могут быть уменьшены в десятки раз. Отклонение значения выходного сигнала, обусловленное изменением  $P_{\hat{a}i i}$  за счет изменения  $U_{\hat{\zeta}o}$ , носит случайный характер. Динамическая ошибка замещения, обусловленная инерционными свойствами измерительного канала, определяется по той же методике, что и в предыдущих схемах.

Таким образом, основными составляющими неопределенности результата измерения будут:

- сравнения  $\Delta P_X(\Delta U_{\hat{\epsilon}i})$ ;
- запоминания  $\Delta P_X(\Delta U_{\hat{\zeta}o})$ ;
- замещения  $\Delta P_{\hat{\zeta}a i}$  ;

динамическая  $(\Delta P_X)_{\hat{a}}$  .

Их можно считать независимыми случайными величинами, распределенными по нормальному закону. Их линейная комбинация также подчиняется нормальному закону.

Принцип адаптации чувствительности СБМ позволил обеспечить широкий рабочий диапазон температур ( $\pm 60^\circ \text{C}$ ) для СИ с  $R_{\delta}$ .

## 2.2. Средства измерений с частотно-импульсным преобразованием

Рассмотренные СИ имеют недостатки:

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний, метрологических поверок средств измерений

- нельзя реализовать прямое преобразование (разновременное сравнение  $P_X$  и  $P_{\text{с\grave{a}i}}$  с коммутацией  $P_X$ );
- СИ являются аналоговыми.

Если выходной сигнал имеет частотную форму представления - схема СИ упрощается, повышается помехоустойчивость, чувствительность.

Основными узлами ЧИП (рис. 9.2) являются:

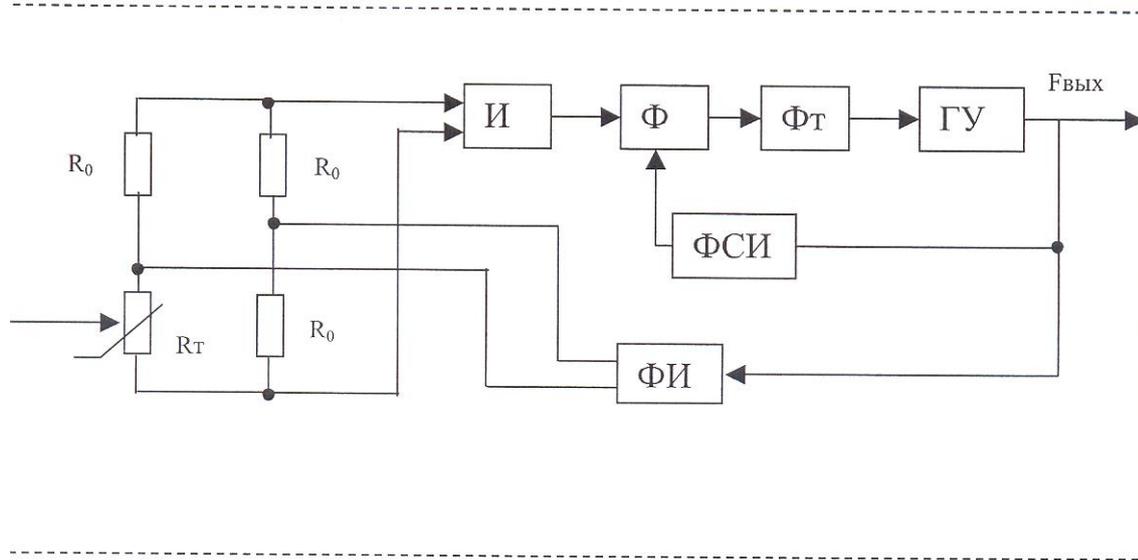


Рис. 9.2. Структурная схема частотно-импульсного преобразователя

СБМ, импульсный усилитель разбаланса (ИУ), фазовый детектор (ФД), фильтр (ФТ), генератор импульсов управляемой частоты (ГУЧ), формирователь синхроимпульсов (ФСИ) и формирователь амплитуды  $U_{\text{max}}$  и длительность  $\tau_{\text{с\grave{a}i}}$  прямоугольных импульсов (ФИ) питания мостовой схемы.

Таким образом, схема представляет собой СБМ с импульсным напряжением питания, модулированным по одному из параметров импульсного сигнала. В этом случае мощность, рассеянная на  $R_0$ :

$$P_{RT} = U_{\text{max}}^2 / 4R_0 \cdot \tau_{\text{с\grave{a}i}} / T = (U_{\text{max}}^2 \cdot \tau_{\text{с\grave{a}i}} / 4R_0) F$$

где  $U_{\text{max}}$ ,  $\tau_{\text{с\grave{a}i}}$ ,  $T$ ,  $F$  - соответственно амплитуда, длительность, период повторения, частота импульсного напряжения питания.

До подачи на вход ЧИП измеряемой величины  $P_x$  суммарная мощность, рассеиваемая на  $R_0$ :

$$P_0 = P_{RT} + P_{\theta} = (U_{\text{max}}^2 \cdot \tau_{\text{с\grave{a}i}} / 4R_0) F_1 + P_{\theta}.$$

При подаче на вход ЧИП измеряемого сигнала  $P_x$  мостовая схема разбалансируется и ее напряжение разбаланса уменьшает частоту

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

импульсов на выходе ГУЧ до момента наступления баланса мостовой схемы, при котором справедливо соотношение:

$$P_0 = P_{RT} + P_\theta + P_X = (U_{\max}^2 \cdot \tau / 4R_T) F_2 + P_\theta + P_X.$$

Следовательно, изменение частоты на входе ЧИП ( при постоянстве температуры)

$$\Delta F = (4R_T / U_{\max}^2 \cdot \tau_{\text{дл}}) P_X = S P_X,$$

где  $S = \Delta F / P_X$  - чувствительность ЧИП;

$\Delta F$  связано с  $P_X$  линейной зависимостью (при  $U_{\max}$  и  $\tau_{\text{дл}} = \text{const}$ ).

Рациональной с точки зрения автоматизации процесса является схема, реализующая метод двухтактного интегрирования (рис. 9.3). Измерение производится в три такта:

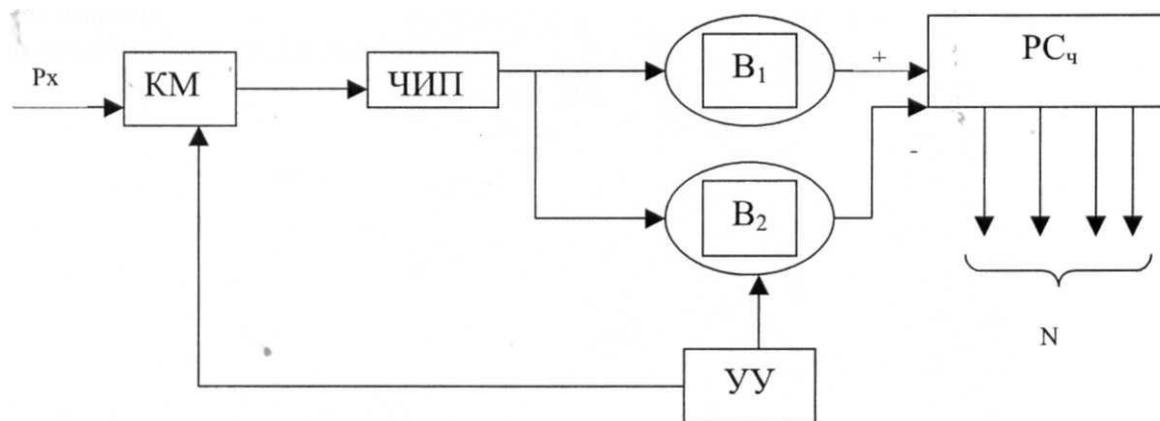


Рис. 9.3. Структурная схема СИ, реализующего метод двухтактного интегрирования

Во I-й такт сигнал  $P_X$  не воздействует на  $R_T$ .

Выходной сигнал  $F_1$  ЧИП поступает через вентиль  $\hat{A}_1$  по команде УУ на суммирующий вход реверсивного счетчика (РСЧ), работающего в этот такт в режиме "сложение".

При этом

$$N_1 = \int_0^T F_1(t) dt = S T_0 (P_0 - P_X),$$

где  $T_0$  - продолжительность 1-го такта.

Во II-м такте УУ с помощью  $K_1$  подает на  $R_\delta$  измеряемый сигнал  $P_X$ , отключая при этом вход РСч от ЧИП. За время 2-го такта на выходе ЧИП установится значение частоты  $F_2$ .

В III-м такте, длительность 1-го такта, выход ЧИП с помощью  $\hat{A}_2$  подключается в вычитающему входу РСч. При этом

$$N_2 = \int_{3T_0}^{2T_0} F_2(t) dt = ST_0(P_0 - P_\theta - P_X).$$

Число импульсов, накопленное счетчиком

$$N = N_1 - N_2 = ST_0 P_X.$$

Отсюда  $P_X = (1/ST_0)N$ , где  $P_X = (U_{\max}^2 \cdot \tau_{\text{сч}} / 4R_T T_0)N$ ;  $1/ST_0$  – разрешающая способность измерителя.

Ошибка измерения определяется нестабильностью параметров импульсного напряжения  $(U_{\max}, \tau_{\text{сч}})$  и времени счета  $T_0$ . Определяя частные производные и переходя к конечным приращениям, получают случайные составляющие ошибки измерения.

Предельное значение абсолютного отклонения определяют, считая случайные величины  $\Delta U_{\max}, \Delta \tau$  и  $\Delta T_0$  независимыми.

$$\left( \frac{\Delta P}{P} \right)_{\max} \approx 3\sigma_{\Delta P} = \frac{3U_{\max} N}{2R_T T_0} \sqrt{\tau_{\text{сч}}^2 \sigma_{\Delta U_{\max}}^2 + \frac{U_{\max}^2}{4} \sigma_{\Delta \tau_{\text{сч}}}^2 + \frac{U_{\max} \tau_{\text{сч}}}{2T_0^2} \sigma_{\Delta T_0}^2}.$$

Это выражение позволяет определить допустимое отклонение параметров в процессе эксплуатации в зависимости от требуемой точности измерения.

Разработан алгоритмический способ коррекции температурной погрешности - трехтактное интегрирование.

I-й такт: входной сигнал  $P_X$  не поступает на  $R_T$  и выходная частота ЧИП  $F_1(t)$  в течение времени  $T_0 = 1/4 t_{\text{сч}}$  поступает на РСч, который накопит число импульсов  $N_1$ .

II-й такт - за время  $2T_0$  на  $R_T$  подается  $P_X$ . Одновременно выходной сигнал ЧИП с частотой  $F_2(t)$  подается на вычитающий вход РСч, из которого за время  $2T_0$  вычитается число импульсов  $N_2$ .

III-й такт - прекращается подача  $P_X$  на  $R_T$  (в момент времени  $t_2$  отключения  $P_X$  значение частоты на выходе ЧИП возрастает на  $\Delta F$  и выходной сигнал ЧИП  $F_3(t)$  подается на суммирующий вход РСч. При этом в счетчик занесется число импульсов  $N_3$

$$N = (N_1 + N_3) - N_2 = 2T_0 S P_X.$$

При этом влияние нестабильности температуры полностью исключается.

### 2.3. Средства измерений прямого преобразования

Схемы основного ЧИП<sub>1</sub> и компенсационного ЧИП<sub>2</sub> каналов СИ прямого преобразования идентичны и представляют собой рассмотренные ранее ЧИП (рис.9.2.).

Равенство выходных частот основного и компенсационного каналов, при  $P_x = 0$  обеспечивается подачей на терморезисторы дополнительной мощности разогрева  $P_{\text{аиі}}$  от регулируемых источников напряжения постоянного тока (РИН).

Этим достигается компенсация аддитивной погрешности измерения (совмещая начальные точки отсчета обоих каналов).

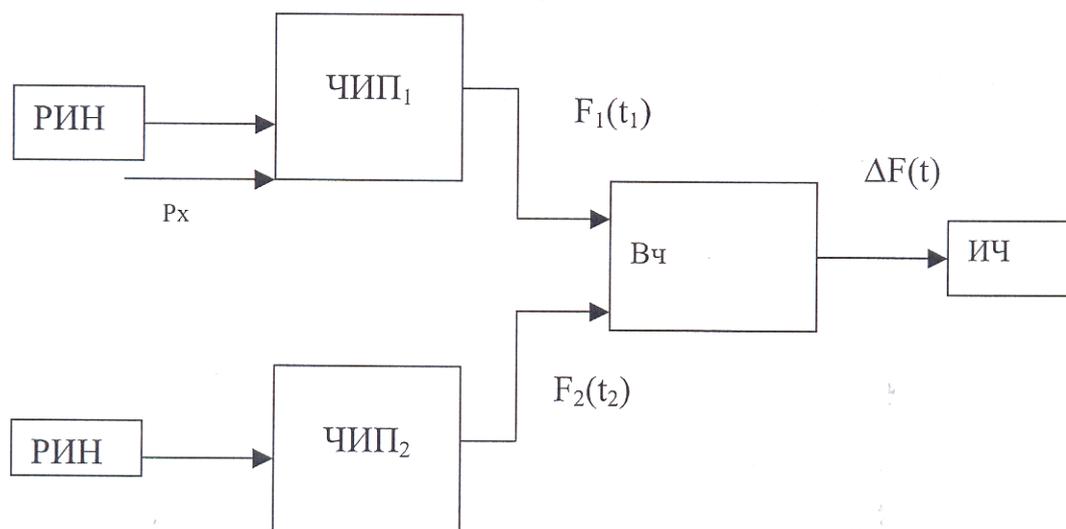


Рис. 9.4 Схема СИ с пространственным разделением каналов на основе ЧИП

Чтобы скомпенсировать мультипликативную погрешность измерения, необходимо обеспечить равенство коэффициентов преобразования каналов.

Для этого в цепь обратной связи ЧИП<sub>2</sub> введен АТТЕНЮАТОР (Атт), который за счет изменения амплитуды импульсов питания мостовой схемы обеспечивает равенство коэффициентов преобразования. Разностная частота однозначно определяет значение измеряемого сигнала  $P_x \Delta F$ , выделяется в устройстве вычитания частот Вч и поступает затем в измеритель частоты (ИЧ).

### Выбор метода построения автоматических СИ

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний, метрологических поверок средств измерений

Классификация методов построения автоматических СИ представлена на рис. 9.5. Выбор конкретного метода измерения и схемы построения зависит от следующих факторов:

- точностных параметров;
- быстродействия;
- условий эксплуатации, режима работы.

Если возможна коммутация преобразуемого сигнала - целесообразно применить метод замещения.

Если за цикл измерения возможна однократная коммутация - используется схема с 1х или 2х сравнением.

Более высокую точность обеспечивают схемы с замещением импульсным сигналом.

При большом диапазоне температуры окружающей среды - (+60°С) с адаптацией чувствительности.

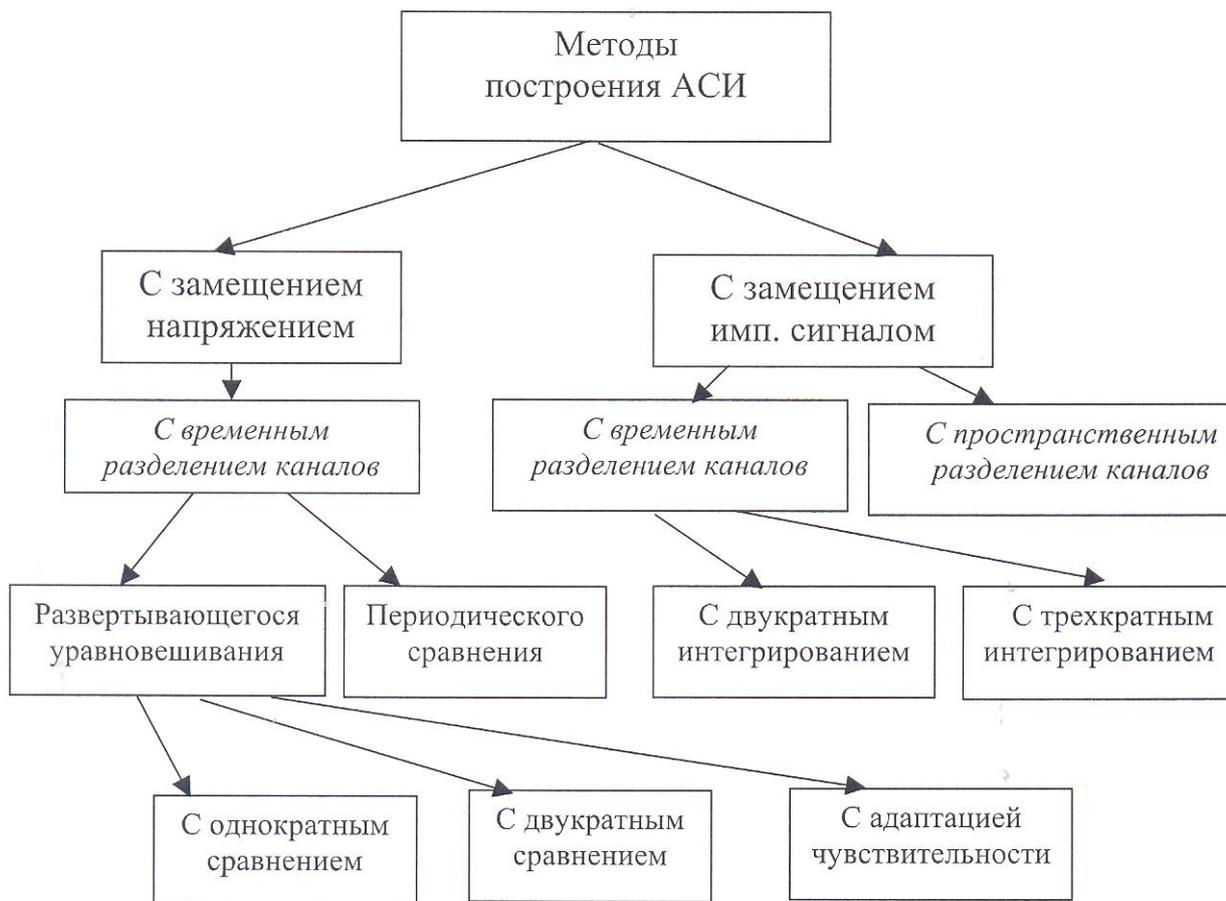


Рис. 9.5. Классификация методов построения автоматических средств измерений

При использовании СИ в системе контроля — предпочтительнее схемы с аналоговым выходом.

Если СИ автономное - используют схемы с замещением импульсным сигналом, обеспечивающие цифровой отсчет. При этом, если имеют место перепады температуры - применяют метод трехтактного интегрирования.

Если отсутствует возможность коммутации сигнала - используется схема прямого преобразования.

При выборе быстродействия необходимо сопоставить динамические погрешности из-за нестабильности уровня сигнала и дополнительные погрешности преобразования, связанные с повышением быстродействия СИ.

## 2.5. Структура СИ измерений вероятностных характеристик случайных процессов

Современные цифровые СИ вероятностных характеристик случайных процессов реализуют дискретные методы оценки  $X_{\text{нб}}$

$$X_{\text{нб}} = 1/N \sum X(iT)$$

Определение  $X_{\text{нб}}$  заключается в суммировании выборок  $X(iT)$  и последующем делении на число выборок  $N$ .

Входной сигнал  $X(t)$  (рис. 9.6) поступает на преобразователь напряжения в частоту (ПНЧ). В момент времени  $iT$ , задаваемые генератором импульсов опроса (ГИО) сигнал преобразуется в частотно-импульсный сигнал  $f_X(t)$ , поступающий через ключ  $K1$  на счетчик импульсов  $Сч 1$ . Ключ отпирается на время действия импульса опроса длительностью  $\tau_{\text{имп}}$ .

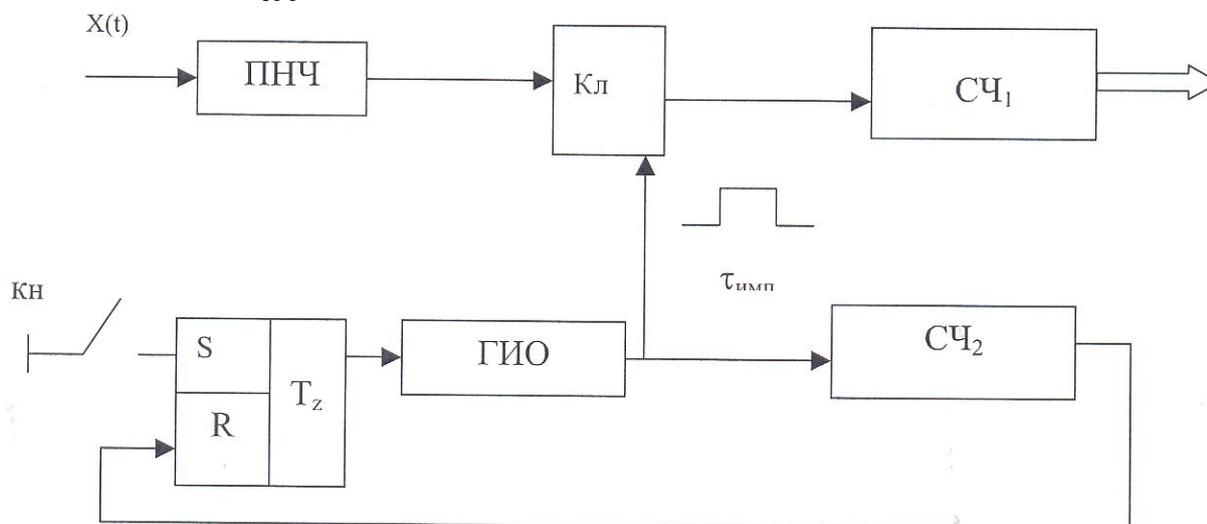


Рис. 9.6. Структура СИ измерений среднего значения  $X_{\text{ср}}$

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

Таким образом, за время  $\tau_{\text{цикл}}$  накапливается код  $N1 = f_X(iT)\tau_{\text{цикл}}$ . Одновременно импульсы опроса подсчитываются счетчиком Сч2. Импульс переполнения этого счетчика переводит триггер (Т2) во второе устойчивое состояние, и его выходной сигнал закрывает генератор ГИО. На этом цикл измерений  $X_{\text{нб}}$  заканчивается.

На счетчик Сч1 поступает N пачек импульсов  $f_X(t)$ , где N - число импульсов опроса, поступающих на счетчик Сч2 до его переполнения.

Полученный код в счетчике Сч1 пропорционален  $\sum X(iT)$ .

Операция деления производится путем переноса запятой в значении полученного кода  $N_{\text{нб}}$  счетчика Сч1 на число разрядов счетчика Сч2. Новый цикл измерения начинается путем нажатия кнопки Кн и начальной установки Сч1.

*Вопросы для самоконтроля усвоения знаний:*

1. Как практически может быть реализован способ адаптации чувствительности?
2. Поясните принцип работы автоматического средства измерения с частотно-импульсным преобразованием, реализующего метод двухтактного интегрирования.
3. В чем состоит алгоритмический способ коррекции температурной ошибки в СИ с частотно-импульсным преобразованием?
4. В каком случае реализуется метод построения АСИ с пространственным разделением каналов (на основе ЧИП) ?
5. Приведите классификацию методов построения автоматических СИ.

**Лекция по теме №3.5.1. Портативные калибраторы и эталонные модули**

ВОПРОСЫ

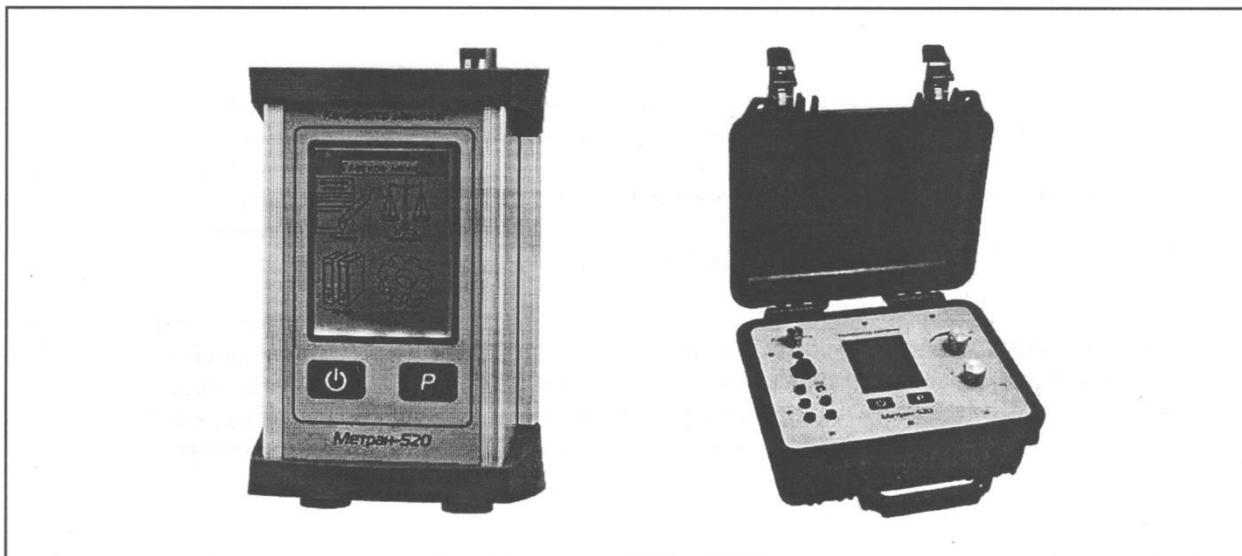
1. Портативные калибраторы и эталонные модули.
  - 1.1. Калибратор Метран-520.
  - 1.2. Калибратор Метран-517.
  - 1.3. Модули давления Метран-518.
  - 1.4. Метран-501-ПКД-Р.
  - 1.5. Метран-502-ПКД-10П.
2. Эталоны давления пневматические
  - 2.1. Пневматические калибраторы давления серии Метран-500 Воздух.

ЛИТЕРАТУРА

1. Каталог – метрологическое обеспечение. М.: ПГ Метран. 2015. с.34-79.

**1. Портативные калибраторы и эталонные модули**

**1.1. Калибратор Метран-520**



- Совместная работа с модулями Метран-518 во всех диапазонах давлений
  - Диапазоны электрических сигналов:
    - измерение 0...22 мА, 0...5 В, 0...50 В;
    - воспроизведение 0...22 мА
  - Исполнение со встроенными модулями давления и пневматическим электронасосом
  - Электрическое питание поверяемых датчиков (напряжением 24 В) от сетевого БП или встроенного аккумулятора
  - Графический дисплей со встроенной LED подсветкой и сенсорным управлением
  - Перенастраиваемый двухканальный режим измерений и воспроизведения
  - Работа с датчиками по HART-протоколу
  - USB интерфейс для связи с ПК
  - Внесен в Госреестр средств измерений под №54880-13, свидетельство №52324 ТУ 4381-063-51453097-2013
  - ЕАС ТС N RU Д-РУ.АВ 72.В.02433, ТС N RU Д-РУ.АВ 72.В.02434
- Функциональные возможности Метран-520:
- совместная работа с эталонными модулями давления Метран-518 (с погрешностью от 0,02%) для поверки высокоточных датчиков давления;
  - питание поверяемых приборов напряжением 24 В от встроенного аккумулятора;
  - документирование и архивация (хранение в памяти калибратора до 250 протоколов и до 40000 измерений в режиме мониторинга);
  - совместная работа с базой данных ПО "Поверка СИД";
  - преобразование, статистический анализ ряда измеренных значений;
  - настройка и поверка датчика по HART-протоколу.
- Исполнения калибратора со встроенным модулем давления и электронасосом позволяет обойтись минимальным количеством дополнительного оборудования при поверке и калибровке широкого перечня приборов КИПиА по месту эксплуатации.

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

### УСТРОЙСТВО И ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ

Калибратор Метран-520 выпускается в портативном и кейсовом исполнении и состоит из следующих основных элементов:

- ❖ калибратор Метран-520 (электронный блок);
- ❖ внутренний модуль давления;
- ❖ встроенный пневматический электронасос (только калибратора в кейсовом исполнении);
- ❖ внешний модуль давления Метран-518;
- ❖ внешние ручные источники создания давления: помпа и насос ручной пневматический, пресс ручной гидравлический и помпа ручная многофункциональная (пневмогидравлическая).

Все элементы калибратора размещаются в сумке, удобной для транспортировки.

Электронный блок калибратора Метран-520 в портативном исполнении (опция "П") выполнен в виде переносного прибора в корпусе из алюминиевого сплава. На лицевой панели прибора размещены жидкокристаллический дисплей с сенсорным управлением и функциональная кнопки.

Корпус калибратора для защиты от повреждений во время эксплуатации, помещается в защитный резиновый чехол. С обратной стороны защитного чехла имеется откидная подставка для установки прибора на рабочей поверхности.

Подключение поверяемых приборов - внешнего модуля давления, ПК и сетевого блока питания выполняется с помощью клемм, расположенных на верхней крышке калибратора. При заказе исполнения Метран-520 со встроенным модулем давления, на верхнюю крышку калибратора выведен штуцер (порт "P") с резьбой M10x1 для подключения пневмошланга. Электронный блок калибратора Метран-520 в кейсовом исполнении (опция "К") выпускается в виде переносного прибора (кейса) с откидной крышкой и ручкой для переноски устройства. В верхней крышке кейса имеется внутренний карман, в который возможна укладка комплекта соединительных шлангов, штуцеров или коммутационных кабелей при транспортировке или хранении калибратора.

На лицевой панели прибора размещены жидкокристаллический дисплей с сенсорным управлением, функциональные кнопки, разъемы для подключения ПК, сетевого блока питания, внешних модулей давления и поверяемых приборов (цепи измерения и генерации электрических сигналов). Также на лицевой панели калибратора расположен штуцер для подключения к выходному пневматическому порту калибратора (порт "P") и органы управления встроенным пневматическим электронасосом.

При заказе калибратора со встроенным источником создания давления калибратор Метран-520 также комплектуется встроенным модулем давления. В этом случае встроенный пневматический электронасос и модуль давления имеют единый рабочий объем и подключены к выходному порту "P" калибратора.

**Модули давления калибратора** могут быть внутренними или внешними. Основными элементами каждого модуля является: прецизионный сенсор давления, аналого- цифровой преобразователь (АЦП), микроконтроллер и энергонезависимая память.

В качестве внешних модулей давления применяются эталонные модули давления Метран-518, обеспечивающие работу с любыми средами, не вызывающими коррозию стали марки 12X18H10T. Подключение внешних модулей давления к Метран-520 производится к разъему "МД" на верхней крышке калибратора с помощью

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

электрического кабеля с самозащелкивающимися разъемами (см. описание "Модули давления Метран-518").

**Встроенный пневматический электронасос**

Пневматический электронасос служит встроенным источником создания давления в составе калибратора Метран-520 в кейсовом исполнении и состоит из:

- узла создания давления. Подвижный поршень узла управляется электрическим мотором, который включается при нажатии и удержании кнопки "P";
- узла коммутации, который обеспечивает переключение режимов: избыточное давление, разряжение и сброс давления;
- узла точной регулировки, который обеспечивает плавную настройку требуемое давление.

**Принцип действия.** Измеряемое давление, созданное источниками создания давления (внешними/ внутренними) подается на модуль давления (внутренний/ внешний) и одновременно на вход поверяемого датчика. Электрический сигнал с выхода сенсора давления, пропорциональный изменению входного давления, подается на вход АЦП для преобразования в цифровой код, после чего поступает на вход микроконтроллера модуля давления. Микроконтроллер рассчитывает давление в соответствии с функциями преобразования, учитывая индивидуальные коэффициенты преобразования характеристики сенсора, нелинейность и влияние температуры. Индивидуальные коэффициенты преобразования, полученные в ходе калибровки модуля, информация о перегрузках (если такие факты были зафиксированы) хранятся в энергонезависимой памяти модуля. Рассчитанное микроконтроллером давление выводится на дисплей как действительное значение давления, созданное источником давления в рабочей полости поверяемого датчика. Калибратор Метран-520 содержит источник напряжения 24 В для электрического питания поверяемого датчика. Выходной электрический сигнал с поверяемого прибора через цепи защиты поступает на вход АЦП и после преобразования в цифровой код обрабатывается микроконтроллером (для обеспечения высокой точности учитывается влияние температуры окружающей среды). Значение выходного электрического сигнала поверяемого датчика выводится на дисплей. По измеренному выходному сигналу поверяемого прибора и измеренному давлению рассчитывается и выводится на дисплей значение погрешности прибора.

Для обеспечения поверки или калибровки вторичных приборов в калибраторе используется режим воспроизведения и преобразования сигналов.

Управление режимами, выбор и ввод параметров при работе с калибратором производится нажатием на соответствующую область сенсорного экрана или с помощью программного обеспечения "Поверка СИД", которое входит в комплект поставки калибратора.

**Меню калибратора и настройка режимов.** Меню калибратора Метран-520 имеет древовидную структуру, и главное меню содержит следующие основные режимы:

**поверка** - режим для проведения поверки СИД;

**измерение** - режим измерения и мониторинга физических величин (давления, тока, напряжения) и воспроизведение тока;

**архив** - режим просмотра сохраненных в памяти калибратора протоколов поверок;

**настройки** - режим просмотра параметры и общей настройки калибратора.

**Настройка каналов в режиме измерений**

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

Калибратор Метран-520 имеет два независимых канала измерений, позволяющих использовать калибратор в различных режимах. Перечень режимов для каждого канала, их допустимые комбинации и назначение приведены в табл. 1:

**1. Измерение P** - отображение значения давления, измеренного внутренним или внешним модулем давления. При наличии встроенного модуля и подключении внешнего модуля давления возможно измерение входных и выходных пневматических сигналов преобразователей давления.

**2. Измерение I** - отображение измеренного значения тока.

**3. Измерение U** - отображение измеренного значения напряжения.

**4. HART** - отображение показаний датчика по HART протоколу. При настройке режима также можно произвести изменение пределов измерений и корректировку нуля подключенного прибора без использования HART-коммуникатора и аналогичных устройств.

**5. Ручной ввод** - ввод величины генерируемой (воспроизводимой) силы постоянного тока, или ввод произвольного значения для преобразования в пользовательские единицы измерения.

**6. Реле** - отображение состояния сигнализирующих устройств (ЭКМ манометры, реле давления и др.).

**7. Генерация. I** - отображение силы постоянного тока в режиме воспроизведения. Данный режим используется при поверке вторичных приборов или симуляции выходного сигнала датчика или имитации работы датчика (при выборе на первом канале режима измерения давления).

**8. Статистика** - отображение вычисленных статистических данных для ряда измеренных физических величин (минимум, максимум, среднее значение и среднеквадратическое отклонение).

**9. Преобразование** - отображение преобразованных (по заданной функции) показаний первого канала измененного типа физической величины. Например, вычисление значения температуры (в °C) датчика температуры, по значению его выходного унифицированного токового сигнала.

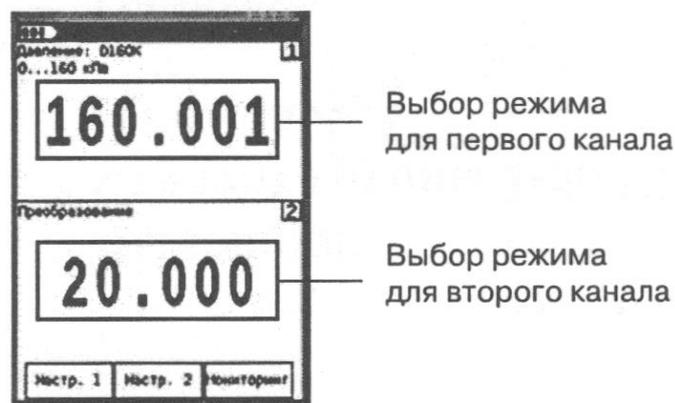
**Допустимые комбинации и выбор режимов работы**

Таблица 1

		Канал 1				
		Измерение P	Измерение I	Измерение U	HART	Ручной ввод
Канал 2	Измерение P	•	•	•	•	
	Измерение I	•			•	
	Измерение U	•				
	HART	•	•		•	
	Реле	•				
	Генерация. I	•				•
	Статистика	•	•	•	•	
	Преобразование	•	•	•	•	•

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний, метрологических поверок средств измерений

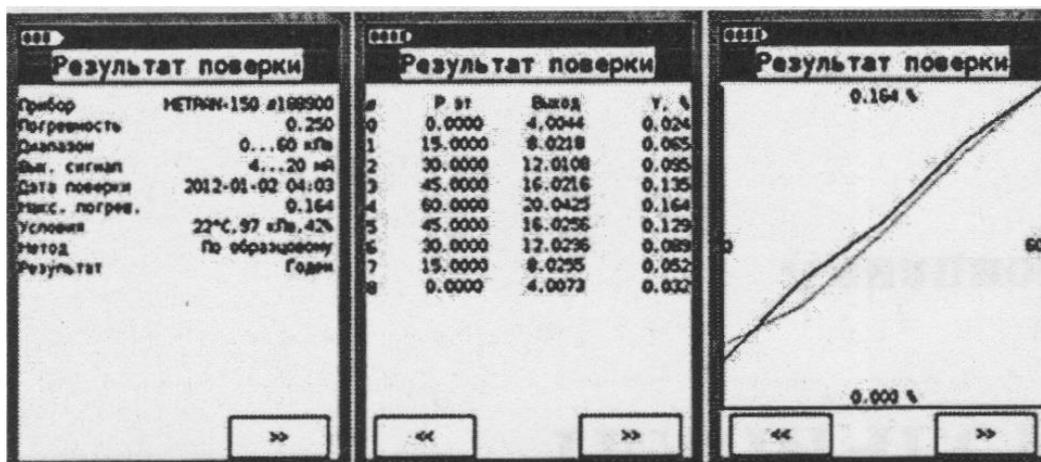
Для изменения режима работы необходимо нажать в области выделенных на рисунке участков экрана:



**Поверка приборов давления**

Калибратор Метран-520 может использоваться при поверке и калибровке средств измерений давления, реле и вторичных приборов как самостоятельный прибор или в составе комплектов оборудования и метрологических стендов в лабораториях или по месту эксплуатации приборов.

Для автоматизации процесса поверки и калибровки средств измерений давления (СИД) в Метран-520 предусмотрен режим "Поверка". В данном режиме калибратор производит фиксацию показаний поверяемых приборов, расчет их погрешности и архивацию результатов в протоколе поверки в энергонезависимой памяти калибратора (емкость архива до 250 протоколов). Протокол поверки содержит информацию о поверяемом приборе (модель, заводской номер, пределы и единицы измерений, погрешность, диапазон и пределы выходного сигнала) и результаты поверки средств измерений в табличной и графической форме:



Для поверки и калибровки рекомендуется использование программного обеспечения "Поверка СИД", которое обеспечивает управление поверкой, протоколирование и ведение базы данных с результатами поверки.

Для ускорения процедуры ввода данных перед поверкой возможна загрузка информации о поверяемых приборах (до 100) из БД программы "Поверка СИД" (модель, серийный номер, диапазон входных и выходных сигналов, погрешность, ряд нагружения и др. информацию).

С использованием Метран-520 возможна поверка высокоточных датчиков давления погрешностью от  $\pm 0,065\%$  с применением модулей давления Метран-518 с погрешностью  $\pm 0,02\%$  (код погрешности "А") для измерения давления. Для измерения выходного сигнала

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

высокоточных датчиков давления калибратор Метран-520 можно использовать в режиме измерения электрических сигналов (например, приведенная погрешность измерения тока 4-20 мА составляет  $\pm 0,0125\%IB$ ) или в режиме работы с HART- сигналом.

По заказу Метран-520 изготавливается с внутренним модулем давления и встроенным пневматическим электронасосом, что позволяет минимизировать число эталонов, используемых для поверки и калибровки приборов КИПиА.

**Измерение и воспроизведение сигналов**

Для измерения давления, электрических сигналов и воспроизведения тока в калибраторе Метран-520 имеются следующие предустановленные режимы:

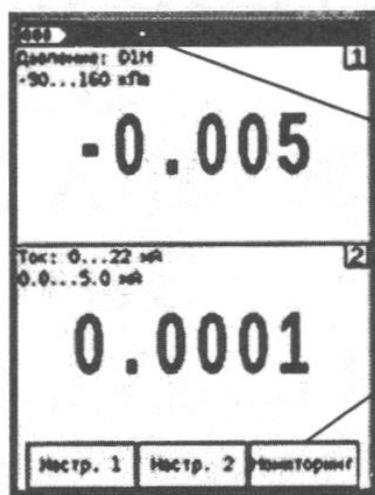
**Режим "Измерение"** служит для одновременного измерения давления и тока. Первый канал служит для измерения давления с помощью внешнего или внутреннего модуля давления. Второй канал - для измерения силы постоянного тока.

**Режим "Воспроизведение"** служит для воспроизведения силы постоянного тока и имитации показаний датчика для поверки вторичных приборов и каналов контроллеров. Первый канал служит для ручного ввода значения тока, которое следует воспроизвести. Для изменения величины воспроизводимого тока в меню настройки первого канала можно установить шаг изменения. Второй канал отображает действительное значение воспроизводимого тока.

Примечание: Режим "Измерение" и "Воспроизведение" являются редактируемыми. Пользователь может перенастроить данные режимы, например, на режим "Преобразование", работы с HART и др. После выхода из перенастроенного режима "Измерение" или "Воспроизведение" пользовательские настройки не сохраняются в памяти калибратора и при повторном сеансе работы применяются настройки по умолчанию.

**Режим "Пользовательский"** служит для измерения физической величины, воспроизведения силы тока или преобразования входной величины. "Пользовательский" режим является редактируемым, с возможностью сохранения последних пользовательских настроек измерительных каналов в памяти калибратора, что ускоряет подготовку к работе с поверяемым прибором.

**Режим "Мониторинг"** служит для фиксации и записи в память калибратора результатов измерений. Запись показаний производится циклически и при заполнении архива происходит перезапись ранее сохраненных данных. Архив мониторинга содержит до 40000 записей, содержащие показания двух измерительных каналов. Периодичность сохранения показаний в режиме "Мониторинг" выбирается пользователем и составляет от 1 с до 5 мин.



Индикатор мониторинга и количество сохраненных в памяти калибратора показаний

Кнопка включения/отключения режима «Мониторинг»

Просмотр результатов мониторинга возможен при помощи ПО "Поверка СИД".

**ОСНОВНЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ И ПАРАМЕТРЫ**  
**Диапазоны и погрешности измерений внутренними модулями калибратора Метран-520**

Таблица 2

Код модуля давления	Рабочий диапазон, МПа	Предельно-допустимое давление, МПа	Пределы допускаемой основной погрешности в зависимости от кода погрешности, не более			
			D	E	F	G
Избыточное давление			±0,04% ИВ" ±0,012% ВПИ <sup>2)</sup>	±0,05% ИВ" ±0,015% ВПИ <sup>2)</sup>	±0,06% ИВ" ±0,018% ВПИ <sup>2)</sup>	±0,1% ИВ" ±0,03% ВПИ <sup>2)</sup>
D160K	-0,1...0,16	0,22				
D1M	-0,1...1,0	1,4				
D2.5M <sup>3)</sup>	-0,1...2,5	3,5				
Абсолютное давление						
A250K	0...0.25	0,3				
A1M	0...1.0	1,4				
A2,5M <sup>3)</sup>	0...2.5	3,5				

1) В диапазоне давлений от 30 до 100% ВПИ.

2) В диапазоне давлений от 0 до 30% ВПИ.

3) Только для калибратора в кейсовом исполнении.

**Диапазоны измерений внешними модулями давления Метран-518 калибратора Метран-520**

Таблица 3

Код модуля давления	Диапазоны измерений модуля давления, МПа	Поддиапазоны измерений давления, МПа					Предельно-допускаемое давление, МПа
		Избыточное давление					
2,5K	0-0,0025				0-0,0016	0-0,0025	0,0035
6,3K	0-0,0063				0-0,004	0-0,0063	0,0085
25K	0-0,025			0-0,01	0-0,016	0-0,025	0,035
160K	0-0,16		0-0,04	0-0,063	0-0,1	0-0,16	0,22
1M	0-1,0		0-0,25	0-0,4	0-0,63	0-1,0	1,4
6M	0-6,0		0-1,6	0-2,5	0-4,0	0-6,0	8
25 M	0-25			0-10	0-16	0-25	35
60M	0-60				0-40	0-60	70
<b>Избыточное давление, разрежение, давление-разрежение</b>							
D0.63K	±0,00063			0-0,0004	0-0,00063	±0,00063	0,0025
D6.3K	±0,0063		±0,00125	±0,002	±0,00315	±0,0063	0,012
		0-0,001	0-0,0016	0-0,0025	0-0,004	0-0,0063	
D63K	±0,063		±0,0125	±0,02	±0,0315	±0,063	0,12
				-0,063-0,0	-0,04-0	-0,025-0	
D160K	-0,1-0,15						
						-0,1-0	0,22
D1M	-0,1-0,9			±0,05	-0,1-0,06	-0,1-0,15	
			0-0,16	0-0,04	0-0,063	0-0,1	0-0,16
D1M	0-1,0			-0,1-0,3	-0,1-0,53	-0,1-0,9	1,4
			0-0,25	0-0,4	0-0,63	0-1,0	
D2.5M	-0,1-2,4				-0,1-1,5	-0,1-2,4	3,5
			0-2,5		0-1,6	0-2,5	
<b>Абсолютное давление</b>							
A160K	0-0,16	0-0,025	0-0,04	0-0,06	0-0,1	0-0,16	0,22
A1M	0-1,0		0-0,25	0-0,4	0-0,6	0-1	1,4

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

A6M	0-6,0		0-1,6	0-2,5	0-4,0	0-6,0	8
-----	-------	--	-------	-------	-------	-------	---

Примечания:

1. С одним электронным блоком может работать произвольное количество модулей давления.
2. Для обеспечения минимальной погрешности поверки (калибровки) датчиков давления диапазон измерений каждого сменного эталонного модуля разбит на 2-12 поддиапазонов (в зависимости от модуля), при этом допускаемая основная приведенная погрешность измерения давления нормируется от выбранного поддиапазона измерений.
3. Для всех модулей возможен ввод пользователем нестандартных диапазонов в пределах работы модуля, при этом калибратор будет выполнять измерение выходного сигнала датчика и автоматический расчет погрешности датчика в введенном диапазоне, но нормирование погрешности модуля будет от его ближайшего стандартного поддиапазона.

**Погрешности измерений давления внешними модулями Метран-518  
калибратора Метран-520**

Таблица 4

Код модуля давления	Диапазоны измерений модуля давления, МПа	Минимальный поддиапазон <sup>11</sup> измерений модуля, МПа	Пределы допускаемой основной приведенной погрешности $\gamma$ % поддиапазона измерений модуля <sup>1)</sup> , не более (A-G-коды погрешностей)						
			A	B	C	D	E	F	G
<b>Модули избыточного давления/ давления-разрежения</b>									
2,5K	0-0,0025	0-0,0016				±0,04%	±0,05%	±0,06%	±0,1%
6,3K	0-0,0063	0-0,004							
25K	0-0,025	0-0,01			±0,03%	±0,04%	±0,05%	±0,06%	
160K	0-0,16	0-0,04	±0,02%	±0,025%	±0,03%	±0,04%	±0,05%	±0,06%	
1M	0-1,0	0-0,25							
6M	0-6,0	0-1,6							
25M	0-25	0-10							
60M	0-60	0-40		±0,025%	±0,03%	±0,04%	±0,05%	±0,06%	
<b>Модули избыточного давления, разрежения, давления-разрежения<sup>2</sup></b>									
D0.63K	±0,00063	0-0,0004					±0,05% (±0,1%) <sup>2&gt;</sup>	±0,06% (±0,1%) <sup>2&gt;</sup>	±0,1% (±0,15%) <sup>2&gt;</sup>
D6,3K	±0,0063	0-0,001				±0,04% (±0,05%) <sup>2&gt;</sup>	±0,05% (±0,06%) <sup>2&gt;</sup>	±0,06% (±0,1%) <sup>2)</sup>	±0,1% (±0,15%) <sup>2&gt;</sup>
. D63K	±0,063	0-0,01	±0,02%	±0,025%	±0,03%	±0,04%	±0,05%	±0,06%	
D160K	-0,1-0,15 0-0,16	0-0,04							
D1M	-0,1-0,9 0-1,0	0-0,25							
D2.5M	-0,1-2,4 0-2,5	0-1,6							
<b>Модули абсолютного давления</b>									
A160K	0-0,16	0-0,025		±0,025% <sub>3), 4)</sub>	±0,03% <sub>3), 4)</sub>	±0,04% <sub>3)</sub>	±0,05% <sub>3)</sub>	±0,06%	±0,1%
A1M	0-1,0	0-0,25		±0,025%	±0,03%	±0,04%	±0,05%	±0,06%	±0,1%
A6M	0-6,0	0-1,6							

1) Все поддиапазоны модулей указаны в табл.1.

2) Погрешность в поддиапазонах избыточного давления указана без скобок, в скобках указана погрешность в поддиапазонах давления-разрежения.

3) Погрешность ±0,06% в поддиапазоне 0-25 кПа.

4) Погрешность ±0,04% в поддиапазоне 0-40 кПа.

Примечание: с одним калибратором допускается приобретение различных комбинаций модулей давления по диапазонам измерений и погрешности.

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

Основная погрешность измерений давления включает нелинейность, вариацию и повторяемость.

**Диапазоны и погрешности измерения (воспроизведения) электрических сигналов**

Таблица 5

Код погрешности	Параметр	Диапазон	Предел допускаемой основной погрешности, не более
1	<b>В режиме измерений</b>		
	Ток, мА	0-22	$\pm(0,0075\% \text{ ИВ}+0,0005 \text{ мА})^{1>}$
	Напряжение, В	0-5	$\pm(0,02\% \text{ ИВ}+0,0001 \text{ В})$
		0-50	$\pm(0,04\% \text{ ИВ}+0,002 \text{ В})$
	<b>В режиме воспроизведения</b>		
Ток, мА	0-22	$\pm(0,02\% \text{ ИВ}+0,001 \text{ мА})$	
2	<b>В режиме измерений</b>		
	Ток, мА	0-22	$\pm(0,0075\% \text{ ИВ}+0,001 \text{ мА})''$
	Напряжение, В	0-5	$\pm(0,02\% \text{ ИВ}+0,0001 \text{ В})$
		0-50	$\pm(0,04\% \text{ ИВ}+0,002 \text{ В})$
	<b>В режиме воспроизведения</b>		
Ток, мА	0-22	$\pm(0,02\% \text{ ИВ}+0,001 \text{ мА})$	

ИВ - значение измеряемой (воспроизводимой) величины.

Примечание: в режиме воспроизведения тока допускается подключать калибратор по схеме питания от собственного источника тока или по схеме включения в токовую петлю с внешним блоком питания.

**Рабочий диапазон встроенного пневматического электронасоса** зависит от исполнения внутреннего модуля давления калибратора Метран-520.

Таблица 6

Рабочий диапазон встроенного электронасоса. МПа	Код внутреннего модуля давления
-0,080-0,160	D160K, A250K
-0,080- 1,0	D1M, A1M
-0,080-2,5	D2.5M, A2,5M

**Пределы допускаемой дополнительной погрешности**, вызванной изменением температуры окружающего воздуха от минус 10 до 50 °С на каждые 10 °С, % от температуры (20±2) °С.

Таблица 7

В режиме измерений давления	$\pm 0.56. \pm 0.5\gamma$
В режиме измерения напряжения постоянного тока и воспроизведения силы постоянного тока	$\pm 0,5\Delta$
Пределы допускаемой дополнительной погрешности в режиме измерения силы постоянного тока в диапазоне температур от минус 10 до 10 °С и от 35 до 50 °С на каждые Ю °С, %	$\pm 0,5\Delta$

**Степень защиты от воздействия пыли и влаги:** IP54 - для калибратора Метран-520 портативного и кейсового исполнений и внешних модулей Метран-518.

**Индикация** параметров давления, тока, напряжения производится на ЖКИ с сенсорным управлением.

**Число разрядов для индикации параметров** - 6 десятичных разрядов для индикации давления, тока и напряжения.

**Электрическое питание:**

- электронного блока калибратора - от Li-Ion аккумулятора или сетевого блока питания или от интерфейсного USB порта компьютера;
- модулей давления Метран-518 - от калибратора Метран-520.

**Мощность**, потребляемая калибратором от сетевого блока питания:

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

- ❖ не более 5,5 Вт (портативное исполнение);
- ❖ не более 2,5 Вт (кейсовое исполнение).

**Продолжительность работы** калибратора при полностью заряженном аккумуляторе:

- в режиме измерений (без использования встроенного источника создания давления), не менее 6 ч;
- в режиме создания давления встроенным источником создания давления - не более 20 циклов поверки.

**Входное сопротивление** калибратора:

- ✚ не менее 100 МОм, при измерении напряжения;
- ✚ не более 20 Ом при измерении тока.

**Масса** калибратора без внешних источников создания давления:

- калибратор Метран-520-П без встроенного модуля давления: не более 1,1 кг;
- калибратор Метран-520-П со встроенным модулем давления: не более 1,4 кг;
- калибратор Метран-520-К без встроенного модуля давления и пневматического электронасоса: не более 3 кг;
- калибратор Метран-520-К со встроенным модулем давления и электронасосом: не более 3,5 кг.

### ПОВЕРКА

Периодичность поверки-1 год.

Поверка осуществляется у изготовителя или в территориальных органах Ростехрегулирования, в соответствии с методикой "16.0101.000.00 МИ Калибратор давления Метран-520. Методика поверки".

### УСЛОВИЯ ЭКСПЛУАТАЦИИ

- ✓ температура окружающего воздуха от минус 10 до плюс 50 °С;
- ✓ атмосферное давление от 84 до 106 кПа;
- ✓ относительная влажность воздуха при температуре 35 °С от 30 до 80%.

### ГАРАНТИЙНЫЕ ОБЯЗАТЕЛЬСТВА

Гарантийные обязательства - 12 месяцев со дня ввода в эксплуатацию, но не более 18 месяцев со дня отгрузки с предприятия-изготовителя.

### Технический сервис

ЗАО "ПГ "Метран" осуществляет следующие виды работ:

1. Профилактические работы:
  - проверка герметичности, работоспособности;
  - устранение дефектов;
  - определение метрологических характеристик.
2. Средний или сложный ремонт в короткие сроки.
3. Поставка дополнительных модулей давления и источников создания давления для ранее приобретенных калибраторов.
4. Калибровка (если погрешность больше допускаемой основной погрешности).
5. Поверка (выполняется на метрологической базе изготовителя).

При наличии эталонов давления потребитель может самостоятельно произвести пользовательскую калибровку встроенного или внешних модулей давления (Метран-518) с помощью программного обеспечения "Поверка СИД", которое входит в комплект поставки калибратора Метран-520.

### КОМПЛЕКТ ПОСТАВКИ

В комплект поставки калибратора Метран-520 входят:

1. Калибратор

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

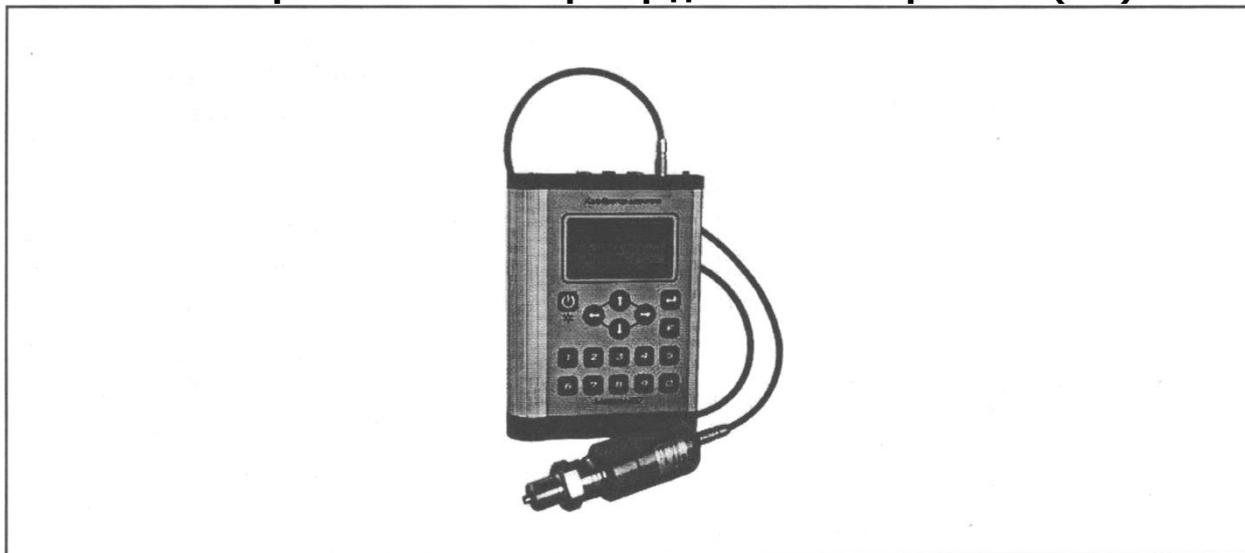
2. Комплект электрических кабелей подключения поверяемого прибора
3. Блок питания
4. Электрический кабель USB тип A-miniB
5. ПО "Поверка СИД" и Руководство пользователя на ПО (компакт-диск)
6. Сумка
7. Внешний модуль давления Метран-518
8. Электрический кабель для подключения модуля давления Метран-518
9. Внешний источник создания давления
10. Пневмошланг-01
11. Штуцеры с резьбой М12х1,5/М20х1,5 (2 шт.), М10х1/М12х1,5 (1 шт.)
12. Пневмошланг-04
13. Штуцер с резьбой М10х1/М20х1,5,
14. Комплект уплотнительных прокладок
15. Комплект ЗИП (прокладки и кольца)
16. Калибратор давления Метран-520 Руководство по эксплуатации
17. Калибратор давления Метран-520 Методика поверки
18. Калибратор давления Метран-520 Паспорт

**Опции**

1. "Обезжиривание". Внешние модули давления (с кодами 160К, 1М, 6М, 25М и 60М) калибратора Метран-520 по заказу выпускаются с кодом исполнения "Обезжиривание" и могут применяться для поверки и калибровки приборов кислородного исполнения. Для работы с калибратором Метран-520, модули давления которого были обезжирены, рекомендуется применять гидравлический пресс П-70К, предназначенный для работы с кислородными приборами. Рабочая среда пресса П-70К - дистиллированная вода по ГОСТ 6709. Для заказа Метран-520 с обезжиренными модулями давления в строке заказа калибратора указывается код опции - "О".

2. Штуцеры переходные, быстросъемные соединения, стойки, коллекторы для подключения поверяемых датчиков с различными резьбами к источнику создания давления, стойки, коллекторы и др.

**1.2. Портативный калибратор давления Метран-517 (-Ex)**



- Диапазоны измерений:
  - изб. давление от 0...0,4 кПа до 0...60 МПа;

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

- абс. давление от 0...25 кПа до 0...6 МПа;
- давление-разрежение от  $\pm 0,63$ кПа до  $-0,1 \dots 2,5$  МПа;
- разрежение от 0...-0,630 до 0...-100 кПа
- Диапазоны электрических сигналов:
  - измерение 0...22 мА, 0...1 В, 0-50 В;
  - воспроизведение 0-22мА, 0-1 В
- Погрешность измерений:
  - давления  $\pm 0,02 \dots 0,1\%$  ВПИ;
  - тока  $\pm 0,0125\%$  (для 4-20мА)
- Единицы измерения давления: Па, кПа, МПа, psi, кгс/м<sup>2</sup>, кгс/см<sup>2</sup> мм рт.ст., мм вод.ст., мбар, бар
- Исполнения: общепромышленное и взрывозащищенное с маркировкой 1 ExiallBT4X
- Аппаратно-программный интерфейс ПК (USB)

Внесены в Госреестр средств измерений под №39151-12, свидетельство №46423

- ТУ 4381-061-51453097-2010
- ЕАС ТС N RU fl-RU.AB72.B.02438
- ЕАС ТС N RU C-RU.rB05.B.02439
- ЕАСТCRU C-RU.rB05.B.00859

Портативный калибратор давления Метран-517 предназначен для точного измерения и воспроизведения абсолютного и избыточного давления, разрежения, давления-разрежения, напряжения и силы постоянного тока.

Применяется в качестве рабочего эталона при поверке и калибровке датчиков давления, разности давлений, разрежения, давления-разрежения с погрешностью  $\pm 0,065\%$  и более, образцовых манометров, вторичных приборов; для проверки блоков питания, реле давления и т.п.

В комплект калибратора могут входить модули давления Метран-518 (подробнее см. описание Эталонных модулей давления Метран-518).

Функциональные возможности Метран-517:

- ❖ калибровка приборов в условиях эксплуатации;
- ❖ симуляция выходного токового сигнала датчика;
- ❖ возможность поверки по HART-протоколу;
- ❖ автоматическое вычисление погрешности датчиков;
- ❖ энергонезависимый архив (до 1024 результатов измерений);
- ❖ режим работы с эталонами давления (Воздух, ГПМ);
- ❖ формирование протоколов поверки датчиков давления, технических и образцовых манометров (с помощью ПО "Поверка СИД").

### **УСТРОЙСТВО И ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ**

Основными элементами калибратора являются:

- ✓ электронный блок;
- ✓ внешние эталонные модули давления Метран-518;
- ✓ источники создания давления: помпа ручная пневматическая, насос ручной пневматический, пресс ручной гидравлический, помпа ручная многофункциональная (пневмогидравлическая).

Все элементы калибратора размещены в малогабаритной сумке, удобной для транспортировки.

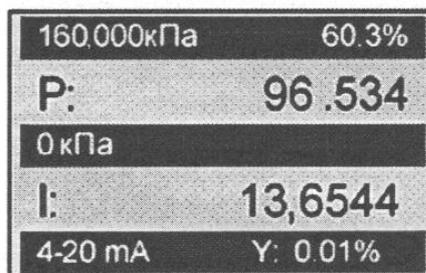
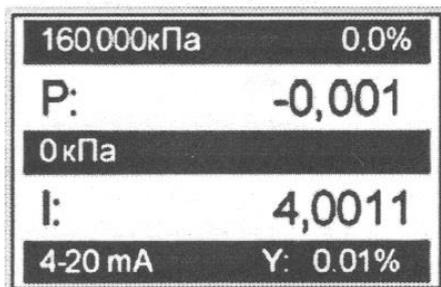
Измеряемое давление, созданное источником давления, подается непосредственно на эталонный модуль давления и через соединительный шланг - на поверяемый датчик давления (при необходимости используются переходные штуцеры). Электрический сигнал прецизионного сенсора модуля давления

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

преобразуется в цифровой код с учетом коэффициентов преобразования характеристики сенсора (подробнее см. описание Эталонных модулей давления Метран-518).

Цифровой код модуля, через входной разъем электронного блока поступает в микропроцессор калибратора и выводится на жидкокристаллический графический дисплей (ЖКИ) электронного блока как действительное значение давления, созданное источником давления в рабочей полости поверяемого датчика давления.

Выходной электрический сигнал поверяемого датчика через цепи защиты, предохраняющие электронную схему блока от перегрузок, попадает на вход многоканального АЦП, преобразующего значение измеренного электрического сигнала в цифровой код, обрабатываемый микропроцессором. Значение выходного электрического сигнала поверяемого датчика отображается на ЖКИ калибратора.



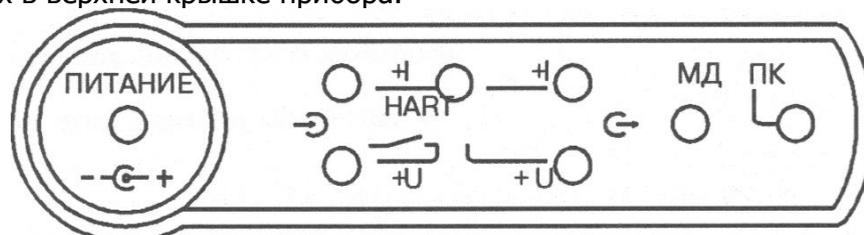
Для обеспечения поверки или калибровки вторичных приборов в калибраторе используется режим воспроизведения сигналов. В этом режиме на соответствующем выходе электронного блока воспроизводится значение тока или напряжения, задаваемое с помощью клавиатуры. Заданное значение электрических сигналов отображается в цифровой форме на ЖКИ калибратора.

Выбор функциональных возможностей: установка режимов работы, выбор диапазонов измерений, ввод данных и т.д. осуществляется с помощью 4-х основных клавиш клавиатуры электронного блока.

Использование аппаратно-программного интерфейса ПК позволяет передавать данные калибровки с калибратора в персональный компьютер, вести базу данных, формировать протоколы поверки датчиков давления, образцовых и технических манометров. Протокол поверки содержит: общие технические сведения (тип, заводской номер, межповерочный интервал), условия поверки, технические характеристики (верхний предел измерений, установленный диапазон измерений и т.д.), график изменения погрешности и параметры поверки (см. описание программного обеспечения "Поверка СИД").

**Подключение**

Все подключения калибратора Метран-517 производятся с помощью клемм, расположенных в верхней крышке прибора.



В комплект поставки калибратора входит обрезиненный чехол с ремнем для защиты элементов подключения и корпуса калибратора от механических повреждений и возможности освободить руки (не влияет на подключения и работу калибратора).

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний, метрологических поверок средств измерений

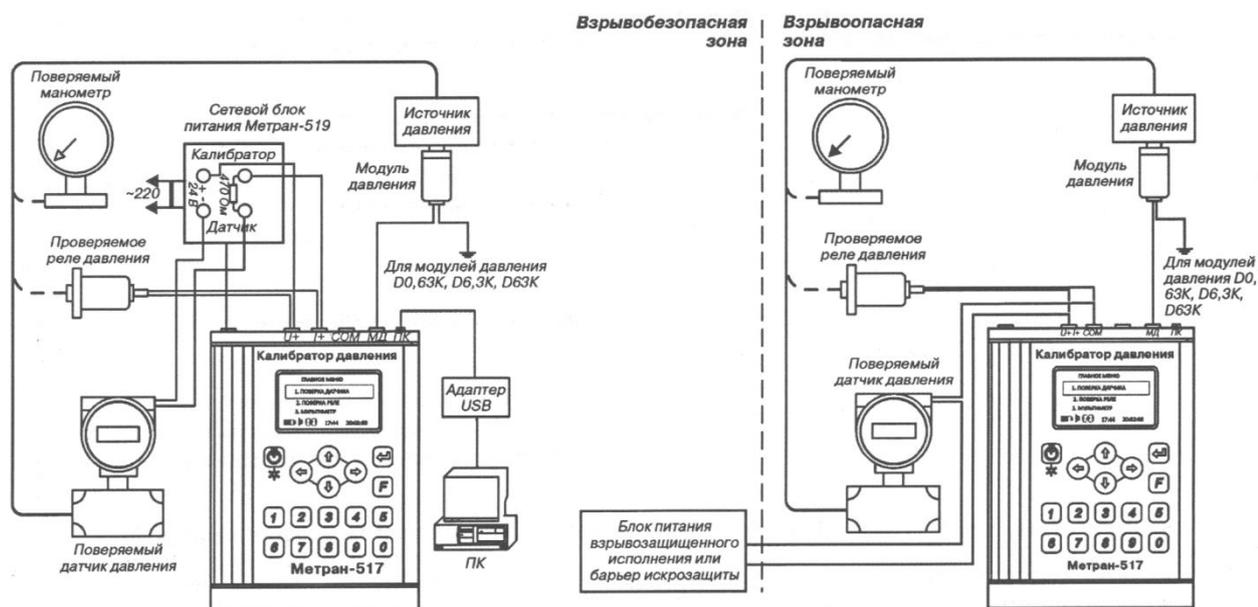


Рис.1. Схема подключения поверяемых приборов во взрывобезопасной зоне.

Рис.2. Схема подключения поверяемых приборов во взрывоопасной зоне.

Подключение калибратора Метран-517 к эталонным модулям давления Метран-518 производится через электрический кабель с самозащелкивающимися разъемами, который идет в комплекте поставки калибратора (подробнее о подключении модуля давления см. раздел Эталонные модули давления Метран-518).

### ОСОБЕННОСТИ КАЛИБРАТОРА МЕТРАН-517

#### 1. Электронный блок калибратора Метран-517

Электронный блок калибратора выполнен в портативном корпусе из алюминия, на лицевой поверхности которого размещены клавиатура и жидкокристаллический индикатор (ЖКИ), на верхней крышке расположены клеммы для подключения к измеряемым (воспроизводимым) электрическим сигналам, разъемы для подключения внешнего эталонного модуля давления, блока электропитания и адаптера USB, на нижней крышке блока - пробка батарейного отсека.

#### 2. Взрывозащищенное исполнение калибратора Метран-517

Калибратор Метран-517 и модули Метран-518 по заказу изготавливаются во взрывозащищенном исполнении. Это позволяет использовать калибратор Метран-517Ex во взрывоопасных зонах помещений и наружных установках согласно маркировке взрывозащиты 1ExiallBT4X.

Внимание: эксплуатация модулей давления Метран-518Ex во взрывоопасных зонах допускается только совместно с калибратором давления Метран-517Ex.

#### 3. Поверка кислородных приборов (опция)

Модули давления к калибратору Метран-517 могут проходить дополнительную подготовку (обезжиривание и др.). Для создания давления в этом случае должен использоваться пресс П-70-К, предназначенный для работы с кислородными приборами.

#### 4. Реализованы все виды давлений

Модули давления в составе калибратора Метран-517 обеспечивают измерение избыточного давления, абсолютного давления, разрежения, давления-разрежения, что позволяет использовать калибратор для поверки всех типов датчиков давления.

#### 5. Диапазоны измерений

Максимальное значение измеряемого давления 60 МПа. Минимальное значение давления/разрежения  $\pm 400$  Па (обеспечивает поверку многих датчиков разности

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

давлений, работающих в системах измерений расхода). Для создания малых значений давлений предназначена помпа П-0,04 (разрешение 1 Па!).

Максимальное значение измеряемого напряжения 50 В. Это позволяет использовать калибратор для проверки блоков питания и др.

**6. Различные варианты комплектации по диапазонам и погрешности измерений**

Калибратор имеет множество исполнений по погрешности измерений давления, тока, видам и диапазонам давлений. Возможны любые варианты комплектации калибратора.

**7. Возможность поверки высокоточных датчиков давления**

С помощью калибратора Метран-517 с погрешностью  $\pm 0,0125\%$  в диапазоне 4-20 мА (код "1") и модулей Метран-518 с погрешностью  $\pm 0,02\%$  (код "А") можно поверять датчики давления с погрешностью  $\pm 0,065\%$  (Rosemount 3051S и др.) с метрологическим запасом 1:2 (при поверке по аналоговому выходному сигналу) или 1:3 (по HART-протоколу)!

**8. Работа по HART-протоколу**

Калибратор обеспечивает визуализацию выходного сигнала датчика по HART-протоколу, подстройку нуля и пределов измерений поверяемого датчика. Это позволяет выполнять поверку и калибровку датчиков с выходным сигналом по HART-протоколу без использования HART-коммуникатора и т.п. устройств.

**9. Возможности калибратора в режиме воспроизведения силы постоянного тока**

Калибратор позволяет воспроизводить силу постоянного тока двумя способами:

– воспроизведение силы постоянного тока по схеме питания от собственного источника для поверки вторичных приборов ит.п.;

– по схеме включения в токовую петлю с внешним блоком питания. В этом режиме калибратор подключается в измерительную цепь с внешним источником питания вместо датчика давления (любого др. 2-х проводного датчика) и имитирует его работу воспроизведением соответствующих выходных сигналов в измерительную цепь. Такой режим позволяет проверить линии связи между устройствами и работу вторичных приборов.

**10. Наглядность показаний**

Высота символов измеряемых значений давления и тока 8 мм. Подсветка ЖКИ. Представление информации обо всех параметрах (в т.ч. о дате, времени, состоянии аккумулятора) в пять строк.

Отображение измерений на ЖКИ калибратора в режимах:

Аналоговый (токовый выходной сигнал датчика)	HART (цифровой выходной сигнал датчика по HART-протоколу)
160,000кПа 0.0%	25,000кПа 96.7%
P: -0,001	P: 24.1736
0 кПа	0,0000 кПа
I: 4,0011	P: 24.0181
4-20 mA Y: 0.01%	HART Y: -0.62%

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

В закрашенных строках - ВПИ, НПИ, выбранные единицы давления, текущий % от ВПИ, выходной сигнал (аналоговый или HART) и погрешность поверяемого датчика.

В не закрашенных строках - значение измеряемого модулем давления и значение выходного сигнала (ток в "Аналоговом" или давление в "HART" режиме) поверяемого датчика.

**11. Режим работы "С эталоном" давления (без модулей)**

При необходимости (например, поверка датчиков с  $\pm 0,05-0,06\%$  и др.) калибратор Метран-517 может работать совместно с более точными эталонами давления серии Метран-500 Воздух, грузопоршневыми манометрами и др. Для этого в калибраторе имеется режим "С эталоном". Пользователь вводит в калибратор ряд нагружения, воспроизводимого внешним эталоном и параметры эталона. Калибратор измеряет выходной сигнал датчика (аналоговый или по HART-протоколу), рассчитывает давление внешнего эталона с учетом поправок и погрешность поверяемого датчика. Результаты измерений наглядно представлены на ЖКИ калибратора. Параметры используемого эталона, поправки и результаты можно сохранить в память калибратора.

**12. Повышение надежности**

Подключение модуля Метран-518 к калибратору осуществляется с помощью электрического кабеля с самозащелкивающимися разъемами, с одной стороны кабель с помощью такого разъема подключается к модулю, с другой - к калибратору. Это повышает надежность соединений кабеля с модулем, с электронным блоком, упрощает и ускоряет подключение модулей давления к калибратору. Калибратор (электронный блок) имеет прочный алюминиевый корпус. Для повышения защиты элементов подключения и корпуса калибратора от механических повреждений и возможности освободить руки в комплект поставки входит чехол с ремнем (не влияет на подключения и работу калибратора).

**13. Программное обеспечение "Поверка СИД"**

Автоматизирует процесс поверки (калибровки) средств измерений давления, в т.ч. передачу данные из калибратора в ПК, ведение базы данных, формирование протоколов поверки (калибровки) датчиков давления, образцовых и технических манометров в соответствии со всеми требованиями методик и ГОСТ-ов на их поверку (описание см. в разделе "Программное обеспечение "Поверка СИД").

**ОСНОВНЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ И ПАРАМЕТРЫ**

**Диапазоны измерений давления**

Таблица 1

Код модуля давления	Диапазоны измерений модуля давления, МПа	Поддиапазоны измерений давления, МПа					Предел ьно-допускаемое давление, МПа
<b>Избыточное давление</b>							
2,5К	0-0,0025				0-0,0016	0-0,0025	0,0035
6,3К	0-0,0063				0-0,004	0-0,0063	0,0085
25К	0-0,025			0-0,01	0-0,016	0-0,025	0,035
160К	0-0,16		0-0,04	0-0,063	0-0,1	0-0,16	0,22
1М	0-1,0		0-0,25	0-0,4	0-0,63	0-1,0	1,4
6М	0-6,0		0-1,6	0-2,5	0-4,0	0-6,0	8
25М	0-25			0-10	0-16	0-25	35
60М	0-60				0-40	0-60	70
<b>Избыточное давление, разрежение, давление-разрежение</b>							
D0.63К	$\pm 0,00063$			0-0,0004	0-0,00063	$\pm 0,00063$	0,0025
D6.3К	$\pm 0,0063$		$\pm 0,00125$	$\pm 0,002$	$\pm 0,00315$	$\pm 0,0063$	0,012
		0-0,001	0-0,0016	0-0,0025	0-0,004	0-0,0063	

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

D63K	±0,063		±0,0125	±0,02	±0,0315	±0,063	0,12
		0-0,01	0-0,016	0-0,025	0-0,04	0-0,063	
D160K	-0,1-0,15			±0,05	-0,1-0,06	-0,1-0,15	0,22
		0-0,16	0-0,04	0-0,063	0-0,1	0-0,16	
D1M	-0,1-0,9			-0,1-0,3	-0,1-0,53	-0,1-0,9	1,4
		0-1,0	0-0,25	0-0,4	0-0,63	0-1,0	
D2.5M	-0,1-2,4				-0,1-1,5	-0,1-2,4	3,5
		0-2,5			0-1,6	0-2,5	
<b>Абсолютное давление</b>							
A160K	0-0,16	0-0,025	0-0,04	0-0,06	0-0,1	0-0,16	0,22
A1M	0-1,0		0-0,25	0-0,4	0-0,6	0-1	1,4
A6M	0-6,0		0-1,6	0-2,5	0-4,0	0-6,0	8

Примечания:

1. С одним электронным блоком может работать произвольное количество модулей давления.
2. Для обеспечения минимальной погрешности поверки (калибровки) датчиков давления диапазон измерений каждого сменного эталонного модуля разбит на 2-12 поддиапазонов (в зависимости от модуля), при этом допускаемая основная приведенная погрешность измерения давления нормируется от выбранного поддиапазона измерений.
3. Для всех модулей возможен ввод пользователем нестандартных диапазонов в пределах работы модуля, при этом калибратор будет выполнять измерение выходного сигнала датчика и автоматический расчет погрешности датчика в введенном диапазоне, но нормирование погрешности модуля будет от его ближайшего стандартного поддиапазона.

**Погрешности измерений давления**

Таблица 2

Код модуля давления	Диапазоны измерений модуля давления, МПа	Минимальный поддиапазон <sup>11</sup> измерений модуля, МПа	Пределы допускаемой основной приведенной погрешности у % поддиапазона измерений модуля не более (А-Г-коды погрешностей)						
			А	В	С	Д	Е	F	G
<b>Модули избыточного давления/ давления-разрежения</b>									
2,5K	0-0,0025	0-0,0016				±0,04%	±0,05%	±0,06%	±0,1%
6,3K	0-0,0063	0-0,004							
25K	0-0,025	0-0,01			±0,03%	±0,04%	±0,05%	±0,06%	
160K	0-0,16	0-0,04							
1M	0-1,0	0-0,25	±0,02%	±0,025%	±0,03%	±0,04%	±0,05%	±0,06%	
6M	0-6,0	0-1,6							
25M	0-25	0-10							
60M	0-60	0-40		±0,025%	±0,03%	±0,04%	±0,05%	±0,06%	

Код модуля давления	Диапазоны измерений модуля давления, МПа	Минимальный поддиапазон <sup>11</sup> измерений модуля, МПа	Пределы допускаемой основной приведенной погрешности у % поддиапазона измерений модуля не более (А-Г-коды погрешностей)						
			А	В	С	Д	Е	Ф	G
<b>Модули избыточного давления, разрежения, давления-разрежения<sup>3</sup></b>									
D0.63K	±0,00063	0-0,0004					$\pm \frac{0,04}{100} \leq$	$\pm \frac{0,06}{100} \leq$	±0,1% (±0,15%) <sup>2&gt;</sup>
D6.3K	±0,0063	0-0,001				±0,04% (±0,05%) <sup>21</sup>	±0,05% (±0,06%) <sup>21</sup>	±0,06% (±0,1%) <sup>21</sup>	±0,1% (±0,15%) <sup>2&gt;</sup>
D63K	±0,063	0-0,01	±0,02%	±0,025%	±0,03%	±0,04%	±0,05%	±0,06%	

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

D160K	-0,1-0,15 0-0,16	0-0,04							
D1M	-0,1-0,9 0-1,0	0-0,25							
D2.5M	-0,1-2,4 0-2,5	0-1,6							
<b>Модули абсолютного давления</b>									
A160K	0-0,16	0-0,025		$\pm 0,025\%$ <sub>3),4)</sub>	$\pm 0,03\%$ <sub>3),4)</sub>	$\pm 0,04\%$ <sub>3)</sub>	$\pm 0,05\%$ <sub>3)</sub>	$\pm 0,06\%$	$\pm 0,1\%$
A1M	0-1,0	0-0,25		$\pm 0,025\%$	$\pm 0,03\%$	$\pm 0,04\%$	$\pm 0,05\%$	$\pm 0,06\%$	$\pm 0,1\%$
A6M	0-6,0	0-1,6							

- 1) Все поддиапазоны модулей указаны в табл.1.
- 2) Погрешность в поддиапазонах избыточного давления указана без скобок, в скобках указана погрешность в поддиапазонах давления-разрежения.
- 3) Погрешность  $\pm 0,06\%$  в поддиапазоне 0-25 кПа.
- 4) Погрешность  $\pm 0,04\%$  в поддиапазоне 0-40 кПа.

Примечание: с одним калибратором допускается приобретение различных комбинаций модулей давления по диапазонам измерений и погрешности.

Основная погрешность измерений давления включает нелинейность, вариацию и повторяемость.

**Диапазоны и погрешности измерений (воспроизведений) электрических сигналов**

Таблица 3

Код погрешности	Параметр	Диапазон	Предел допускаемой основной погрешности, не более
1	<b>В режиме измерения</b>		
	Ток, мА <sup>1)</sup>	0-22	$\pm(0,0075\% \text{ ИВ} + 0,0005 \text{ мА})^{2>}$
	Напряжение, В	0-1	$\pm(0,02\% \text{ ИВ} + 0,0001 \text{ В})$
		0-50	$\pm(0,04\% \text{ ИВ} + 0,002 \text{ В})$
	<b>В режиме воспроизведения</b>		
	Ток, мА	0-22	$\pm(0,02\% \text{ ИВ} + 0,001 \text{ мА})$
Напряжение, В	0-1	$\pm(0,02\% \text{ ИВ} + 0,0002 \text{ В})$	
2	<b>В режиме измерения</b>		
	Ток, мА	0-22	$\pm(0,0075\% \text{ ИВ} + 0,001 \text{ мА})^{2>}$
	Напряжение, В	0-1	$\pm(0,02\% \text{ ИВ} + 0,0001 \text{ В})$
		0-50	$\pm(0,04\% \text{ ИВ} + 0,002 \text{ В})$
	<b>В режиме воспроизведения</b>		
	Ток, мА <sup>3)</sup>	0-22	$\pm(0,02\% \text{ ИВ} + 0,001 \text{ мА})$
Напряжение, В	0-1	$\pm(0,02\% \text{ ИВ} + 0,0002 \text{ В})$	

ИВ - значение измеряемой (воспроизводимой) величины.

- 1) Калибратор Метран-517 позволяет измерять выходные сигналы датчиков давления 0-5, 5-0, 4-20, 20-4 мА.
- 2) Пределы допускаемой основной погрешности в диапазоне температур от 10 до 35°С.
- 3) В режиме воспроизведения тока допускается подключать калибратор по схеме питания от собственного источника тока или по схеме включения в токовую петлю с внешним блоком питания.

Примечание: калибратор взрывозащищенного исполнения позволяет воспроизводить токовый сигнал только по схеме включения в токовую петлю с внешним блоком питания (описание режима см. "Особенности калибратора Метран-517 и модулей Метран-518" в данном разделе).

**Пределы допускаемой дополнительной погрешности, вызванной изменением температуры окружающего воздуха:**

от температуры  $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$  на каждые  $10^\circ\text{C}$ , %:

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

- в режиме измерения давления  $\pm 0,5\gamma$ ;
- в режимах измерения напряжения и воспроизведения тока, напряжения  $\pm 0,5$

$\delta$ ;

- от 0 до 10 °С и от 35 до 50 °С в режиме измерения тока  $\pm 0,5\delta$ ;

$\gamma$  - предел основной допускаемой приведенной погрешности,

$\delta$  - предел основной допускаемой относительной погрешности.

**Степень защиты от воздействий пыли и воды:**

- ✓ электронного блока калибратора Метран-517 - IP54;
- ✓ всех эталонных модулей Метран-518 - IP54.

**Масса** калибратора Метран-517 без источников создания давления и модулей не более 2 кг.

**Средний срок службы** калибратора - не менее 8 лет. Число разрядов для индикации параметров:

– 6 десятичных разрядов - индикация давления, тока и напряжения (в диапазоне 0-1 В);

– 5 десятичных разрядов - индикация напряжения в диапазоне 0-50 В.

Питание калибратора Метран-517 - от сетевого блока питания Метран-519 или от встроенных аккумуляторов.

**Мощность**, потребляемая электронным блоком от сетевого блока, не более:

- 1,2 Вт - в режиме измерения;
- 1,3 Вт - в режиме воспроизведения;
- 6 Вт - при зарядке блока аккумуляторов.

**Входное сопротивление** электронного блока:

- ✚ не менее 10 МОм - при измерении напряжения;
- ✚ не более 20 Ом - при измерении тока.

**ПОВЕРКА**

Периодичность поверки -1 раз в год.

Поверку проводится у изготовителя или в территориальных органах Ростехрегулирования.

**УСЛОВИЯ ЭКСПЛУАТАЦИИ**

Температура окружающего воздуха от 0 до 50 °С. Относительная влажность от 30 до 80% при 25 °С.

Атмосферное давление от 84 до 106,7 кПа.

**ГАРАНТИЙНЫЕ ОБЯЗАТЕЛЬСТВА**

Гарантийные обязательства -12 месяцев со дня ввода в эксплуатацию, но не более 18 месяцев со дня отгрузки с предприятия-изготовителя.

**ТЕХНИЧЕСКИЙ СЕРВИС**

ЗАО "ПГ "Метран" осуществляет следующие виды работ:

1. Профилактические работы:

- проверка герметичности, работоспособности;
- устранение дефектов;
- определение метрологических характеристик.

2. Средний или сложный ремонт в короткие сроки.

3. Калибровка модулей давления, погрешность которых больше допускаемой основной погрешности.

4. Поверка (выполняется ЗАО "ПГ "Метран" или на метрологической базе изготовителя с привлечением ФБУ "Челябинский ЦСМ").

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

**опция**

1. Аппаратно-программный интерфейс для Метран-517<sup>1)</sup>.  
2. "Обезжиривание". Калибратор давления может выпускаться с кодом исполнения "Обезжиривание" и применяется для поверки и калибровки приборов кислородного исполнения. Перед работой они проходят операцию обезжиривания. Для работы с калибратором Метран-517 модули давления которого были обезжирены рекомендуется применять пресс П-70К, предназначенный для работы с кислородными приборами. Рабочая среда прессы П-70К- дистиллированная вода по ГОСТ 6709. Код опции в строке заказа - "О".

3. Блок аккумуляторов 1594.130.00 (дополнительный блок аккумуляторов для калибратора Метран-517Ex взрывозащищенного исполнения).

4. Штуцеры переходные, быстросъемные соединения, стойки, коллекторы для подключения поверяемых датчиков с различными резьбами к источнику создания давления, стойки, коллекторы и др.<sup>2)</sup>

1) В комплект поставки входит адаптер USB, кабель для подключения калибратора к ПК, программное обеспечение "Поверка СИД" (описание см. в разделе программное обеспечение "Поверка СИД"). Для заказа аппаратно- программного интерфейса для Метран-517 следует указать заводской номер (калибратор остается у пользователя).

2) Информацию см. в разделах "Быстросъемное соединение БС-70", "Средства коммутации и установки приборов, ЗИП".

**1.3. Эталонные модули давления Метран-518 (-Ex)**



- ❖ Диапазоны измерений:
  - изб. давление от 0...0,4 кПа до 0...60 МПа;
  - абс. давление от 0...25 кПа до 0...6 МПа;
  - давление-разрежение от  $\pm 0,63$ кПа до -0,1 ...2,5 МПа;
  - разрежение от 0...-0,630 до 0...-100 кПа
- ❖ Погрешность измерений  $\pm 0,02...0,1\%$  ВПИ
- ❖ Единицы измерения давления: Па, кПа, МПа, psi, кгс/м<sup>2</sup>, кгс/см<sup>2</sup>, мм рт.ст., мм вод.ст., мбар, бар
- ❖ Исполнения: общепромышленное и взрывозащищенное с маркировкой 1ExiallBT4X
- ❖ Степень защиты от пыли и воды IP54

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

- ❖ Аппаратно-программный интерфейс ПК (USB)
- ❖ Внесены в Госреестр средств измерений под № 39152-12, свидетельство N2 46416
- ❖ ТУ 4381-061-51453097-2010
- ❖ EAC TC N RU A-RU.AB72.B.02436 EAC TC N RU C-RU.rB05.B.00859

Эталонный модуль давления предназначен для точного измерения и непрерывного преобразования значений абсолютного и избыточного давления, разрежения, давления-разрежения при поверке и калибровке различных приборов давления, погрешность которых  $\pm 0,065\%$  и более.

Модуль давления Метран-518 может применяться в качестве:

- цифрового манометра при подключении к компьютеру через адаптер USB. Управление работой модуля, регистрация показаний и формирование протоколов поверки производится с помощью ПО «Поверка СИД»;
- рабочего эталона давления в составе калибраторов давления Метран-517 или Метран-520;
- рабочего эталона для поверки и калибровки средств измерений давления кислородного исполнения (опция «Обезжиривание»);
- рабочего эталона давления при работе во взрывоопасных зонах помещений и наружных установок с маркировкой 1ExiIBT4X (опция взрывозащищенное исполнение, только с калибратором Метран-517-Ex).

#### **УСТРОЙСТВО И ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ**

Модуль давления эталонный Метран-518. Модуль давления выполнен в виде малогабаритного устройства. Основными элементами модуля являются: прецизионный датчик давления, аналого-цифровой преобразователь (АЦП), микроконтроллер и энергонезависимая память (EEPROM). В качестве датчика в модулях давления D0.63K, D6,3K, D63K используется емкостная измерительная ячейка, в остальных модулях - тензопреобразователь. Микроконтроллер модуля давления обеспечивает непрерывное вычисление измеренного давления и температурную компенсацию в соответствии с функцией преобразования. Индивидуальные коэффициенты функции преобразования, полученные при калибровке модуля на предприятии-изготовителе, хранятся в энергонезависимой памяти модуля давления.

Модуль имеет встроенный асинхронный последовательный интерфейс, по которому он передает информацию об измеренном давлении в электронный блок калибратора давления (Метран-517 или Метран-520) или в персональный компьютер.

Модули давления обеспечивают измерение избыточного давления, абсолютного давления разрежения, давления-разрежения и имеют множество исполнений по диапазону и погрешности измерений давления, что позволяет использовать их для поверки всех типов приборов давления. Максимальное значение измеряемого давления 60 МПа. Минимальное значение давления-разрежения  $\pm 400$  Па.

Для генерации давления при поверке и калибровке используются пневматические и гидравлические источники создания давления (см. описание Источников создания давления). Все модули давления Метран-518 имеют в своей конструкции разделительную диафрагму (мембрану) из нержавеющей стали и обеспечивают работу, как с газообразными, так и жидкими средами, не вызывающими коррозию стали марки 12Х18Н10Т.

Модули давления изготавливаются в общепромышленном и взрывозащищенном исполнении, а также с кодом исполнения «Обезжиривание». Маркировка

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

взрывозащиты 1ExiallBT4X. Модули давления с кодом исполнения «Обезжиривание» предназначены только для поверки и калибровки СИД кислородного исполнения, не относятся к кислородному оборудованию и не предназначены для работы с газообразным кислородом и обогащенным кислородом воздухом.

**Внимание:** эксплуатация модулей давления Метран- 518-Ех во взрывоопасных зонах допускается только совместно с калибраторами давления Метран-517-Ех.

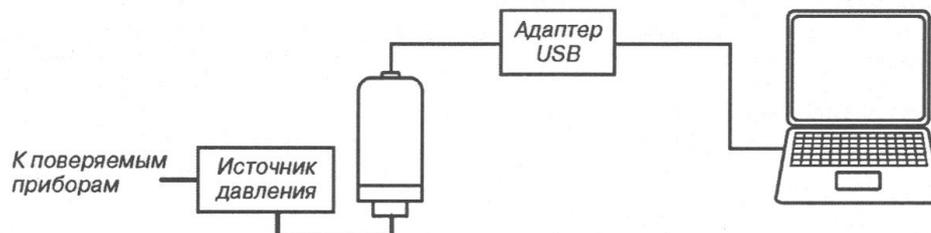


Рис. 1. Схема подключения модуля давления Метран-518 к компьютеру.

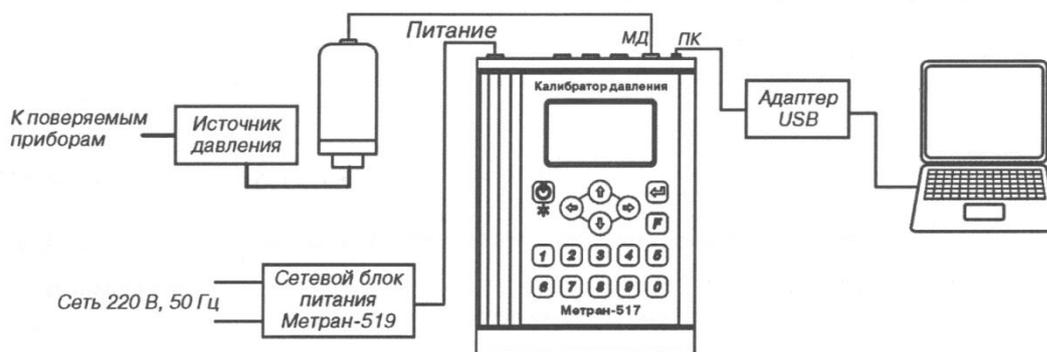


Рис.2. Схема подключения модуля давления Метран-518 при работе в составе калибратора Метран-517.

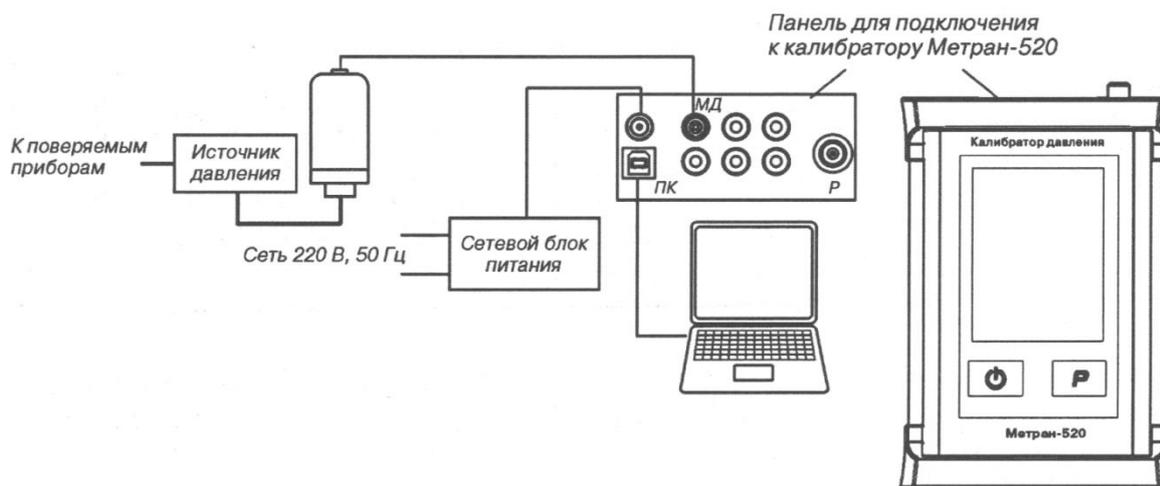


Рис.3. Схема подключения модуля давления Метран-518 при работе в составе калибратора Метран-520.

**Режим работы с помощью компьютера**

Для управления работой модуля с помощью компьютера применяется Аппаратно-программный интерфейс для модулей Метран-518. Аппаратно-программный интерфейс - это комплект для оснащения одного рабочего места, включающий адаптер USB для подключения модуля давления к ПК и программное обеспечение «Поверка СИД».

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

Подключение модуля давления Метран-518 к адаптеру USB выполняется с помощью электрического кабеля с самозащелкивающимся разъемом из комплекта поставки аппаратно-программного интерфейса для эталонных модулей Метран-518.

Модуль давления при работе с помощью компьютера обеспечивает выполнение следующих функций:

- измерение давления и обеспечение связи с ПКпо интерфейсу стандарта USB;
- проведение поверки, определение погрешности измерения давления ;
- формирование протокола поверки приборов давления в соответствии с соответствующими методиками поверки;
- корректировки показаний измеряемого давления (обнуление модулей);
- работа в режиме «Мониторинг давления» с сохранением измеренных модулем значений давления в течение заданного интервала времени;
- пользовательская калибровка модуля давления;
- хранение и передачу информации о модуле давления: код, диапазон, заводской номер, дату калибровки, предел допускаемой основной приведенной погрешности, количество зафиксированных перегрузок и дату последней зафиксированной перегрузки;
- хранение и передачу шестнадцати значений ВПИ и НПИ поверяемого прибора.

**Режим работы с помощью калибратора**

Выбор режимов работы и диапазонов измерений модуля проводится с помощью клавиатуры и дисплея калибраторов Метран-517 и Метран-520.

Модуль давления Метран-518 может применяться с любым электронным блоком калибратора Метран-517 или Метран-520, что позволяет заказчику расширять рабочий диапазон калибраторов и функциональные возможности комплекта для поверки и калибровки без отправки электронного блока калибратора изготовителю для перекалибровки.

Подключение модуля давления Метран-518 к калибратору Метран-517 или Метран-520 выполняется с помощью электрического кабеля с самозащелкивающимся разъемом из комплекта поставки калибраторов давления.

Особенности работы и функции модулей давления в составе комплекта калибраторов давления Метран-517 и Метран-520 см. соответствующие разделы данного каталога.

**ОСНОВНЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ И ПАРАМЕТРЫ**

**Диапазоны измерений давления**

Таблица 1

Код модуля давления	Диапазоны измерений модуля давления, МПа	Поддиапазоны измерений давления, МПа					Предельно-допускаемое давление, МПа
<b>Избыточное давление</b>							
2,5К	0-0,0025				0-0,0016	0-0,0025	0,0035
6,3К	0-0,0063				0-0,004	0-0,0063	0,0085
25К	0-0,025			0-0,01	0-0,016	0-0,025	0,035
160К	0-0,16		0-0,04	0-0,063	0-0,1	0-0,16	0,22
1М	0-1,0		0-0,25	0-0,4	0-0,63	0-1,0	1,4
6М	0-6,0		0-1,6	0-2,5	0-4,0	0-6,0	8
25М	0-25			0-10	0-16	0-25	35
60М	0-60				0-40	0-60	70
<b>Избыточное давление, разрежение, давление-разрежение</b>							
D0.63K*	±0,00063				0-0,0004	0-0,00063	±0,00063
D6.3K	±0,0063		±0,00125	±0,002	±0,00315	±0,0063	0,012
		0-0,001	0-0,0016	0-0,0025	0-0,004	0-0,0063	
D63K	±0,063		±0,0125	±0,02	±0,0315	±0,063	0,12
				-0,063-0,0	-0,04-0	-0,025-0	
		0-0,01	0-0,016	0-0,025	0-0,04	0-0,063	

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

D160K	-0,1-0,15			±0,05	-0,1-0,06	-0,1-0,15	0,22
	0-0,16		0-0,04	0-0,063	0-0,1	0-0,16	
D1M	-0,1-0,9			-0,1-0,3	-0,1-0,53	-0,1-0,9	1,4
	0-1,0		0-0,25	0-0,4	0-0,63	0-1,0	
D2.5M	-0,1-2,4				-0,1-1,5	-0,1-2,4	3,5
	0-2,5				0-1,6	0-2,5	
<b>Абсолютное давление</b>							
A160K	0-0,16	0-0,025	0-0,04	0-0,06	0-0,1	0-0,16	0,22
A1M	0-1,0		0-0,25	0-0,4	0-0,6	0-1	1,4
A6M	0-6,0		0-1,6	0-2,5	0-4,0	0-6,0	8

Примечания:

1. Для обеспечения минимальной погрешности поверки (калибровки) диапазон измерений каждого сменного эталонного модуля разбит на 2-12 поддиапазонов (в зависимости от модуля), при этом допускаемая основная приведенная погрешность измерения давления нормируется от выбранного поддиапазона измерений.

2. Для всех модулей возможен ввод пользователем нестандартных диапазонов в пределах работы модуля, но нормирование погрешности модуля будет от его ближайшего стандартного поддиапазона.

\* Только для общепромышленного исполнения.

**Погрешности измерений давления**

Таблица 2

Код модуля давления	Диапазоны измерений модуля давления, МПа	Минимальный поддиапазон <sup>11</sup> измерений модуля, МПа	Пределы допускаемой основной приведенной погрешности $\gamma$ % поддиапазона измерений модуля <sup>1)</sup> , не более (A-G-коды погрешностей)						
			A	B	C	D	E	F	G
<b>Модули избыточного давления/ давления-разрежения</b>									
2,5K	0-0,0025	0-0,0016				±0,04%	±0,05%	±0,06%	±0,1%
6,3K	0-0,0063	0-0,004							
25K	0-0,025	0-0,01			±0,03%	±0,04%	±0,05%	±0,06%	
160K	0-0,16	0-0,04	±0,02%	±0,025%	±0,03%	±0,04%	±0,05%	±0,06%	
1M	0-1,0	0-0,25							
6M	0-6,0	0-1,6							
25M	0-25	0-10							
60M	0-60	0-40		±0,025%	±0,03%	±0,04%	±0,05%	±0,06%	
<b>Модули избыточного давления, разрежения, давления-разрежения<sup>2)</sup></b>									
D0.63K	±0,00063	0-0,0004					±0,05% (±0,1%) <sup>2)</sup> >	±0,06% (±0,1%) <sup>2)</sup> >	±0,1% (±0,15%) <sup>2)</sup>
D6.3K	±0,0063	0-0,001				±0,04% (±0,05%) <sup>2)</sup> >	±0,05% (±0,06%) <sup>2)</sup> >	±0,06% (±0,1%) <sup>2)</sup> >	±0,1% (±0,15%) <sup>2)</sup>
D63K	±0,063	0-0,01	±0,02%	±0,025%	±0,03%	±0,04%	±0,05%	±0,06%	
D160K	-0,1-0,15 0-0,16	0-0,04							
D1M	-0,1-0,9 0-1,0	0-0,25							
D2.5M	-0,1-2,4 0-2,5	0-1,6							
<b>Модули абсолютного давления</b>									
A160K	0-0,16	0-0,025		±0,025% <sub>3),4)</sub>	±0,03% <sub>3),4)</sub>	±0,04% <sub>3)</sub>	±0,05% <sub>3)</sub>	±0,06%	±0,1%
A1M	0-1,0	0-0,25		±0,025%	±0,03%	±0,04%	±0,05%	±0,06%	±0,1%
A6M	0-6,0	0-1,6							

1) Все поддиапазоны модулей указаны в табл.1.

2) Погрешность в поддиапазонах избыточного давления указана без скобок, в скобках указана погрешность в поддиапазонах давления-разрежения.

3) Погрешность ±0,06% в поддиапазоне 0-25 кПа.

4) Погрешность ±0,04% в поддиапазоне 0-40 кПа.

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

Примечание: основная погрешность измерений давления включает нелинейность, вариацию и повторяемость.

**Пределы допускаемой дополнительной погрешности**, вызванной изменением температуры окружающего воздуха от температуры  $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$  на каждые  $10^\circ\text{C}$ , %:  $\pm 0,5\gamma$ .

**Степень защиты от воздействия пыли и влаги:** IP54

**Масса модуля давления**

- на основе тензопреобразователя не более 0,5 кг;
- на основе емкостной измерительной ячейки не более 1,5 кг.

**Средний срок службы** не менее 8 лет.

**Питание** модуля от электронного блока калибратора давления (Метран-517 или Метран-520) или от адаптера USB.

**Мощность**, потребляемая модулем давления, не более 0,05 Вт.

### ПОВЕРКА

Периодичность поверки - 1 раз в год.

Поверка проводится у изготовителя или в территориальных органах Ростехрегулирования.

### УСЛОВИЯ ЭКСПЛУАТАЦИИ

- Температура окружающего воздуха от 0 до  $50^\circ\text{C}$ .
- Относительная влажность от 30 до 80% при  $25^\circ\text{C}$ .
- Атмосферное давление от 84 до 106,7 кПа.

### ГАРАНТИЙНЫЕ ОБЯЗАТЕЛЬСТВА

Гарантийные обязательства - 12 месяцев со дня ввода в эксплуатацию, но не более 18 месяцев со дня отгрузки с предприятия-изготовителя.

### ТЕХНИЧЕСКИЙ СЕРВИС

ЗАО "ПГ "Метран" осуществляет следующие виды работ:

1. Профилактические работы:
  - проверка герметичности, работоспособности;
  - устранение дефектов;
  - определение метрологических характеристик.
2. Средний или сложный ремонт в короткие сроки.
3. Калибровка модулей давления, погрешность которых больше допускаемой основной погрешности.
4. Поверка (выполняется на метрологической базе изготовителя с привлечением ФБУ "Челябинский ЦСМ").

### ОПЦИИ

1. Аппаратно-программный интерфейс для Метран-518.
2. "Обезжиривание". Модули давления калибратора с кодом исполнения "Обезжиривание" предназначены только для поверки и калибровки приборов кислородного исполнения. Перед работой они проходят операцию обезжиривания. Для работы с обезжиренными модулями давления рекомендуется применять пресс П-70К, предназначенный для работы с кислородными приборами. Рабочая среда пресса П-70К- дистиллированная вода по ГОСТ 6709. Код опции в строке заказа - «О».
3. Кабель для подключения модуля давления к калибратору или адаптеру USB.
4. Штуцеры переходные, быстросъемные соединения, стойки, коллекторы для подключения поверяемых датчиков с различными резьбами к источнику создания давления, стойки, коллекторы и др.

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

- 1) В комплект поставки входит адаптер USB, кабель для подключения модуля давления к ПК, программное обеспечение «Поверка СИД» (описание см. в разделе программное обеспечение «Поверка СИД»), Для заказа аппаратно- программного интерфейса для Метран-518 следует указать только заводской номер (модуль остается у пользователя).
- 2) Информацию см. в разделах "Быстросъемное соединение БС-70", "Средства коммутации и установки приборов, ЗИП".

#### 1.4. Портативный калибратор давления Метран-501 -ПКД-Р



- Диапазоны измерений:
  - давления от 0...1,6 кПа до 0...60 МПа;
  - разрежения от 0...-0,025 до 0...-0,1 МПа
- Диапазоны измерений и воспроизведения электрических сигналов: 0-1 В; 0-20 мА
- Погрешность измерений давления  $\pm 0,04\%$  ВПИ,  $\pm 0,05\%$  ВПИ
- Питание поверяемых датчиков напряжением 24 В от блока питания Метран-516
- Единицы измерения давления: Па, кПа, МПа, кгс/м<sup>2</sup>, кгс/см<sup>2</sup>, мм рт.ст., мм вод.ст., мбар, бар
- Степень защиты калибратора от воздействий пыли и воды IP54
- Аппаратно-программный интерфейс ПК (USB)
- Питание калибратора:
  - от встроенного Ni-MH аккумулятора;
  - от сетевого блока питания Метран-516
- Внесен в Госреестр средств измерений под №22307-09, свидетельство №35565
- ТУ 4381-056-51453097-2009
- ЕАС ТС N RU A-RU.AB72.B.02443
- ЕАС ТС N RU A-RU.AB72.B.02446

Портативный калибратор давления Метран-501-ПКД-Р предназначен для точного измерения и воспроизведения давления, разрежения, напряжения и силы постоянного тока.

Применяется в качестве рабочего эталона при поверке и калибровке датчиков давления, разности давлений, разрежения, образцовых манометров, вторичных

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

показывающих и регистрирующих приборов, а также для проверки сигнализирующих устройств электроконтактных манометров, реле давления.

Основные функциональные возможности:

- ❖ калибровка средств измерений давления в условиях эксплуатации;
- ❖ автоматическое вычисление погрешности датчиков давления;
- ❖ архивирование результатов калибровки датчиков давления в энергонезависимой памяти;
- ❖ передача результатов калибровки в ПК;
- ❖ формирование протоколов поверки датчиков давления (с помощью программного обеспечения "Поверка СИД").

**УСТРОЙСТВО И ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ  
КАЛИБРОВКА ПРИБОРОВ В УСЛОВИЯХ ИХ ЭКСПЛУАТАЦИИ**

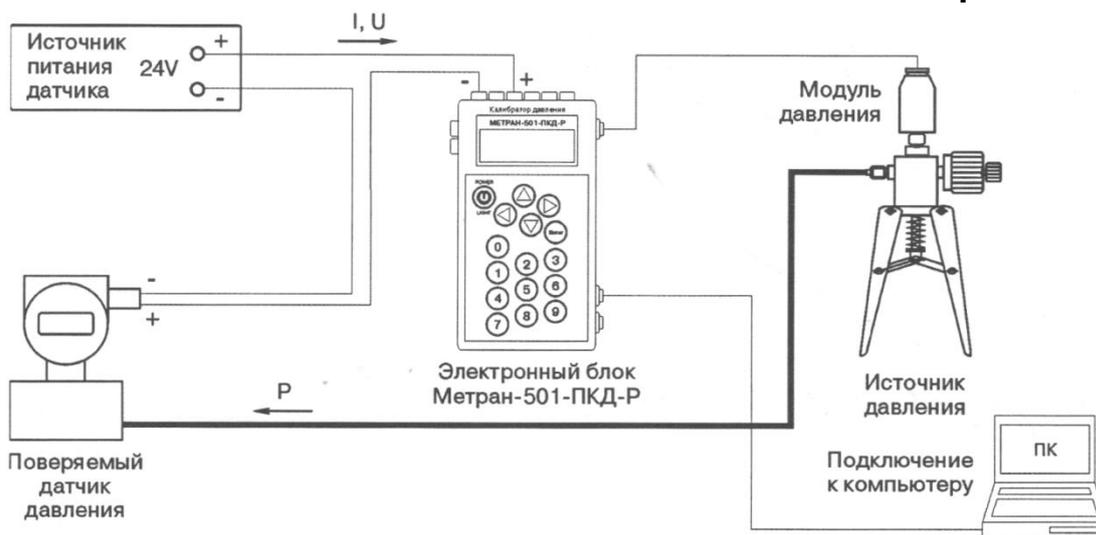


Рис. 1. Калибровка измерительных преобразователей (датчиков) давления.

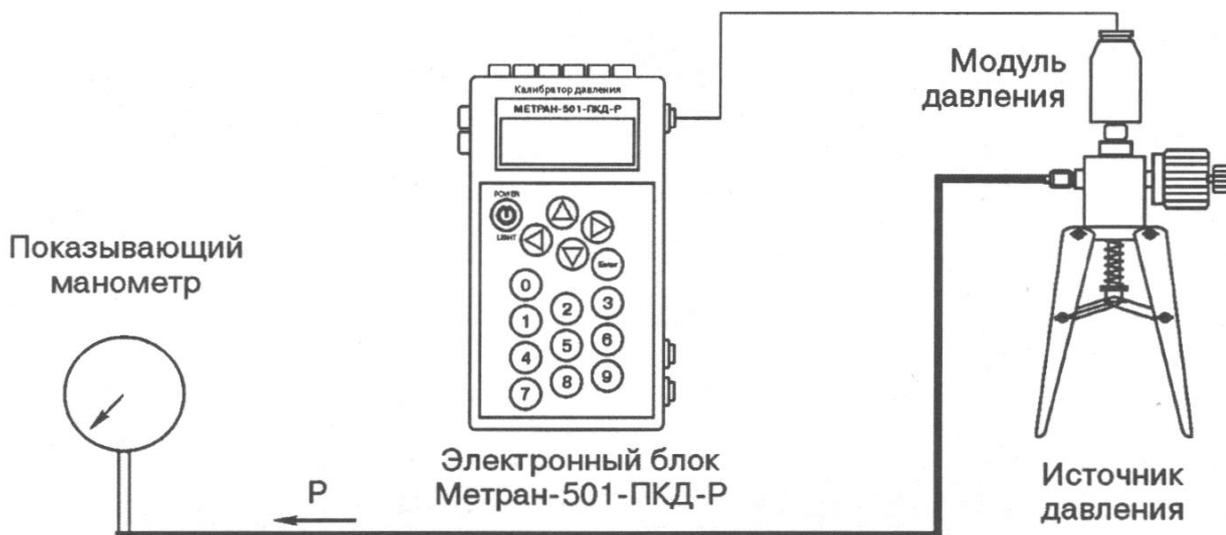


Рис.2. Калибровка показывающих манометров.

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений



Рис.3. Проверка реле давления.

Примечание: питание электронного блока Метран-501 -ПКД-Р - от встроенного Ni-MH-аккумулятора.

**ПОВЕРКА И КАЛИБРОВКА ПРИБОРОВ В  
ЛАБОРАТОРНЫХ УСЛОВИЯХ**

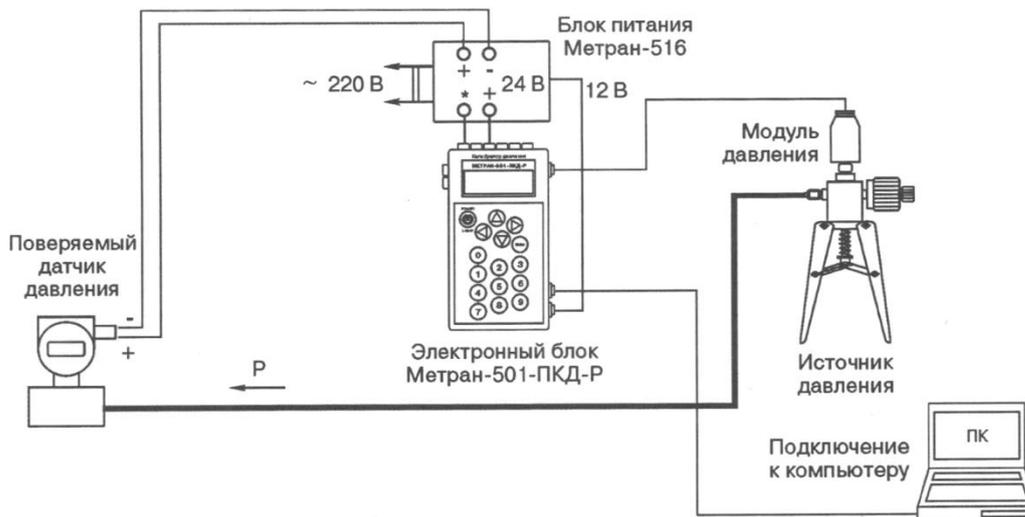


Рис.4. Поверка и калибровка измерительных преобразователей (датчиков) давления.

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний, метрологических поверок средств измерений

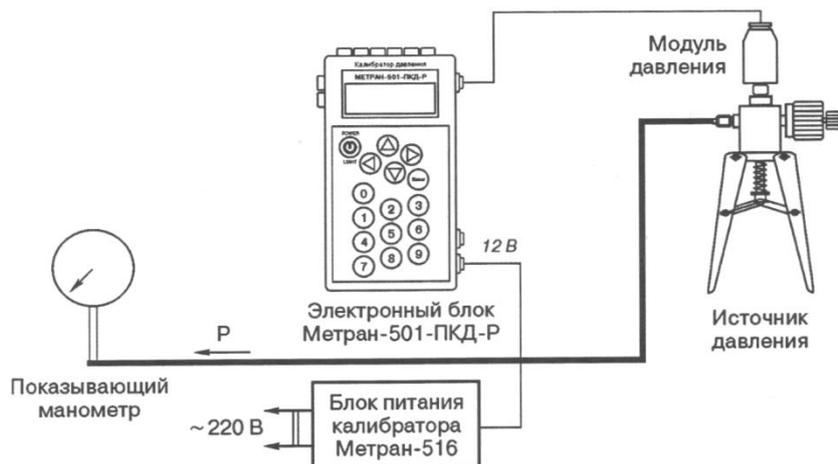


Рис.5. Поверка и калибровка показывающих манометров.

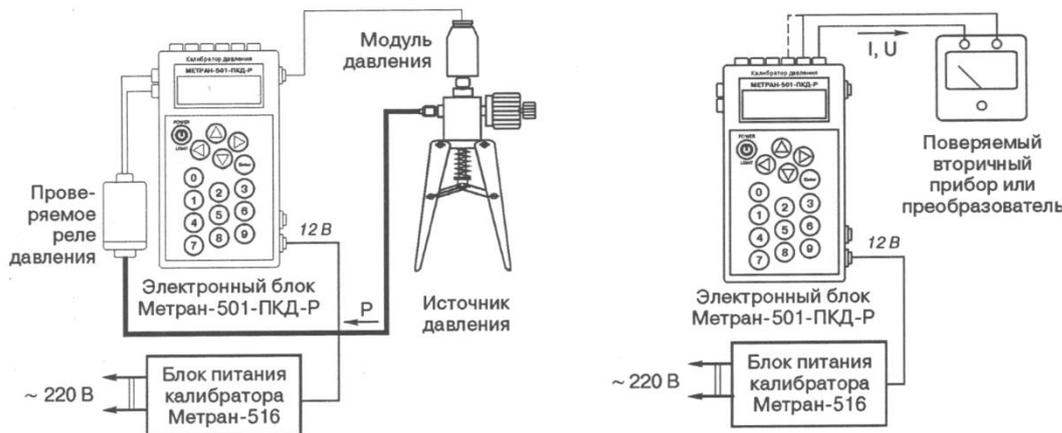


Рис.6. Проверка и калибровка реле давления.

Рис.7. Проверка и калибровка регистраторов и т.п.

### УСТРОЙСТВО

Основными элементами калибратора являются:

- ❖ электронный блок;
- ❖ внешний модуль давления;
- ❖ источники создания давления: помпа ручная пневматическая, насос ручной пневматический, пресс ручной гидравлический, помпа ручная многофункциональная (пневмогидравлическая).

Все элементы калибратора размещены в малогабаритной, удобной для переноски сумке.

**Электронный блок** калибратора выполнен в виде портативного прибора в пластмассовом корпусе, на лицевой поверхности которого размещены клавиатура и жидкокристаллический буквенно-цифровой дисплей (ЖКИ), а на боковых поверхностях - разъемы для подключения внешнего модуля давления, внешнего источника питания, проверяемого датчика давления, адаптера для связи с персональным компьютером, реле давления и цепей измерения и воспроизведения электрических сигналов от проверяемых приборов.

**Внешний модуль давления** является средством измерений давления, разрежения.

Основными элементами внешнего модуля давления являются: прецизионный сенсор давления, аналого-цифровой преобразователь (АЦП) и энергонезависимая память (EEPROM).

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

В энергонезависимой памяти хранятся характеристики преобразования прецизионного сенсора давления, полученные при его индивидуальной калибровке, поэтому модуль давления может работать с любым электронным блоком калибратора Метран-501-ПКД-Р. Это позволяет заказчику на начальном этапе приобрести калибратор с минимальным количеством модулей, а затем, по мере необходимости, заказать дополнительные модули и источники создания давления.

**Модули К2,5; К6; К25; М0,16; В25; В63; В100** рассчитаны на измеряемую среду - только чистый воздух. При плохо промытых полостях поверяемых приборов остатки измеряемой среды могут попасть в сенсор давления, загрязнить его или вывести из строя. Для обеспечения нормальной работы указанных модулей необходимо обеспечить их работу только с чистым воздухом.

**Модули К2,5Д, К6Д, К25Д, М0.16Д, М1, М2,5, М10, М25, М60** имеют в своей конструкции защитную диафрагму (мембрану) из нержавеющей стали 12Х18Н10Т. Эти модули обеспечивают работу не только с воздухом, но и с жидкой средой: вода, масло, технические жидкости, которые не вызывают коррозию защитной диафрагмы (мембраны).

### ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ

Измеряемое давление, созданное источником давления, подается непосредственно на модуль давления и через соединительный шланг - на поверяемый датчик давления (при необходимости используются переходные штуцеры). Электрический сигнал прецизионного сенсора модуля давления преобразуется в цифровой код при помощи АЦП.

Цифровой код модуля, пропорциональный значению измеряемого давления, через входной разъем электронного блока поступает в микропроцессор калибратора и после обработки (с учетом коэффициентов преобразования характеристики сенсора, учитывающих нелинейность и влияние температуры) выводится на ЖКИ электронного блока как действительное значение давления, созданное источником давления в рабочей полости поверяемого датчика давления.

Выходной электрический сигнал поверяемого датчика через цепи защиты, предохраняющие электронную схему блока от перегрузок, попадает на вход многоканального АЦП, преобразующего значение измеренного электрического сигнала в цифровой код, обрабатываемый микропроцессором. Значение выходного электрического сигнала поверяемого датчика отображается на ЖКИ калибратора.

На ЖКИ калибратора предусмотрены два основных режима отображения результатов измерений датчика давления. В режиме 1 индицируются: текущее значение и единица измерения задаваемого давления, диапазон выходного сигнала датчика и текущее значение выходного сигнала. В режиме 2: первая строка - по аналогии с режимом 1, вторая строка - погрешность измерения в %ВПИ. В других режимах индицируются значения давления ВПИ, %ВПИ, функции обнуления и усреднения давления.

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

**Пример:**

Режим 1	кПа	500,01
	0-5 мА	2,5015
Режим 2	кПа	500,01
	Ошибка	-0,03%

Во время поверки (калибровки) можно переходить из одного режима отображения результатов измерения в другой.

При превышении верхнего предела измерений модуля на 10% срабатывает звуковая сигнализация о перегрузке.

Для обеспечения поверки или калибровки вторичных приборов в калибраторе используется режим воспроизведения сигналов. В этом режиме на соответствующем выходе электронного блока воспроизводится значение тока или напряжения, задаваемое с помощью клавиатуры. Заданное значение электрических сигналов отображается на ЖКИ калибратора.

Установка режимов работы, выбор диапазонов измерений, ввод данных и т.д. осуществляется с помощью 4-х основных клавиш клавиатуры электронного блока.

Использование аппаратно-программного интерфейса ПК (адаптер USB с программным обеспечением "Поверка СИД") позволяет передавать данные калибровки с калибратора в персональный компьютер, вести базу данных, формировать протоколы поверки датчиков давления, образцовых и технических манометров. Протокол поверки содержит: общие технические сведения (тип, заводской номер, межповерочный интервал), условия поверки, технические характеристики (верхний предел измерений, установленный диапазон измерений и т.д.), график изменения погрешности и параметры поверки (см.раздел "Программное обеспечение "Поверка СИД").

**ОСНОВНЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ И ПАРАМЕТРЫ  
ДИАПАЗОНЫ ИЗМЕРЕНИЙ ДАВЛЕНИЯ**

**Таблица 1**

Код модуля давления	Диапазоны измерений модулей давления, МПа	Поддиапазоны измерений давления, МПа				Предельно-допускаемое давление, МПа
Модули избыточного давления						
К2,5	0-0,0025	0-0,0016		0-0,0025		0,0035
К2.5Д						0,005
К6	0-0,006	0-0,004		0-0,006		0,0085
К6Д						0,012
К25	0-0,025	0-0,01		0-0,016	0-0,025	0,035
К25Д						0,05
МО,16	0-0,16	0-0,04	0-0,06	0-0,1	0-0,16	0,22
МО.16Д						0,32
М1	0-1,0	0-0,25	0-0,4	0-0,6	0-1,0	1,4
М2,5	0-2,5	0-1,6		0-2,5		3,5
М10	0-10	0-4,0		0-6,0 0-10,0		14
М25	0-25	0-16,0		0-25,0		35
М60	0-60	0-40		0-60		70
Модули вакуумметрического давления (разрежения)						
В25	-0.025...0	-0,025-0				-0,035
В63	-0.063...0	-0,063-0				-0,09

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

B100	-0,1...0	-0,1-0	-0,1
------	----------	--------	------

**Примечания:**

1. С одним электронным блоком допускается заказывать произвольное количество модулей давления.
2. Для обеспечения минимальной погрешности поверки (калибровки) датчиков давления диапазон измерений каждого сменного эталонного модуля разбит на 2-4 поддиапазона, при этом погрешность измерения давления нормируется от верхнего предела измерений поддиапазона.
3. Модули K2,5, K6, K25, M0,16 рассчитаны на измеряемую среду - чистый воздух. Модули K2.5Д, K6Д, K25Д, M0,16Д, M1, M2,5, M10, M25 и M60 имеют в своей конструкции разделительную диафрагму (мембрану) из нержавеющей стали и обеспечивают работу с любыми средами, не вызывающими коррозию стали марки 12Х18Н10Т.

**ДИАПАЗОНЫ ИЗМЕРЕНИЙ И ВОСПРОИЗВЕДИЙ  
ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ**

Таблица 2

Параметр	Диапазон измерений
<b>В режиме измерения</b>	
Постоянный ток	0-20 мА*
Напряжение постоянного тока	0-1 В
<b>В режиме воспроизведения</b>	
Постоянный ток	0-20 мА
Напряжение постоянного тока	0-1 В

\*Калибратор Метран-501 -ПКД-Р позволяет измерять выходные сигналы датчиков давления 0-5, 5-0, 4-20, 20-4 мА.

**Питание поверяемых датчиков:** от сетевого блока питания Метран-516 напряжением постоянного тока 24 В.

**Входное сопротивление электронного блока:**

- не менее 10 МОм - при измерении напряжения;
- не более 75 Ом - при измерении тока.

**Мощность,** потребляемая электронным блоком от сетевого блока, не более

- 0,4 Вт - в режиме измерения;
- 0,6 Вт - в режиме воспроизведения.

**Масса электронного блока** не более 0,45 кг

**Средний срок службы** - не менее 8 лет

**Число разрядов для индикации параметров:**

- десятичных разрядов - индикация давления, разрежения;
- десятичных разрядов - индикация тока, напряжения

**ПОГРЕШНОСТЬ КАЛИБРАТОРА**

Таблица 3

Код предела допускаемой основной погрешности	Параметр	Диапазон	Предел допускаемой основной погрешности, не более
1	<b>В режиме измерения</b>		
	Избыточное давление	0-0,16...0-60 МПа	±0,04%ВПИ
		0-25 кПа	±0,05%ВПИ
		0-2,5; 0-6 кПа	±0,06%ВПИ
	Разрежение	-25-0 кПа...-100-0 кПа	+0,05%ВПИ
	Ток	0-20 мА	±(0,02%ИВ+0,0005 мА)
	Напряжение	0-1 В	±(0,02%ИВ+0,0001 В)
<b>В режиме воспроизведения</b>			

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

	Ток	0-20 мА	$\pm(0,03\%ИВ+0,001 \text{ мА})$
	Напряжение	0-1 В	$\pm(0,03\%ИВ+0,0002 \text{ В})$
2	<b>В режиме измерения</b>		
	Избыточное давление	0-0,16...0-60 МПа	$\pm 0,05\%ВПИ$
		0-25 кПа	$\pm 0,06\%ВПИ$
		0-2,5; 0-6 кПа	$\pm 0,1\%ВПИ$
	Разрежение	-25-0 кПа...-100-0 кПа	$\pm 0,06\%ВПИ$
	Ток	0-20 мА	$\pm(0,02\%ИВ+0,001 \text{ мА})$
	Напряжение	0-1 В	$\pm(0,02\%ИВ+0,0002 \text{ В})$
	<b>В режиме воспроизведения</b>		
	Ток	0-20 мА	$\pm(0,04\%ИВ+0,001 \text{ мА})$
Напряжение	0-1 В	$\pm(0,04\%ИВ+0,0002 \text{ В})$	

ВПИ - верхний предел измерений поддиапазона модуля давления;

ИВ - текущее значение измеряемой (воспроизводимой) величины.

Основная погрешность измерений давления включает нелинейность, вариацию и повторяемость.

### ПОВЕРКА

Периодичность поверки - 1 раз в год.

Поверка проводится у изготовителя или в территориальных органах Ростехрегулирования.

### УСЛОВИЯ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Температура окружающего воздуха от 0 до 50 °С. Относительная влажность от 30 до 80% при 25 °С.

Атмосферное давление от 84 до 106,7 кПа.

### ГАРАНТИЙНЫЕ ОБЯЗАТЕЛЬСТВА

Гарантийные обязательства -12 месяцев со дня ввода в эксплуатацию, но не более 18 месяцев со дня отгрузки с предприятия-изготовителя.

### ТЕХНИЧЕСКИЙ СЕРВИС

Наша компания осуществляет следующие виды работ:

- Профилактические работы:
  - проверка герметичности, работоспособности;
  - устранение дефектов;
  - определение метрологических характеристик.
- Средний или сложный ремонт в короткие сроки.
- Поставка дополнительных модулей давления и источников создания давления для ранее приобретенных калибраторов.
- Калибровка (если погрешность больше допускаемой основной погрешности).
- Поверка (выполняется на метрологической базе изготовителя с привлечением ФБУ "Челябинский ЦСМ").

### ОПЦИИ

1. Аппаратно-программный интерфейс ПК состоит из программного обеспечения "Поверка СИД" (компакт-диск) и адаптера USB для подключения к ПК. Для заказа опции аппаратно-программного интерфейса для ранее приобретенного калибратора следует выслать предприятию-изготовителю электронный блок калибратора.

2. Штуцеры переходные, быстросъемные соединения, стойки, коллекторы для подключения поверяемых датчиков с различными резьбами к источнику создания давления, стойки, коллекторы и др.

Информацию по опциям 1,2 см. в разделах "Калибратор давления Метран-517", "Быстросъемное соединение БС-70", "Средства коммутации и установки приборов, ЗИП".

### 1.5. Метран-502-ПКД-10П



- Рабочая среда: воздух, масло, вода
- Виды применения: калибратор давления; цифровой манометр
- Диапазоны измерений:
  - давления от 0...0,04 до 0...60 МПа;
  - разрежения от 0...-0,04 до 0...-0,1 МПа;
  - давления-разрежения от -2,0...2,0 кПа до -0,1...2,4 МПа
- Пределы допускаемой основной погрешности  $\pm 0,15\%$  ВПИ поддиапазона
- Единицы измерения давления: Па, кПа, МПа, кгс/см<sup>2</sup>, бар, атм., psi, мм рт.ст., мм вод.ст.
- Аппаратно-программный интерфейс USB с программным обеспечением
- Степень защиты калибратора от воздействий пыли и воды IP54
- Внесен в Госреестр средств измерений под №26014-08, сертификат №34135
- ТУ 4212-003-51453097-2008
- EAC TC N RU A-RU.AB72.V.02442
- EAC TC N RU A-RU.AB72.V.02445

Портативный калибратор давления Метран-502-ПКД-10П предназначен для точного измерения и воспроизведения избыточного давления и разрежения.

Применяется в качестве рабочего эталона при поверке и калибровке показывающих и регистрирующих манометров, тягонапорометров и т.п. класса точности 0,6 и грубее, реле давления и в качестве цифрового манометра при мониторинге процессов изменения давления.

Основные функциональные возможности:

- ❖ запоминание до 1800 зафиксированных значений давления с привязкой по времени;

## Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний, метрологических поверок средств измерений

- ❖ фиксация минимального и максимального значения давления (за время измерения);
- ❖ передача данных в персональный компьютер;
- ❖ формирование протоколов поверки технических манометров.



Основными элементами калибратора являются:

- ✚ электронный блок;
- ✚ внешний модуль давления;
- ✚ источники создания давления - помпа ручная пневматическая, насос ручной пневматический, пресс ручной гидравлический, помпа многофункциональная (пневмогидравлическая).

Все элементы калибратора размещены в малогабаритной, удобной для переноски сумке.

**Электронный блок калибратора** выполнен в виде портативного прибора в пластмассовом корпусе, на лицевой поверхности которого размещены клавиатура и жидкокристаллический буквенно-цифровой дисплей (ЖКИ), на верхней торцевой поверхности разъем для подключения модуля давления, на боковой поверхности разъем для подключения внешнего источника питания.

**Модули давления** имеют в своей конструкции защитную диафрагму (мембрану) из нержавеющей стали типа 12Х18Н10Т и обеспечивают работу не только с воздухом, но и с жидкой средой - вода, масло, технические жидкости, которые не вызывают коррозию защитной диафрагмы (мембраны).

### Принцип действия при поверке манометров

Измеряемое давление, созданное источником давления, подается на модуль давления и через соединительный шланг - на поверяемый манометр (при необходимости используются переходные штуцеры и стойка для установки манометра).

Изменяя с помощью источника создания давления значение давления выставляют указатель (стрелку) манометра на поверяемую отметку шкалы или выставляют точное значение давления по показаниями калибратора (в зависимости от метода проведения поверки).

Электрический сигнал с выхода модуля давления, пропорциональный измеряемому давлению, поступает на вход АЦП электронного блока и преобразуется в цифровой код, передается в микропроцессор калибратора. Микропроцессор вычисляет значение давления с учетом коэффициентов его индивидуальной

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

калибровки. Обработанный сигнал выводится на ЖКИ электронного блока как действительное значение давления, созданное источником создания давления в рабочей полости поверяемого манометра.

**Режим мониторинга**

Режим мониторинга позволяет пользователю, при необходимости, исследовать процесс изменения давления во времени (например, процесс изменения давления жидкости или газа в трубопроводе). В режиме мониторинга калибратор заносит в память значения измеренного давления, фиксирует в памяти минимальное и максимальное значения измеренного давления за заданный период времени с фиксацией времени. Задание времени измерений или числа измерений (до 1800 значений давления) устанавливается пользователем с клавиатуры электронного блока. Все сохраненные в памяти данные по измерению давления можно просмотреть на ЖКИ электронного блока.

**ОСНОВНЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ И ПАРАМЕТРЫ  
ДИАПАЗОНЫ ИЗМЕРЕНИЙ ДАВЛЕНИЯ**

Таблица 1

Код модуля давления	Диапазон измерений модуля давления, МПа	Поддиапазоны измерений давления, МПа				Предельно допустимое давление, МПа
<b>Избыточное давление</b>						
МО, 16	0-0,16	0-0,04	0-0,06	0-0,1	0-0,16	0,22
М1	0-1	0-0,25	0-0,4	0-0,6	0-1,0	1,4
М2,5	0-2,5	-	-	0-1,6	0-2,5	3,5
М10	0-10	-	0-4,0	0-6,0	0-10,0	15
М25	0-25	-	-	0-16,0	0-25,0	35
М60	0-60	-	-	0-40	0-60	70
<b>Разрежение</b>						
М63В	-0,063-0	-	-	-0,063-0	-0,04-0	-0,088
М100В	-0,1-0	-	-	-0,1-0	-0,063-0	-0,100
<b>Избыточное давление, давление-разрежение</b>						
К2.5ИВ	-0,0025-0,0025	-	-	-0,0025-0,0025	-0,002-0,002	+0,0035
К6ИВ	-0,006-0,006	-	-	-0,006-0,006	-0,005-0,005	±0,0085
К25ИВ	-0,025-0,025	-	-	-0,025-0,025	-0,02-0,02	+0,035
МО.16ИВ	-0,1-0,16	0-0,1	0-0,16	-0,1-0,15	-0,1-0,06	0,22
М1ИВ	-0,1-1,0	0-0,6	0-1,0	-0,1-0,9	-0,1-0,5	1,4
М2.5ИВ	-0,1-2,5	0-1,6	0-2,5	-0,1-2,4	-0,1-1,5	3,5

Примечания:

1. С одним электронным блоком может работать до 14 модулей давления с разными диапазонами, такой калибратор давления перекрывает 34 диапазона измерений технических манометров (вакуумметров, тягонапорометров и т.п.) и при их поверке может заменить 17 образцовых манометров типа МО +5 образцовых вакуумметра типа ВО класса точности 0,15 и более.

2. Модули давления-разрежения К2,5ИВ, К6ИВ, К25ИВ, МО.16ИВ, М1ИВ, М2.5ИВ могут быть заказаны только для приборов, выпущенных после 06.2009 г. (при дополнительном заказе модулей давления к ранее изготовленному калибратору).

**ПОГРЕШНОСТЬ**

Предел допускаемой основной погрешности измерений давления ±0,15% от установленного поддиапазона измерений модуля, указанных в табл.1.

**ПИТАНИЕ КАЛИБРАТОРА**

От встроенного Ni-MH аккумулятора; от сетевого блока питания.

**МАССА ЭЛЕКТРОННОГО БЛОКА**

Не более 0,4 кг

**УСЛОВИЯ ЭКСПЛУАТАЦИИ**

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

Температура окружающего воздуха от 0 до 50 °С. Относительная влажность от 30 до 80%.

Атмосферное давление от 84 до 106,7 кПа.

### **ТЕХНИЧЕСКИЙ СЕРВИС**

Наша компания осуществляет следующие виды работ:

1. Профилактические работы:

- проверка герметичности и работоспособности;
- устранение дефектов;
- определение метрологических характеристик.

2. Средний или сложный ремонт.

3. Перенастройка:

– поставка дополнительных модулей давления и источников создания давления для ранее приобретенных калибраторов.

4. Калибровка (осуществляется, если погрешность больше допускаемой основной погрешности).

5. Поверка (выполняется на метрологической базе изготовителя с привлечением ФБУ "Челябинский ЦСМ").

### **ГАРАНТИЙНЫЕ ОБЯЗАТЕЛЬСТВА**

Гарантийные обязательства - 12 месяцев со дня ввода калибратора в эксплуатацию, но не более 18 месяцев со дня его отгрузки с предприятия-изготовителя.

### **ОПЦИЯ ДЛЯ МОДУЛЕЙ ДАВЛЕНИЯ "ОБЕЗЖИРИВАНИЕ"**

Модули давления калибратора с кодом исполнения "Обезжиривание" предназначены только для поверки и калибровки приборов кислородного исполнения. Перед работой они проходят операцию обезжиривания.

Модули давления калибратора с кодом исполнения "Обезжиривание" не относятся к кислородному оборудованию и не предназначены для работы с газообразным кислородом и обогащенным кислородом воздухом!

Для создания давления применять пресс П-70-К, предназначенный для работы с кислородными приборами. Рабочая среда - дистиллированная вода по ГОСТ 6709.

При применении прессы П-70-К, опция возможна для модулей: М0,16, М1, М2,5, М10, М25, М60. Для других модулей опция - по согласованию. Код опции при заказе - "О" (обозначает обезжиривание).

### **ДРУГИЕ ОПЦИИ**

1. Быстросъемное соединение БС-70 для установки манометров.

2. Штуцеры переходные для подключения поверяемых манометров с различными резьбами к источнику создания давления.

3. Стойка для установки поверяемого манометра.

4. Коллектор для установки 2/х или 4/х манометров.

5. Аппаратно-программный интерфейс с адаптером USB для подключения ПК и программное обеспечение "Поверка СИД" (компакт/диск).

Для заказа опции аппаратно-программного интерфейса для ранее приобретенного калибратора следует указать только заводской номер прибора (прибор остается у пользователя).

Информацию по опциям см. в разделе "Средства коммутации установки приборов, ЗИП", "Быстросъемное соединение БС-70", "Калибраторы давления Метран-517".

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

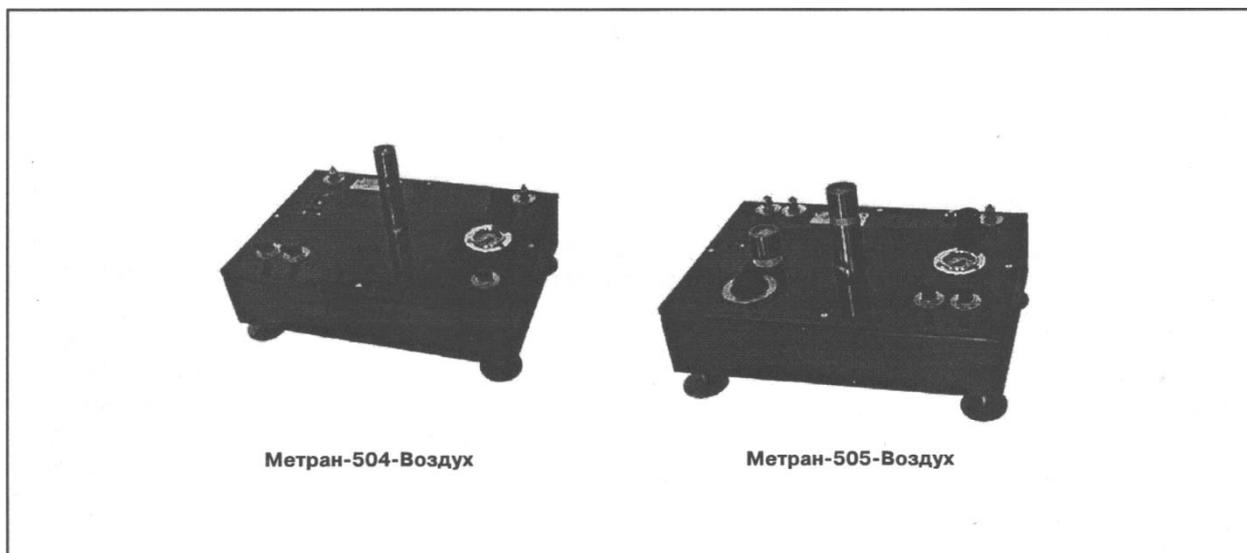
**ПОВЕРКА**

Периодичность поверки -1 раз в 2 года.

Поверка проводится у изготовителя или в территориальных органах Ростехрегулирования.

**2. Эталоны давления пневматические**

**2.1. Пневматические калибраторы давления серии Метран-500 Воздух**



- Рабочая среда - воздух
- Диапазоны воспроизведения
  - избыточного давления 0,02...1000 кПа;
  - избыточного давления относительно опорного 300 Па (разности давлений) 0,005...40 кПа
- Класс точности калибраторов 0,01; 0,015; 0,02; 0,05
- Срок службы - не менее 8 лет
- Внесены в Госреестр средств измерений (номера Госреестра, сертификатов, коды ОКП и ТУ - см.табл.3)

Внимание! Калибраторы давления серии Метран-500 Воздух полностью заменяют задатчики давления серии Воздух и могут применяться взамен грузопоршневых манометров!

Калибраторы давления пневматические серии Метран-500 Воздух предназначены для точного воспроизведения избыточного давления.

Применяются в качестве эталонов давления при поверке, калибровке, регулировке и градуировке:

- ❖ высокоточных датчиков давления, разности давлений (Rosemount, Метран и др.);
- ❖ эталонов давления (микроманометров, образцовых манометров, калибраторов давления);
- ❖ вычислителей расхода и измерительных комплексов, имеющих в своем составе датчики перепада давления.

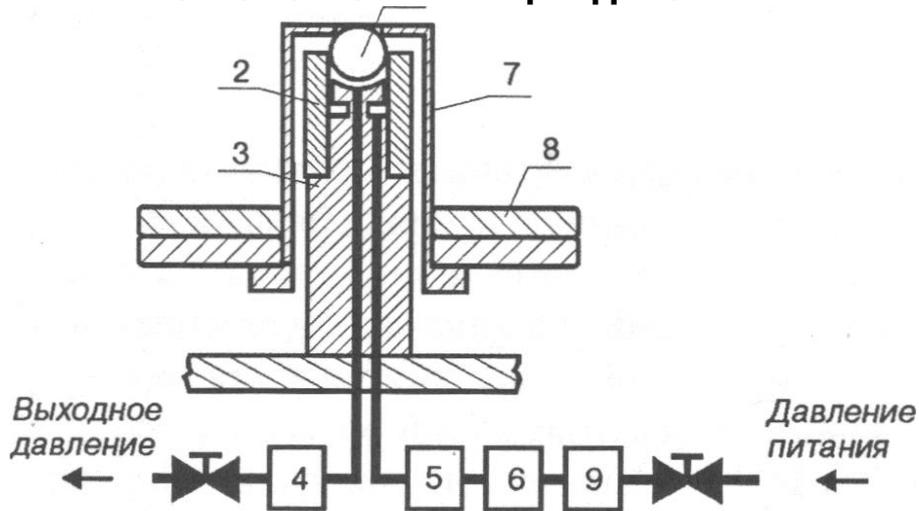
Основные преимущества:

- возможность воспроизведения малых избыточных давлений;
- высокая точность воспроизведения давления во всем диапазоне;
- автоматическое воспроизведение давления после наложения груза;

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

расширение возможностей при использовании калибраторов Метран-517 - расчет калибратором поправок к задаваемому давлению на изменение условий окружающей среды пр поверке (см.раздел "Калибратор давления Метран-517 (-Ex)").

**УСТРОЙСТВО И ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ**



**Рис. 1. Устройство и принцип действия.**

**Устройство**

Калибратор давления пневматический состоит из следующих основных узлов:

- ❖ преобразователь силы в давление (междроссельная камера, образованная поршнем 1, изготовленным в виде шарика или усеченного конуса, соплом 2 и корпусом сопла 3);
- ❖ грузоприемное устройство (навеска) 7 с грузами 8, которое устанавливается на поршень 1;
- пневматические емкости 4, 5 (обеспечивают динамическую стабильность выходного давления калибратора);
- двухкаскадный регулятор расхода 6 (автоматически регулирует расход и давление воздуха и обеспечивает высокую повторяемость значений выходного давления);
- узел регулирования давления питания 9 (состоит из редуктора и манометра, обеспечивает установку и контроль давления воздуха питания калибратора).

**Принцип действия**

Принцип действия калибратора основан на динамическом взаимодействии сферического или конического поршня и потока воздуха, вытекающего из сопла, в котором поршень самоцентрируется и самоуравновешивается.

Воздух питания под давлением проходит через узел регулирования давления питания 9, двухкаскадный регулятор расхода 6, пневмочемкость 5 и поступает в междроссельную камеру преобразователя силы в давление.

В междроссельной камере сила  $M \cdot q$ , создаваемая весом поршня 1, навески 7 и грузов 8 преобразуется в пневматическое выходное давление P:

$$P = M \cdot q / F_{\text{эф}}$$

где M - масса поршня с навеской и грузами;

q - ускорение свободного падения;

$F_{\text{эф}}$  - эффективная площадь поршневого системы.

Давление P через пневмочемкость 4 поступает на выход калибратора.

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

Для обеспечения высокой точности воспроизведения давления заказчик должен указывать значение ускорения свободного падения с точностью до пятого знака после запятой. Масса поршней, навесок и грузов подогнана с учетом нелинейности характеристики эффективной площади и значения ускорения свободного падения.

**СИСТЕМА ВОСПРОИЗВЕДЕНИЯ ДАВЛЕНИЯ**

**Калибратор давления Метран-505 Воздух**

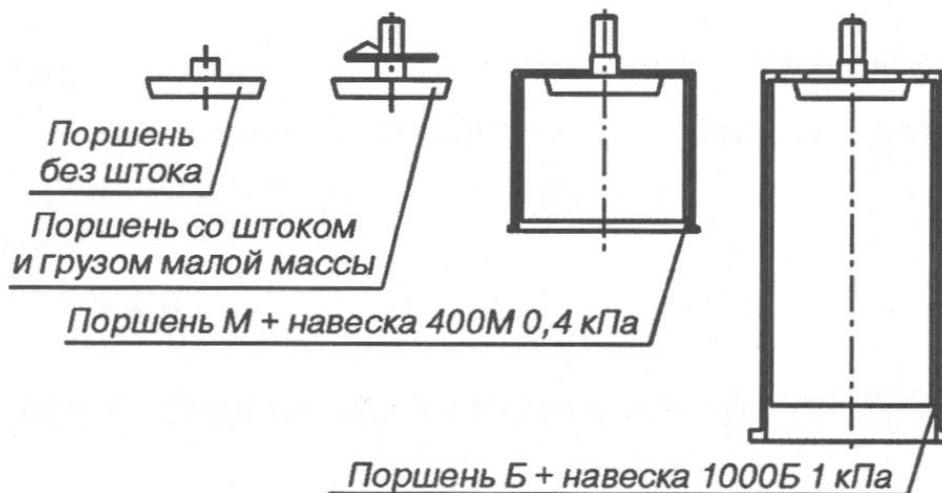
В калибраторе давления Метран-505 Воздух основными элементами для воспроизведения давления являются поршни, которые представляют собой конические тела вращения (рис.2).

Поршни без штока основного комплекта обеспечивают воспроизведение давления 20; 31,5; 40; 45; 50; 60; 63; 80; 100; 125; 160; 200; 250 Па (грузы на них не накладываются). Поршни со штоком (без грузов) обеспечивают воспроизведение давления 300; 315; 360 Па; на шток поршней надеваются грузы малой массы с номиналами 5; 10; 20; 20; 50 Па.

На поршни со штоком М и Б надеваются навески 400М и 1000Б, которые совместно с поршнями обеспечивают воспроизведение давления 400 Па и 1 кПа соответственно (рис. 2).

Грузы основного комплекта с поршнем и навеской обеспечивают воспроизведение давления в диапазоне:

- ✚ от 400 Па до 1 кПа - грузы с номиналами от 5 до 500 Па с поршнем М и навеской 400М;
- ✚ от 1 кПа до 25 кПа (Метран-505 Воздух до 25 кПа) - грузы с номиналами от 5 Па до 5 кПа с поршнем Б и навеской 1000Б;
- ✚ от 1кПа до 40 кПа (Метран-505 Воздух до 40 кПа) - грузы с номиналами от 5 Па до 10 кПа с поршнем Б и навеской 1000Б.



**Рис.2. Поршни и навески калибратора Метран-505 Воздух.**

**Калибраторы давления Метран-504 Воздух**

В калибраторах давления Метран-504 Воздух основным элементом для воспроизведения давления является поршень, который представляет собой ситалловый шарик.

На поршень надевается малая или большая навеска. Малая навеска совместно с поршнем обеспечивает воспроизведение давления 0,6 кПа (Метран-504 Воздух-III).

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

Большая навеска совместно с поршнем и подгоночным кольцом обеспечивает воспроизведение давления 3 кПа (Метран-504 Воздух-I и Метран-504 Воздух-III) и 40 кПа (Метран-504 Воздух-II) (рис.3).

Грузы основного комплекта с поршнем и навеской обеспечивают воспроизведение давления в диапазоне:

- от 0,6 до 3 кПа (Метран-504 Воздух-III) - грузы с номиналами от 0,1 до 2 кПа с поршнем и малой навеской;
- от 3 до 63 кПа (Метран-504 Воздух-III) - грузы с номиналами от 0,1 до 20 кПа с поршнем, большой навеской и подгоночным кольцом;
- от 3 до 400 кПа (Метран-504 Воздух-I)- грузы с номиналами от 0,25 до 100 кПа с поршнем, навеской и подгоночным кольцом;
- от 40 до 1000 кПа (Метран-504 Воздух-II) - грузы с номиналами от 0,25 до 200 кПа с поршнем, навеской и подгоночным кольцом.

В Метран-504 Воздух-I и Метран-504 Воздух-III используется шарик диаметром 18 мм, в Метран-504 Воздух-II - шарик диаметром 11мм, благодаря чему значительно уменьшена масса грузов калибратора Метран-504 Воздух-II.

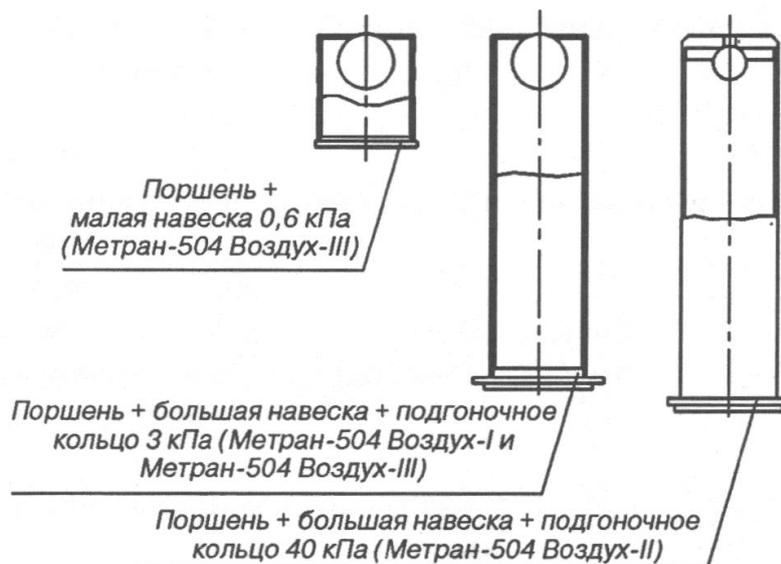


Рис.3. Поршни и навески калибратора Метран-504 Воздух.

### ОСОБЕННОСТИ КОНСТРУКЦИИ И ПРИМЕНЕНИЯ КАЛИБРАТОР ДАВЛЕНИЯ МЕТРАН-505 ВОЗДУХ

В конструкции калибратора Метран-505 Воздух имеется пневмораспределитель, обеспечивающий: удобство проведения поверки и более высокую производительность труда за счет смены положения ручки пневмораспределителя "+", "-", "0", "выкл".

Калибратор Метран-505 Воздух имеет два исполнения:

#### **Модификация I (Метран-505 Воздух-1).**

Обеспечивает воспроизведение избыточного давления в диапазоне от 0,005 до 25 кПа (Метран-505 Воздух-1 до 25 кПа) и до 40 кПа (Метран-505 Воздух-1 до 40 кПа).

Калибратор, состоит из 2-х блоков воспроизведения давления - основного и опорного. Основной блок обеспечивает воспроизведение давления P1 во всем диапазоне воспроизведения давления. Блок опорного давления (БОД), воспроизводит

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний, метрологических поверок средств измерений

только одно значение давления  $P_2=300$  Па. Совместно оба блока воспроизводят разность давлений  $DP=P_1 - P_2=P_1 - 300$  (Па). Такая схема рекомендуется при поверке низкопределных датчиков разности давлений (рис.5).

В БОД с помощью поршня создается давление 300 Па; на сопло основного блока также устанавливается поршень со штоком 300 Па, т.е. разность давлений  $DP=0$ . Корректором «нуля» поверяемого датчика выставляется значение выходного сигнала, соответствующее нижнему пределу изменения выходного сигнала, т.е. 0 или 4 мА, в зависимости от диапазона выходного сигнала поверяемого датчика. После этого на поршень со штоком основного блока одеваются грузы с маркировкой номинального значения давления (в дальнейшем - номинал) 5, 10, 20, 20 и 50 Па, создающие необходимую разность давлений на выходе калибратора ( $P_1-P_2$ ) до 100 Па. Такая схема обеспечивает дискретность задания давления 5 Па и позволяет уменьшить влияние флуктуаций атмосферного давления при поверке низкопределных датчиков. При создании разности давлений больше 100 Па используются малая и большая навески (см. описание системы воспроизведения давления). При поверке датчиков с диапазоном выше 4 кПа рекомендуется выключить БОД. При этом работа калибратора Метран-505 Воздух-1 аналогична работе калибратора Метран-505 Воздух в исполнении II (рис.6).

При поверке низкопределных датчиков избыточного давления, давления-разрежения, разрежения, конструкция которых позволяет подавать давление в обе камеры, также рекомендуется использовать калибратор Метран-505 Воздух с БОД (Метран-505 Воздух-1), это отражено в методике поверки датчиков.



Рис.5. Схема подключения калибратора Метран-505 Воздух-I при поверке датчиков разности давлений с использованием БОД.

**Модификация II (Метран-505 Воздух-II)** - калибратор давления без блока опорного давления. Калибратор Метран-505 Воздух-II обеспечивает воспроизведение избыточного давления в диапазоне от 0,02 до 25 кПа (Метран-505 Воздух-II до 25 кПа) и до 40 кПа (Метран-505 Воздух-II до 40 кПа).



Рис.6. Схема подключения калибраторов Метран-505 Воздух-II, Метран-505 Воздух-I (с выключенным БОД) при поверке датчиков давления, разности давлений.

**КАЛИБРАТОРЫ ДАВЛЕНИЯ МЕТРАН-504 ВОЗДУХ**

Калибратор Метран-504 Воздух-I обеспечивает воспроизведение избыточного давления в диапазоне от 3 до 400 кПа, калибратор Метран-504 Воздух-II - в диапазоне от 40 до 1000 кПа, калибратор Метран-504 Воздух-III - в диапазоне от 0,6 до 63 кПа.

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений



Рис.7. Схема подключения калибратора Метран-504 Воздух при поверке датчиков давления, разности давлений.

**ПОВЕРКА ДАТЧИКОВ РАЗРЕЖЕНИЯ, ДАВЛЕНИЯ-РАЗРЕЖЕНИЯ СЕРИИ МЕТРАН С ПОМОЩЬЮ КАЛИБРАТОРОВ МЕТРАН-505 ВОЗДУХ, МЕТРАН-504 ВОЗДУХ**

Согласно методикам поверки датчиков давления серии Метран МИ4212-012-2001 "Датчики давления Метран-100" и МИ 4212-01-2006 "Датчики давления Метран-150" при поверке датчиков разрежения и давления-разрежения значение измеряемой величины допускается устанавливать, подавая с противоположной стороны чувствительного элемента датчика соответствующее значение избыточного давления, если это предусмотрено конструкцией датчика (рис.9). Конструкция всех датчиков давления и давления-разрежения серии Метран, за исключением моделей 2210, 2220, 2310, 2320, 2350, 2351 Метран-22 и моделей 1350, 1351, 4950 Метран-100, моделей TG Метран-150, позволяет осуществлять поверку этих датчиков вышеуказанным способом.



Рис.9. Схема подключения калибраторов Метран-504 Воздух, Метран-505 Воздух при поверке датчиков разрежения, давления-разрежения (конструкции Метран).

**ОТЛИЧИТЕЛЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ И ПРЕИМУЩЕСТВА калибраторов давления пневматических серии Метран-500 Воздух от грузопоршневых манометров**

1. Калибраторы давления пневматические серии Метран-500 Воздух, также как и грузопоршневые манометры (ГПМ), используют принцип преобразования силы тяжести  $F=mg$  в давление  $P$ , но общее устройство калибраторов значительно сложнее, чем у ГПМ.

Эффективная площадь калибратора пневматического серии Метран-500 Воздух принципиально нелинейная. Из этого следует, что к калибраторам нельзя применять методики поверки ГПМ. Для калибраторов серии Метран-500 Воздух разработаны свои методики поверки.

2. После наложения грузов выходное давление устанавливается автоматически без дополнительных действий пользователя, в ГПМ необходимо использовать штурвал для уравнивания грузов.

3. Одинаковая относительная погрешность у эталонов серии Метран-500 Воздух нормируется в значительно более широком диапазоне воспроизведения давления. Например, у модели Метран-504 Воздух-1 погрешность  $\pm 0,015\%$  ( $\pm 0,01\%$ ) нормируется от 3 кПа до 400 кПа, т.е. во всем диапазоне воспроизведения давления.

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

4. По диапазону воспроизведения низкого давления (от 5 Па) калибратор пневматический Метран-505 Воздух не имеет аналогов.

5. Ускорена поверка датчиков за счет введения дополнительных элементов пневматической коммутации, благодаря чему появилась возможность контролировать "max" и "0" поверяемого датчика давления, не снимая грузы с калибратора.

**РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ЗАМЕНЕ**

Калибраторы давления серии Метран-500 Воздух могут заменить задатчики давления серии Воздух и наиболее распространенные в России и СНГ грузопоршневые манометры следующим образом:

- ✚ калибратор Метран-505 Воздух заменяет задатчик Воздух-1600, Воздух-4000;
- ✚ калибратор Метран-504 Воздух-1 заменяет задатчики Воздух-1,6, Воздух-2,5, грузопоршневой манометр МП-2,5 и другие в диапазоне от 3 до 400 кПа;
- ✚ калибратор Метран-504 Воздух-II заменяет задатчик Воздух-6,3, грузопоршневой манометр МП-6 и другие в диапазоне от 40 до 1000 кПа.

**ОСНОВНЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ**

**ДИАПАЗОНЫ И ДИСКРЕТНОСТЬ ВОСПРОИЗВЕДЕНИЯ ДАВЛЕНИЯ**

Таблица 1

Модель с учетом модификации	Диапазон воспроизведения давления, кПа	Дискретность воспроизведения давления, Па
Метран-505 Воздух-I	0,005...25 (СВОД); 0,02...25 (при откл. БОД); 0,005...40 (с БОД); 0,02...40 (при откл. БОД)	5 (с БОД); от 5 до 50 (в диапазоне до 300 Па) (при откл. БОД); 5 (в диапазоне выше 300 Па) (при откл. БОД)
Метран-505 Воздух-II	0,02...25 0,02...40	от 5 до 50 (в диапазоне до 300 Па) 5 (в диапазоне выше 300 Па)
Метран-504 Воздух-I	3...400	250
Метран-504 Воздух-II	40... 1000	
Метран-504 Воздух-III	0,6...63	100

**БОД** - блок опорного давления.

Калибраторы обеспечивают дискретность воспроизведения давления при поверке, калибровке датчиков давления и других приборов давления согласно их методикам поверки.

При передаче выходного давления по пневматической линии связи с внутренним диаметром 4 мм, длиной до 1,5 м и объеме глухой камеры в конце линии не более 0,1 л время установления выходного давления не более 30 с (для Метран-504 Воздух) и не более 20 с (для Метран-505 Воздух).

**ПРЕДЕЛЫ ДОПУСКАЕМОЙ ПОГРЕШНОСТИ**

Таблица 2

Модель с учетом модификации	Диапазон воспроизведения давления, кПа	Пределы допускаемой погрешности			
		Класс точности 0,01	Класс точности 0,015	Класс точности 0,02	Класс точности 0,05
Метран-505 Воздух-I	0,005...0,4	-	±0,10 Па	±0,12 Па	-
	0,4...2	-	±0,025%Pн	±0,03%Pн	-
	2...25 2...40	-	±0,015%Pн	±0,02%Pн	-
Метран-505 Воздух-II	0,02...0,4	-	±0,10 Па	±0,12 Па	-
	0,4...2	-	±0,025%Pн	±0,03%Pн	-
	2...25 2...40	-	±0,015%Pн	±0,02%Pн	-
Метран-504 Водух-III	0,6...3	±0,3 Па	±0,45 Па	±0,6 Па	-
	3...63	±0,01 %Pн	±0,015%Pн	±0,02%Pн	-
Метран-504 Воздух-I	3...400	±0,01 %Pн	±0,015%Pн	0,02%Pн	-

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

Метран-504 Воздух-II	40... 1000			
----------------------	------------	--	--	--

**Rn** - номинальное значение воспроизводимого калибраторами давления.

**ПИТАНИЕ КАЛИБРАТОРОВ И ОБЩИЕ ДАННЫЕ**

Таблица 3

Модель с учетом модификации	Метран-505 Воздух		Метран-504 Воздух		
	-I	-II	-I	-II	-III
	до 25 кПа до 40 кПа	до 25 кПа до 40 кПа			
Давление воздуха питания, кПа	300-400		700-800	1500±50	300-400
Расход воздуха питания*, не более, л/мин	6		8	20	3
Масса прибора, не более, кг	13,5	11	8,5	7,5	9,5
Масса укладки грузов, не более, кг	4,5 5,3	4,5 5,3	12,8	13,5	5
Обозначение ТУ	ТУ 4381-059-51453097-2009		ТУ 4381-058-51453097-2009		
Код ОКП	43 8100				
Номер Госреестра	42701-09		31057-09		
Номер сертификата	37904		38253		

1) Питание калибраторов осуществляется сжатым воздухом класса загрязненности 1 по ГОСТ 17433 от внешнего источника. Для обеспечения требуемого класса загрязненности воздуха питания в комплекте с калибратором серии Метран-500 Воздух рекомендуется использовать блок подготовки воздуха (подробнее см. раздел опции и дополнительное оборудование).

**УСЛОВИЯ ЭКСПЛУАТАЦИИ**

Рабочий диапазон температур окружающего воздуха от 15 до 35 °С, относительная влажность от 30 до 80%, атмосферное давление от 84 до 106,7 кПа, отсутствие тряски, вибрации и ударов.

**ПОВЕРКА**

Периодичность -1 раз в год.

Поверку Вы можете провести у изготовителя или в территориальных органах Ростехрегулирования.

**ГАРАНТИЙНЫЕ ОБЯЗАТЕЛЬСТВА**

Гарантийные обязательства -18 месяцев со дня ввода задатчика в эксплуатацию, но не более 24 месяцев со дня его отгрузки с предприятия-изготовителя.

**ТЕХНИЧЕСКИЙ СЕРВИС**

Наша компания осуществляет следующие виды работ:

1. Профилактические работы:

- чистка;
- проверка герметичности и работоспособности;
- определение метрологических характеристик.

2. Средний или сложный ремонт.

3. Перенастройка:

- изменение единиц измерения давления;
- изготовление комплекта грузов с другими единицами измерения;
- изменение массы грузов под новое значение ускорения свободного падения

для конкретной местности.

4. Поверка (выполняется на метрологической базе изготовителя с привлечением ФБУ "Челябинский ЦСМ").

### **ОПЦИИ И ДОПОЛНИТЕЛЬНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ**

По отдельному заказу возможна поставка следующего оборудования:

1. Блок подготовки воздуха\* (очистка воздуха и регулирование давления питания калибраторов серии Метран-500 Воздух).
2. Система питания пневматическая\* (питание, очистка воздуха и регулирование давления питания калибраторов серии Метран-500 Воздух).
3. Дополнительный комплект грузов и поршней в единицах измерения давления отличных от единиц измерений комплекта грузов, входящего в комплект поставки (кгс/м<sup>2</sup>, бар, мм вод. ст. и др.).
4. Нестандартный комплект грузов\*\*.
5. Дополнительные штуцеры переходные, быстросъемные соединения, стойки, коллекторы, приспособления для подключения датчиков с различными резьбами к пневмошлангу калибраторов серии Метран-500 Воздух.
6. Стол метрологический мраморный.
7. Дополнительные приборы для измерения выходных сигналов поверяемых датчиков (калибратор давления Метран-517, прецизионный мультиметр Метран-514-ММП).

Примечание: данные по дополнительному оборудованию п. 1, 2, 5, 6, 7 см. в соответствующих разделах данного каталога.

#### **\* Рекомендации по выбору блоков подготовки воздуха и систем питания для калибраторов серии Метран-500 Воздух.**

1. Блоки подготовки воздуха:
  - Б/1 - для калибраторов Метран-505 Воздух,
  - Метран-504 Воздух-1 и Метран-504 Воздух-111;
  - Б/2 - для калибратора Метран-504 Воздух-11.
2. Системы питания пневматические:
  - СП/2 - для калибраторов Метран-505 Воздух,
  - Метран-504 Воздух-Ш;
  - СП/6В - для всех исполнений калибраторов
  - Метран-504 Воздух и Метран-505 Воздух.

#### **\*\* Описание:**

Для поверки датчиков давления, установленных в узлах учета энергоресурсов, могут быть изготовлены нестандартные комплекты грузов и поршней, обеспечивающие поверку датчиков по методикам поверки узла учета. Например, для датчиков давления с верхним пределом измерений 62,2 кПа и подключенных к вычислителям расхода или измерительному комплексу узла учета, изготавливается комплект грузов и поршней, обеспечивающий поверку этих датчиков в точках 9, 25, 64, 81, 100% диапазона.

Кроме того, для приборостроительных предприятий, выпускающих датчики давления и другие средства измерений давления и средства измерений расхода, имеющие в своем составе датчики перепада давления, и предприятий с большим парком средств измерений давления и расхода рекомендуется заказывать нестандартный комплект поршней и грузов. Этот комплект обеспечивает поверку средств измерений давления и расхода в точках поверки, в соответствии с их методиками поверки, с минимальной комбинацией сменных грузов, что обеспечивает более высокую производительность труда. Такие комплекты используются в ЗАО "ПГ "Метран" при производстве датчиков серии "Метран".

## **ЛЕКЦИЯ ТЕМА №3.6 «АВТОМАТИЗАЦИЯ ИСПЫТАНИЙ И МЕТРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ, КОНТРОЛЯ И ИСПЫТАНИЙ»**

### **ВОПРОСЫ**

1. Автоматизация испытаний электронных вычислительных средств.
2. Метрологическое обеспечение автоматизированных средств измерений, контроля и испытаний.

### **ЛИТЕРАТУРА**

1. Парахуда Р.Н., Шевцов В.И. Автоматизация измерений и контроля: Письменные лекции. – СПб., СЗТУ, 75 с.

### **1. Автоматизация испытаний электронных вычислительных средств**

Согласно принятому определению, испытания — это экспериментальное определение характеристик продукции в заданных условиях ее функционирования. Испытания являются важнейшим этапом создания образцов техники, а их результаты служат основанием для принятия ответственных решений.

Цель испытаний, с метрологической точки зрения, заключается в нахождении посредством измерения истинного значения контролируемого параметра и оценивании степени доверия к нему.

Объем испытаний и трудоемкости их проведения вследствие расширения функциональных возможностей электронных средств приводит к необходимости автоматизации испытательных и контрольно-измерительных операций путем широкого внедрения средств вычислительной техники.

В свою очередь, интенсивное развитие вычислительной техники, а также постоянное совершенствование устройств для испытаний позволяют создать информационно-измерительные системы и

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

автоматизированные испытательные станции, которые предназначены для выполнения на основе измерений функций контроля, испытаний, диагностики и др. Пример такой системы приведен на рисунке (рис10.1.).

Объектом управления в испытательной станции служит автоматизированное устройство для испытаний, для которого требуется

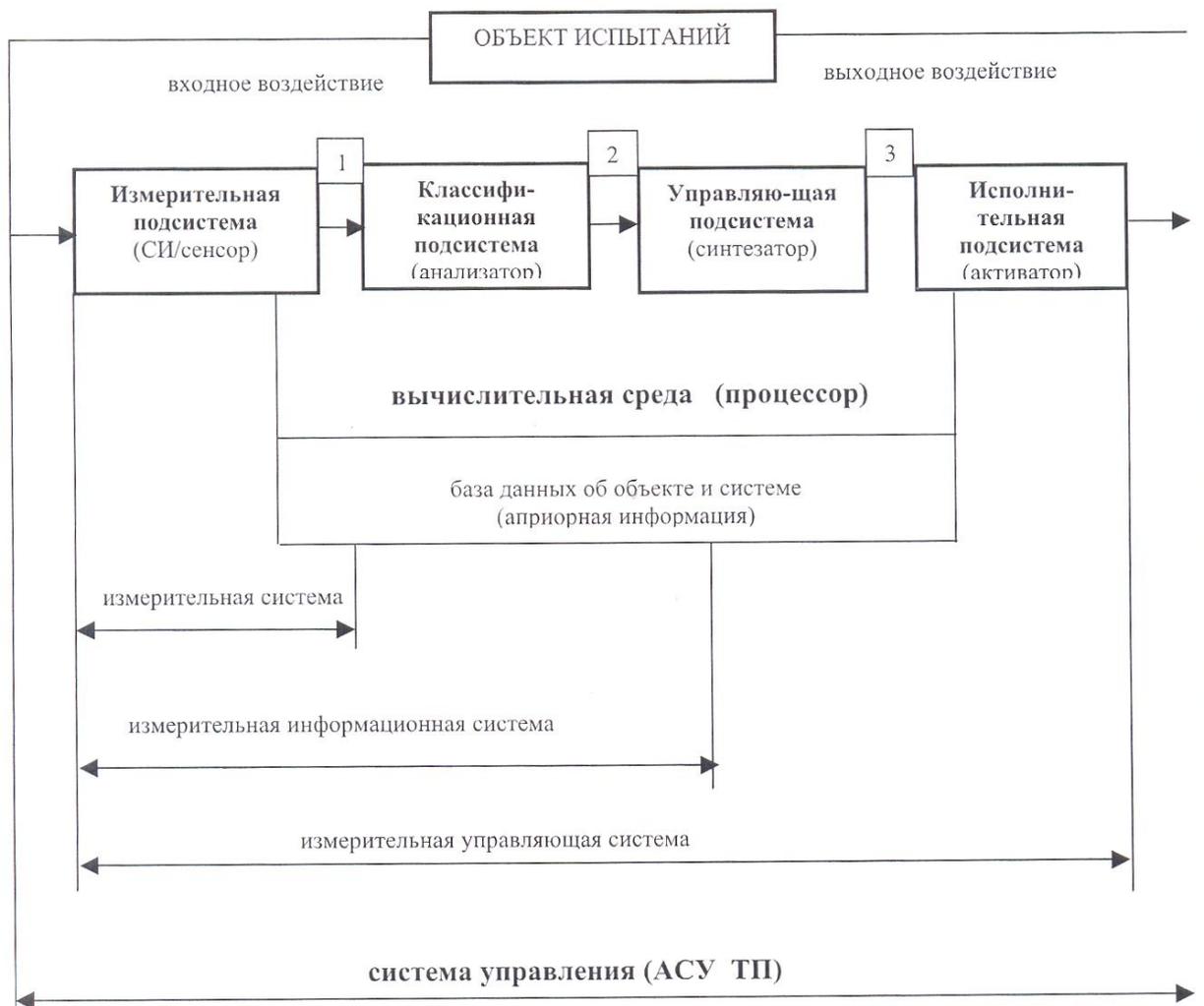


Рис.10.1. Структурная схема автоматизированной испытательной станции  
1 – измерительная информация; 2 – классификационная информация;  
3 – управляющая информация.

поддерживать нужный испытательный режим и производить измерения значений контролируемых параметров по заданной программе.

Измерительная подсистема получает данные о ходе испытаний и выдает эти данные в виде измерительной информации на анализатор. В случае нарушения испытательного режима управляющая подсистема

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

(синтезатор) исполнительная подсистема (активатор) производят корректировку этих данных через управляющий орган.

Центральные испытательные станции позволяют решать следующие основные задачи: \*

- предоставление предприятиям технической испытательной базы, позволяющей проводить испытания, наиболее полно удовлетворяющие все более ужесточающимся требованиям заказчиков;
- проведение граничных испытаний и испытаний на долговечность, направленных на выявление конструктивно-технологических запасов изделий и разработку на их основе руководящих материалов по совершенствованию конструкций изделий;
- накопление, обобщение и анализ результатов испытаний для внесения рекомендаций по повышению надежности изделий и совершенствованию системы и методов испытаний, а также по модернизации существующих и созданию новых устройств для испытаний.

Техническое обеспечение автоматизированной испытательной станции представляет собой в первую очередь комплекс серийно выпускаемых технических средств, используемых в системе. К этим средствам относятся: устройства для испытаний, ЭВМ, АЦП и ЦАП, датчики, накопители информации, устройства ввода-вывода и документирования; устройства оперативного взаимодействия, коммутирующие устройства, интерфейсы. Математическое обеспечение автоматизированной испытательной станции в значительной степени определяет эффективность ее использования.

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

Математическая модель процесса испытаний (рис. 10.2. ) определяет последовательность операций и порядок взаимодействия технических средств при решении таких задач: подготовка электронных средств и устройств для испытаний, управление устройствами для испытаний, коррекция параметров испытываемых изделий и др.

Программное обеспечение автоматизированных испытательных станций представляет собой комплекс программ и инструкций к ним, необходимых для реализации всех функций станций и записанных на соответствующих носителях. Его можно разделить на общее и специальное. Общее программное обеспечение представляет совокупность программ, служащих для управления и организации вычислительного процесса, обработки результатов, стандартных операций с наборами данных, рассчитанных на широкий круг пользователей и поэтому ориентированных на решение часто встречающихся задач. В общее программное обеспечение входят тестовая и операционная системы.

Специальное программное обеспечение представляет совокупность программ, предназначенных для реализации одной функции или группы функций конкретной станции, т. е. обеспечивает решение специфических задач в соответствии с программой испытаний или по специальным запросам пользователей. Совокупность взаимосвязанных программ называется пакетом прикладных программ.

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний, метрологических поверок средств измерений

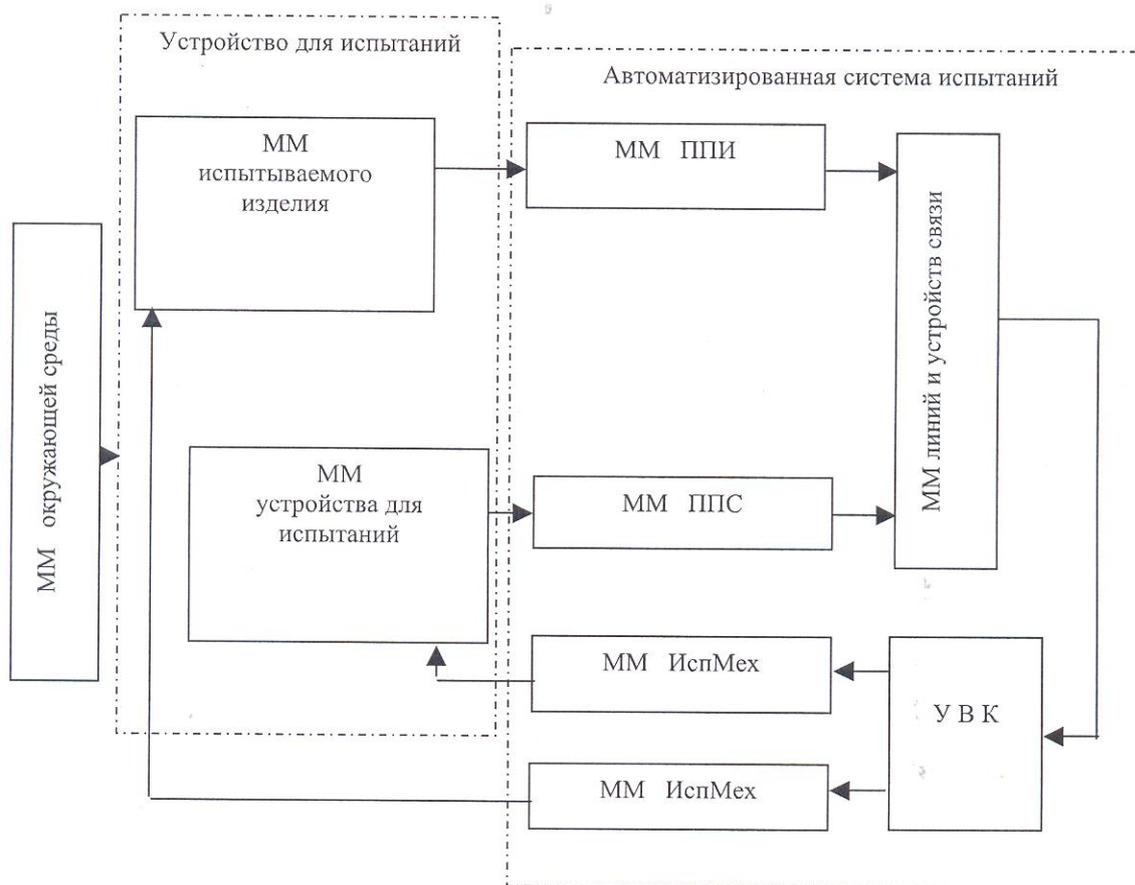


Рис.10.2. Математическая модель технологического процесса испытаний

ММ – математическая модель; ППИ – первичный преобразователь параметров изделия; ППС – первичный преобразователь параметров станда; ИспМех – исполнительные механизмы; УВК – управляющий вычислительный комплекс

**Информационное обеспечение** автоматизированных испытательных станций включает информационное описание процессов испытаний, отдельных испытательных операций и процедур управления ими. Каждый испытательный центр должен иметь свою информационно-логическую модель, создание которой предполагает максимальную автоматизацию подготовительных и финишных операций, всех вычислений и формирования вторичных документов. Информационная модель автоматизированных испытательных станций должна отражать процессы испытаний, факты выполнения этих процессов, состояние и динамические характеристики объектов управления и должна включать развернутую

информационную схему управления, схемы решения отдельных задач. Наиболее существенными потоками информации в автоматизированных испытательных станциях являются: входная информация с различных автоматизированных устройств для испытаний; промежуточная информация в виде графиков, таблиц, обобщенных данных и т.п. за некоторый промежуток времени; выходная информация в виде решений, планов, мероприятий и других распорядительных документов по воздействию на качество выпускаемой продукции. При отображении указанной информации следует учитывать тот факт, что в основном человек воспринимает ее через зрительные органы. При этом наиболее полно воспринимается та информация, которая отражает тенденцию изменения общего уровня или отдельных показателей качества продукции. Именно такие данные необходимы для принятия решения. Поэтому сведения о качестве продукции чаще всего представляют в виде графиков или сопоставимых данных.

Организационное обеспечение автоматизированных испытательных станций включает: обслуживающий персонал; описание функциональной, технической и организационной структуры системы; нормативные документы, определяющие функциональные обязанности обслуживающего персонала.

Организационная система контроля и испытаний предусматривает широкое использование математических методов, автоматизированных средств контроля и ЭВМ.

Организационная структура автоматизированной системы управления испытаниями включает измерительную информационную и информационно-советующую подсистемы.

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

Измерительная информационная подсистема содержит алгоритмы контроля за испытательными режимами, управления измерением параметров этих режимов и характеристик испытываемой продукции, статистической обработки результатов испытаний, подготовки выходной информации для включения ее в протоколы испытаний и сопроводительные документы. Информационно-советующая подсистема содержит алгоритмы, на основе которых в системе испытаний реализуются управляющие функции состава и режимов испытаний, планов контроля, критериев годности.

*Вопросы для самоконтроля усвоения знаний:*

1. Что является целью испытаний средств измерений? Необходимость автоматизации испытаний и контроля.
2. Перечислите задачи, которые позволяют решать автоматизированные испытательные станции.
3. Что представляет собой программное обеспечение автоматизированных испытательных станций?
4. Роль и значение информационного и организационного обеспечения автоматизированных испытательных станций.
5. Поясните математическую модель технологического процесса испытаний.

**2. Метрологическое обеспечение автоматизированных  
средств  
измерений, контроля и испытаний**

Основным способом определения и контроля МХ средств измерения является поверка. Разработанные для автоматизированных систем

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

методы поверки допускают либо поканальное, либо поэлементное определение МХ системы (ГОСТ 8.38-81).

Поэлементная поверка предполагает, что система представляет собой комплекс компонентами которого являются агрегируемые СИ. Поскольку метрологические характеристики отдельных элементов (автономных СИ) известны, определение общей метрологической характеристики всего канала может быть произведено расчетным путем.

Но основная часть АИС и САК представляет собой систему, деление которой может быть произведено лишь на основании структуры программно-аппаратных средств. Можно разбить АИС на отдельные подсистемы, реализующие каналы измерения, однако большое количество общих программных и аппаратных ресурсов каналов, а также возможность программной реконфигурации, делает эти системы виртуальными, т.е. существующими лишь во время выполнения измерений в данном канале.

В связи с этим для компьютерно-измерительных систем применимы лишь поканальный метод определения МХ, при которых канал измерения, даже виртуальный, рассматривается как независимое средство измерений, подлежащее поверке.

Автоматическая поверка и корректировка каналов внутренними средствами может значительно улучшить МХ, однако не исключает поверки с помощью внешних средств, что позволяет подтвердить правильность работы внутренних средств поверки. Встроенные меры и ПО позволяют быстро и экономно компенсировать несовершенство аппаратных средств и учесть влияние на них различных факторов в процессе эксплуатации аппаратуры. Измерительная система как целенаправленная совокупность взаимосвязанных СИ характеризуется

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

большим числом факторов. Их сочетание в том или ином варианте определяет особенности конкретной системы.

Единообразие измерительных систем обеспечивается с помощью ряда взаимосвязанных процедур, осуществляемых на различных этапах жизненного цикла системы. К этим процедурам относятся:

- метрологическая экспертиза технической документации;
- нормирование метрологических характеристик измерительных каналов;
- сертификация и лицензирование деятельности по изготовлению систем;
- испытания систем с целью утверждения типа или единичного экземпляра;
- утверждение типа или единичного экземпляра;
- испытания на соответствие системы утвержденному типу;
- метрологический надзор за состоянием и применением систем;
- государственный метрологический надзор за выпуском, состоянием и применением систем.

Все указанные процедуры необходимы для метрологического обеспечения измерительных систем, которому может быть дано следующее определение:

Метрологическое обеспечение измерительной информационной системы — система научной, технической, правовой и организационной деятельности, направленной на обеспечение соответствия характеристик полученной информации установленным нормам путем достижения единства процессов преобразования информации, осуществляемых в ИИС

Интеллектуализация СИ, т. е. включение в состав СИ микропроцессоров и ЭВМ с целью автоматизации обработки данных, выполнения обработки в режиме on-line, а также процедурой измерений, приводит к «алгоритмизации» метрологии и метрологического обеспечения. В проблеме метрологического обеспечения растущее значение приобретает метрологический аспект создания и использования алгоритмов и программ обработки данных. Последнее требует выхода метрологии в область оценивания качества алгоритмов и программ, что, в свою очередь, невозможно без взаимодействия с информатикой в ее узком смысле (как computer science).

Интеллектуализации СИ сопутствует то, что СИ часто конструируется как единое целое без возможности доступа извне к его подсистемам и элементам. Это обстоятельство затрудняет осуществление процедур метрологической аттестации. С другой стороны, традиционный подход, связанный с созданием специальных испытательных сигналов, теряет эффективность. Причина состоит в том, что точность задания параметров сигналов, как правило, достигается за счет сужения диапазона их значений. Следовательно, испытания не позволяют полностью выявить свойства СИ во всей возможной области его применений. В результате аттестация такого СИ зачастую требует воспроизведения широкого комплекса условий эксплуатации, в том числе создания испытательных сигналов, имитирующих рабочие воздействия. Метрологическое обеспечение интеллектуальных СИ, в частности, включение информационно-измерительных систем как целостных устройств в число объектов метрологического обеспечения, представляет собой серьезную конкретно-практическую задачу.

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

Автономный - в метрологическом смысле - режим использования СИ имеет место в ситуации, когда не может быть реализована его связь с вышестоящими по поверочной схеме средствами. Такая ситуация характерна, в частности, для ИИС и АСУ ТП, в которых комплектная поверка измерительных каналов требует подачи на вход сигнала эталонной меры, что, как правило, невозможно по условиям установки датчика на объекте. Аналогичная ситуация возникает при использовании СИ в составе систем вооружения, в том числе бортовых систем морских и воздушных кораблей. Такие ситуации приводят к сверхточным измерениям. Автономный режим использования СИ является одним из источников проблемы децентрализации системы обеспечения единства измерений и системы метрологического обеспечения. Если для традиционно используемых СИ привязка к эталону означает, в конечном итоге, перемещение к месту его дислокации, то для автономного СИ зачастую необходимо встречное движение эталона к месту размещения СИ.

Одним из важнейших направлений решения проблемы децентрализации, по крайней мере применительно к автономно используемым СИ, является развитие методов и средств их самоконтроля и самоповерки. Научной основой указанного направления должна служить теория метрологической надежности как одного из разделов общей теории метрологической надежности в технике.

*Вопросы для самоконтроля усвоения знаний:*

1. Как можно определить метрологические характеристики автоматизированного комплекса при поэлементной поверке?

2. Что такое поканальный метод определения метрологических характеристик?
3. Чем обеспечивается единообразие измерительных систем?
4. Дайте понятие метрологического обеспечения информационных измерительных систем.

## ЛЕКЦИЯ ТЕМА №3.7 «АВТОМАТИЗАЦИЯ ИЗМЕРЕНИЙ, КОНТРОЛЯ И ИСПЫТАНИЙ В ПРОГРАММНОЙ СРЕДЕ LabVIEW»

### ВОПРОСЫ

1. Основные понятия программной среды *LabVIEW* и виртуального прибора (ВП).
2. Создание, редактирование и отладка ВП. Создание подпрограмм ВП.
3. Многократные повторения и циклы при создании ВП, работа с массивами в среде *LabVIEW*.
4. Создание кластеров из элементов управления и отображения данных. Работа с кластерами.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Давин А.Г., Жилкин В.М., Свириденко А.Д. Автоматизация измерений, контроля и испытаний. Часть 1. Основы работы в программной среде LabVIEW. ТГТУ, 2005.

#### **1. Основные понятия программной среды *LabVIEW* и виртуального прибора (ВП)**

Программа, написанная в среде LabVIEW, называется виртуальным прибором (ВП). ВП симулируют реальные физические приборы. LabVIEW содержит полный набор инструментов для сбора, анализа, представления и хранения данных.

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

Запуск среды программирования LabVIEW осуществляется либо двойным кликом мыши на ярлыке LabVIEW, который находится на рабочем столе, либо из раздела Пуск-Программы - National Instruments LabVIEW. При входе в главное меню LabVIEW пользователю предлагается создание нового виртуального инструмента (New VI) или открытие уже существующего (Open VI).

ВП состоит из четырех основных компонентов - лицевой панели, блок-диаграммы, иконки и соединительной панели.

Разработка VI (ВП) осуществляется на двух панелях, находящихся в двух окнах, - передней (лицевая панель) и функциональной (блок-диаграмма). Лицевая панель - интерфейс пользователя создается с использованием палитры Элементов (Controls). Эти элементы могут быть либо средствами ввода данных - элементы управления, либо средствами отображения данных - элементы отображения. Элементы управления - кнопки, переключатели, ползунки и другие элементы ввода. Элементы отображения - графики, цифровые табло, светодиоды и т.д.

После этого на блок-диаграмме ВП осуществляется программирование с использованием палитры Функций (Functions), которая включает графическое представление функций для управления объектами на лицевой панели.

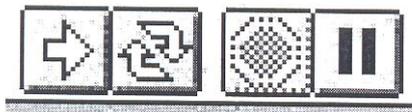


Рис. 1 Управляющие кнопки

Структура панелей одинакова. Основным элементом каждой панели является рабочая область, снабженная горизонтальным и вертикальным скроллингами, в которой и размещаются элементы. Также на панелях имеются верхнее меню и набор управляющих кнопок (рис. 1):

- кнопка «стрелка» - пуск выполнения программы; если в программе имеются ошибки, то данная кнопка расколота на две части;
- кнопка «стрелки в цикле» - запуск программы в циклическом режиме;
- кнопка «красный круг» - остановка выполнения программы;
- кнопка «две вертикальные черты» - пауза в выполнении программы.

Для обеих панелей доступна панель Tools Palette (рис. 2), включающая набор управляющих кнопок для изменения режима редактирования.

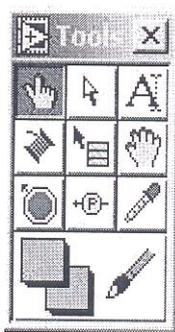


Рис. 2 Панель  
Tools

Перечислим некоторые из них:

- кнопка «указательный палец» - служит для изменения позиций выключателей и кнопок, управления значениями цифровых регуляторов, настройки виртуальных осциллографов и др.;
- кнопка «стрелка» - выделение, перемещение объектов, изменение их размера;
- кнопка «А» - открытие и редактирование текстового окна;
- кнопка «катушка» - служит для соединения объектов на функциональной панели;
- кнопка «кисть» - раскрашивание объектов или фона;
- кнопка «рука» - перемещение рабочей области панели в окне;
- кнопка «пипетка» - выбор текущего цвета из имеющихся на панели;
- кнопка «красный круг» - для размещения и снятия точек остановки выполнения программы на функциональной панели;
- кнопка «Р» - для размещения на функциональной панели локальных окон для отображения текущих значений данных, передаваемых в ходе выполнения программы.

При активной передней панели становится доступной панель Controls (рис. 2), она вызывается либо щелчком правой кнопки мыши в рабочем пространстве лицевой панели, либо необходимо выбрать в пункте главного меню Window » Show Controls Palette. С ее помощью осуществляется визуальное размещение элементов управления и элементов отображения на лицевой панели ВП. В панели Controls они распределены по отдельным группам по некоторым признакам - числовые, логические, строковые, массивы, диалоговые, ActivX, Internet и др.

Рассмотрим основные подпанели панели Controls:

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

- Numeric (числовые значения). Состоит из элементов управления и элементов отображения для числовых данных;
- Boolean (Булевы значения). Состоит из элементов управления и элементов отображения для булевых величин;
- String&Table (строковые значения и таблицы). Состоит из элементов управления и элементов отображения для ASCII строк и таблиц.
- List & Ring (списки и закольцованные списки). Состоит из элементов управления и элементов отображения для меню, выполненных в форме списков и закольцованных списков;
- Array & Cluster (массивы и кластеры). Состоит из элементов управления и элементов отображения для группировки наборов типов данных;
- Graph (виртуальные осциллографы). Состоит из элементов отображения, для построения графиков данных в графах или диаграммах в реальном масштабе времени;
- Path & Refnum (пути и ссылки). Состоит из элементов управления и элементов отображения для путей и ссылок;
- Decorations (оформление). Состоит из элементов управления и элементов отображения графических объектов для настройки дисплеев лицевой панели;
- Select Control (выбор регулятора). Отображает диалоговое окно для загрузки самодельных элементов управления
- User Controls (средства управления пользователем). Состоит из специальных средств управления, которые формирует сам пользователь;
- ActiveX (объекты ActiveX). Состоит из средств управления, позволяющих внедрить объекты ActiveX на лицевую панель;
- Dialog (диалоговая панель). Состоит из стандартных объектов для формирования диалога с пользователем;
- IMAQ Vision (обработка изображений). Состоит из средств обработки и анализа изображений;
- Internet Toolkit (работа с Internet). Состоит из средств управления, располагаемых на передней панели, позволяющих организовывать работу виртуальных инструментов в сети Internet (ftp, электронная почта, telnet, CGI и другие).

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

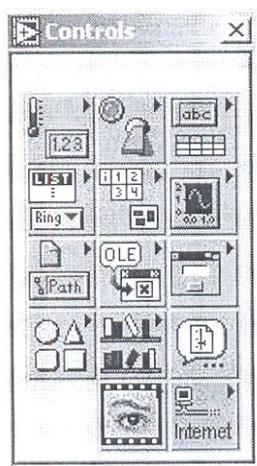


Рис. 3 Панель Controls

После помещения элементов управления или отображения данных на лицевую панель они получают свое графическое отображение (в виде терминала данных) на блок-диаграмме. Символы на терминале соответствуют типу данных терминала. Например, DBL - терминал представляет данные в виде вещественных чисел с двойной точностью, TF - логический терминал, 116 - терминал 16-битных целых и др.

При активировании функциональной панели становится доступной палитра Functions (рис. 4), которая аналогично панели Controls включает систематизированные наборы стандартных элементов в виде отдельных пиктограмм, из которых осуществляется составление блок-схемы ВП.

Палитра Functions вызывается либо щелчком правой кнопки мыши в рабочем пространстве блок-схемы, либо путем выбора в пункте главного меню Window » Show Function Palette.

Рассмотрим основные подпанели панели Functions:

- Structures (структуры). Состоит из управляющих структур программы, таких как циклы For Loop, While Loop и др.;
- Numeric (числовые функции). Состоит из тригонометрических, логарифмических и других функций;
- Boolean (Булевы функции). Состоит из логических и Булевых функций;
- String (строковые функции). Состоит из функций для работы со строковыми величинами;



Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

- Graphics & Sound (графика и звук). Состоит из ВП для работы трехмерной графикой, изображениями и звуком;
- Communication (связи). Состоит из виртуальных приборов для работы с сетями TCP, DDE и др.;
- Application Control (управление приложением). Состоит из ВП, управляющих виртуальными приборами;
- Advanced (расширенная). Состоит из разных функций типа функции библиотечного запроса, манипуляции данными и др.;
- Report Generation (генерация отчета). Состоит из ВП, используемых для подготовки отчетных документов;
- Tutorial (обучающие программы). Состоит из VI, используемых в обучающей программе Lab VIEW;
- User Libraries (пользовательские библиотеки). С помощью нее организуется быстрый доступ к нужному vi;
- Select VI (выбор ВП). Состоит из диалогового окна для внедрения подпрограмм в текущий ВП;
- IMAQ Vision (обработка изображений). Состоит из ВП, используемых для обработки и анализа изображений;
- Image Acquisition (получение изображения). Состоит из ВП, используемых для получения и обработки изображений;
- Internet Toolkit (работа с Internet). Состоит из ВП, используемых для работы в сети Internet (ftp, электронная почта, telnet, CGI и др.);
- SQL (SQL запросы). Состоит из ВП, используемых для организации связи с SQL сервером и обработки запросов.

Объекты блок-диаграммы включают графическое отображение элементов лицевой панели, операторов, функций, подпрограмм ВП, констант, структур и проводников данных, по которым производится обмен данными между объектами блок-диаграммы.

Проводники данных между терминалами аналогичны переменным на обычных языках. Данные идут в только одном направлении, с исходного терминала на один или более терминалов адресата. Провода имеют различную толщину и цвет. Синий цвет соответствует целым числам, оранжевый - вещественным числам, зеленый - логическим, лиловый - строковым данным и т.д.

При нажатии правой кнопки мыши на регуляторе/индикаторе (как на передней, так и на функциональной панели) появляется контекстное меню, с помощью которого возможно осуществить:

- замену элемента управления (регулятора) на элемент отображения (индикатора) и наоборот (Change to Control, Change to Indicator);

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

- быстрый поиск терминала на функциональной панели (Find Terminal) и регулятора/индикатора на передней панели (Find Control, Find Indicator);
- демонстрацию или отказ от названия для описания регулятора/индикатора (Show-Label, Show-Caption);
- настройку параметров регулятора/индикатора (Data Operations);
- замену на другой регулятор/индикатор (Replace);
- получение справки по используемой функции (Online Help);
- открытие для функций соответствующих им констант, индикаторов и регуляторов (Create Constant, Create Indicator, Create Control) и др.

## 2. Создание, редактирование и отладка ВП. Создание подпрограмм ВП.

Объекты лицевой панели на блок-диаграмме отображаются в виде терминалов данных (графическое изображение прямоугольной формы с буквенно-численными обозначениями). Терминалы данных обеспечивают обмен данными между лицевой панелью и блок-диаграммой; они подобны переменным и константам текстовых языков программирования. Различают терминалы данных следующих типов - терминалы элементов управления и отображения данных, терминалы узлов.

Узлы - это объекты на блок-диаграмме, которые имеют одно или более полей ввода/вывода данных и выполняют алгоритмические операции ВП. Они аналогичны операторам, функциям и подпрограммам текстовых языков программирования. Узлы включают в себя функции, подпрограммы ВП и структуры. Подпрограмма ВП - виртуальный прибор, который можно использовать на блок-диаграмме другого ВП в качестве подпрограммы. Структуры - это элементы управления процессом, такие как структура Case (Варианта), цикл While (цикл по условию) и т.д. Узлы Add (Сложение) и Subtract (Вычитание), - узлы функций.

Типы и проводники данных. В среде Lab VIEW проводники данных используются для соединения многочисленных терминалов данных. Поля ввода/вывода должны быть совместимыми с типами данных, передаваемыми им по проводникам. Например, нельзя соединять поле вывода массива с полем ввода данных численного типа. Кроме того, характер соединения должен быть корректным. Проводники должны быть подсоединены лишь к одному источнику данных и, по крайней мере, к одному полю ввода данных. Например, нельзя соединять два элемента отображения. Компонентами, определяющими совместимость соединения, являются: тип данных элемента управления и/или отображения и тип данных поля ввода/вывода.

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

Типы данных. В данном курсе используются следующие типы данных:

- Numeric (численный тип);
- Floating point - число с плавающей запятой, отображается в виде оранжевых терминалов. Может быть представлено в виде single (32 bit), double (64-bit) или extended (128-bit) precision (с одиночной, двойной или расширенной точностью). Число с плавающей запятой может быть комплексным;
- Integer - целочисленный тип, отображается в виде голубых терминалов. Возможны три представления целых чисел: 8, 16 и 32 бита. Один бит может использоваться для знака числа, если это число является знаковым целым;
- Boolean - логический тип, отображается в виде зеленых терминалов. Логический тип может принимать только два значения: 0 (FALSE) или 1 (TRUE);
- String - строковый тип, отображается в виде розовых терминалов. Строковый тип данных содержит текст в ASCII формате;
- Path - путь к файлу, отображается в виде терминалов. Путь к файлу близок строковому типу, однако, Lab VIEW форматирует его, используя стандартный синтаксис для используемой платформы;
- Array - массивы включают типы данных составляющих элементов и принимают соответствующий им цвет;
- Cluster - кластеры включают различные типы данных. Кластерный тип данных отображается коричневым цветом, если все его элементы численные, если же элементы кластера являются данными различных типов, он отображается розовым;
- Waveform - сигнальный тип данных является кластером элементов, содержащим данные, начальное значение времени и интервал времени между измерениями;
- Dynamic - динамический тип, отображается в виде темно-синих терминалов. Кроме данных сигнала, динамический тип содержит дополнительную информацию, например, название сигнала или дату и время его получения. Большинство экспресс-ВП принимают и/или возвращают данные динамического типа. Данные динамического типа можно направлять к потоку элементу 01 поражения или полю ввода, принимающему данные численного, логического или сигнального типа.

Проводники данных. Данные между объектами блок-диаграммы передаются по соединительным линиям - проводникам данных. Проводник данных аналогичен переменным в текстовых языках программирования. Каждый проводник данных имеет единственный источник

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

данных, но может передавать их ко многим ВП и функциям. Проводники данных различаются цветом, стилем и толщиной линии, в зависимости от типа передаваемых данных.

Автоматическое соединение объектов проводниками данных. В среде Lab VIEW объекты соединяются проводниками данных после их помещения на блок-диаграмму. В автоматическом режиме среда LabVIEW подключает те поля ввода/вывода данных, которые наиболее совместимы, несовместимые поля остаются несоединенными.

Корректировка параметров автоматического подключения проводников осуществляется через пункты главного меню Tools » Options » Block Diagram.

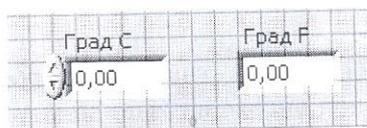
Соединение объектов проводниками данных вручную. Соединение объектов проводниками данных вручную производится с помощью инструмента СОЕДИНЕНИЕ. После наведения инструмента СОЕДИНЕНИЕ на поле ввода или вывода данных на экране появляется подсказка, которую можно использовать для уточнения места подключения проводника.

Задание 2.1. Преобразование °C в °F

Ниже приведена последовательность действий для создания ВП, который будет преобразовывать значение температуры из градусов Цельсия в температуру по Фаренгейту.

Лицевая панель

1. Выберите пункт главного меню File » New » VI, чтобы открыть новую лицевую панель.
2. Поместите цифровой элемент управления на лицевую панель. В поле собственной метки элемента управления напечатайте «Град С».
3. Поместите элемент отображения данных на лицевую панель. Он будет использован для отображения значений температуры в °F. В поле собственной метки элемента управления напечатайте «Град F» и щелкните мышью в свободном пространстве лицевой панели или нажмите кнопку Enter.



На блок-диаграмме Lab VIEW создаст терминалы данных, соответствующие элементам управления и отображения. Терминалы данных представляют тип данных соответствующих элементов. Например, терминал данных DBL представляет тип числовых данных двойной точности с плавающей запятой.

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

*Внимание! Терминалы данных, соответствующие элементам управления, имеют более широкий обводной контур по сравнению с терминалами данных, соответствующими элементам отображения.*

Блок-диаграмма

4. Перейдите на блок-диаграмму, выбрав пункты главного меню Window » Show Diagram.
5. Выберите функцию Multiply (Умножение) из палитры Функций в разделе Functions » Numeric (Арифметические функции). Поместите ее на блок-диаграмму.
6. Выберите функцию Add (Сложение) из палитры Функций в разделе Functions » Numeric (Арифметические функции). Поместите ее на блок-диаграмму.
7. Выберите числовую константу из палитры Функций в разделе Functions » Numeric (Арифметические функции). Поместите две числовые константы на блок-диаграмму. После размещения числовой константы на блок-диаграмме поле ввода ее значений подсвечивается и готово для редактирования. Одной константе присвойте значение 1,8, другой 32,0.
8. Соедините объекты блок-диаграммы с помощью инструмента СОЕДИНЕНИЕ.
9. Перейдите на лицевую панель, выбрав в главном меню пункт Window » Show Panel.
10. Сохраните ВП, он будет использоваться позднее.

Запуск ВП

1. Введите число в элемент управления и запустите ВП:
  - а) для ввода числа в элемент управления следует использовать инструмент УПРАВЛЕНИЕ или инструмент ВВОД ТЕКСТА;
  - б) нажмите кнопку Run, чтобы запустить ВП;
  - в) введите несколько разных значений температуры и запустите ВП.

Задание 2.2. Создание ВП, согласно Вашему

№ варианта	Содержание задания
1	ВП преобразует значение температуры из

2. Закройте ВП, выбрав пункт главного меню File » Close.

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

	сов Цельсия в температуру по шкале Кельвина ( $^{\circ}\text{K} = ^{\circ}\text{C} + 273$ )
2	ВП преобразует значение температуры из градусов Цельсия в температуру по шкале Реомюра ( $^{\circ}\text{R} = ^{\circ}\text{C} \cdot 4/5$ )
3	ВП преобразует значение температуры по шкале Кельвина в градусы Цельсия ( $^{\circ}\text{C} = ^{\circ}\text{K} - 273$ )
4	ВП преобразует значение температуры по шкале Реомюра в градусы Цельсия ( $^{\circ}\text{C} = ^{\circ}\text{R} \cdot 5/4$ )
5	ВП преобразует значение температуры по Фаренгейту в градусы Цельсия ( $^{\circ}\text{F} = 9/5 \cdot ^{\circ}\text{C} + 32$ )
6	ВП преобразует значение температуры по шкале Реомюра в температуру по Фаренгейту ( $^{\circ}\text{F} = 9/4 \cdot ^{\circ}\text{R} + 32$ )
7	ВП преобразует значение температуры из градусов Цельсия в температуру по Реомюру ( $^{\circ}\text{R} = ^{\circ}\text{C} \cdot 4/5$ )
8	ВП преобразует значение температуры по Кельвину в температуру по Реомюру ( $^{\circ}\text{R} = (^{\circ}\text{K} - 273) \cdot 4/5$ )
9	ВП преобразует по закону Ома значение напряжения и сопротивления в силу тока ( $I = U / R$ )
10	ВП преобразует значение динамической вязкости $\mu$ в кинематическую вязкость $\nu$ ( $\nu = -\mu / \rho$ )
11	ВП преобразует значение напряжения (мВ) и силы тока (мкА) в ватты (Вт) ( $P = IU$ )
12	ВП преобразует значение напряжения (В) и силы тока (А) в мощность (Вт) ( $P = IU$ )

### Создание подпрограмм ВП

Следующий шаг после создания блок-диаграммы и формирования лицевой панели ВП - создание иконки ВП и настройка соединительной панели для использования виртуального прибора в качестве подпрограммы ВП. Подпрограмма ВП соответствует подпрограмме в текстовых языках программирования. Использование подпрограмм ВП помогает быстро управлять изменениями и отладкой блок-диаграмм.

Любой VI может быть использован как подпрограмма при создании в последующем других виртуальных инструментов. Для объединения нескольких функциональных блоков разрабатываемой блок-диаграммы в подпрограмму достаточно выделить их мышкой на диаграмме, удерживая клавишу Shift, и затем выбрать в верхнем меню пункт Edit - Create SubVI. При этом они объединятся в новую подпрограмму с новым значком

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

(иконкой) на функциональной панели. Двойной клик на данном значке позволит вызвать созданную подпрограмму, настроить ее должным образом и сохранить с заданным именем. В последующем данный модуль может быть многократно использован в различных VI.

Каждый виртуальный прибор в правом верхнем углу лицевой панели и в окне блок-диаграммы отображает иконку ЯО. Иконка - графическое представление прибора. Она может содержать текст, рисунок или и то и другое одновременно. Если ВП используется в качестве подпрограммы, то иконка идентифицирует его на блок-диаграмме другого ВП.

Для редактирования иконки создаваемых vi и подпрограмм достаточно кликнуть правой кнопкой мыши на пиктограмме vi в правом верхнем углу и выбрать пункт Edit Icon ... (рис. 1).

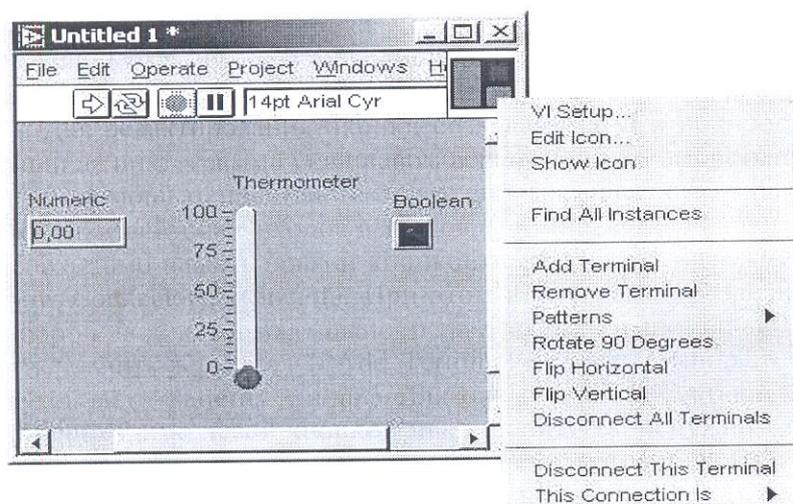


Рис. 1

С помощью простейших функций графического редактора можно создать собственный вариант иконки. Настройка входов/выходов (терминалов) подпрограмм осуществляется следующим образом. Необходимо нажать правой кнопкой мыши на пиктограмме vi в правом верхнем углу и выбрать пункт Show Connector... (рис. 1). При этом пиктограмма разделится на несколько прямоугольников, общий набор и вид которых можно редактировать с помощью всплывающего меню пиктограммы (добавить/удалить терминал - Add Terminal/Remove Terminal, поворот на 90 градусов - Rotate 90 Degrees, другой вид - Patterns... и др.). Для того, что бы сопоставить каждый терминал с определенными данными необходимо левой кнопкой мыши кликнуть на нужном терминале, а затем - на том элементе управления или отображения на лицевой панели, которой он будет соответствовать. При этом терминал окрасится в цвет, соответствующий типу данных указанного элемента управления или отображения. В результате все

терминалы будут связаны с определенными входными или выходными данными.

Использование подпрограмм ВП. После создания ВП, оформления его иконки и настройки соединительной панели ВП может использоваться в качестве подпрограммы. Чтобы поместить подпрограмму ВП на блок-диаграмму, следует выбрать на палитре Functions (Функций) подраздел Select a VI (Выбор ВП). Указать ВП и перенести его на блок-диаграмму.

Открытый ВП можно поместить на блок-диаграмму другого ВП, переместив на нее иконку этого ВП с помощью инструмента ПЕРЕМЕЩЕНИЕ.

### Задание 3.1. ВП Преобразования °C в °F

В этой работе представлена последовательность действий по созданию иконки и настройке соединительной панели для созданного ВП, который переводит значение измеренной температуры из градусов Цельсия в градусы по Фаренгейту.

#### Лицевая панель

1. Откройте файл с ранее созданным ВП *Преобразование C в F {начало}.vi*.

#### Иконка и соединительная панель

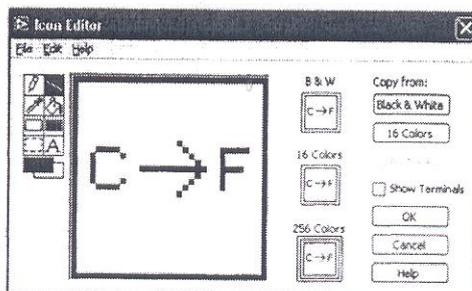
2. Щелкните правой кнопкой мыши по иконке ВП и в контекстном меню выберите пункт Edit Icon (Редактирование иконки). Появится диалоговое окно редактора иконки Icon Editor.

3. Дважды щелкните правой кнопкой мыши по инструменту ВЫБОР □.

4. Нажав кнопку <Delete>, очистите область редактирования иконки.

5. Дважды щелкните по инструменту ПРЯМОУГОЛЬНИК □, чтобы обвести область редактирования границей выбранного цвета.

6. Создайте следующую иконку:



а) введите текст инструментом ВВОД ТЕКСТА ;

б) напечатайте «C» и «F»;

в) для выбора размера шрифта дважды щелкните левой кнопкой мыши по инструменту ВВОД ТЕКСТА;

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

г) чтобы нарисовать стрелку, воспользуйтесь инструментом **КАРАНДАШ**.

*Внимание!* Для рисования вертикальных, горизонтальных и диагональных линий требуется во время рисования нажать и удерживать клавишу <Shift>.

д) для передвижения текста и стрелки по полю редактирования иконки используйте инструмент **ВЫБОР** и стрелки на клавиатуре;

е) в разделе Copy from (Копировать из) выберите B & W (черно-белую) иконку и 256 Colors (256-цветный режим) для создания черно-белой иконки, которую Lab VIEW использует в случае отсутствия цветного принтера;

ж) в разделе Copy from (Копировать из) выберите 16 Colors и 256 Colors;

з) после завершения редактирования иконки нажмите кнопку ОК и закройте Icon Editor. Новая иконка появится в правом верхнем углу обеих панелей.

7. Перейдите на лицевую панель, щелкните правой кнопкой мыши на иконке и выберите пункт Show Connector (Показать поля ввода/вывода данных) из контекстного меню. Количество отображаемых Lab VIEW полей ввода/вывода данных соответствует количеству элементов на лицевой панели. Например, лицевая панель этого ВП имеет два элемента Град С и Град F и LabVIEW выводит в соединительной панели два поля.

8. Элементам управления и отображения данных назначьте соответственно поля ввода и вывода данных:

а) в пункте главного меню Help (Помощь) выберите Show Context Help (показать контекстную справку) и выведите на экран окно Context Help (контекстной справки) для просмотра соединений;

б) щелкните левой кнопкой мыши на левом поле соединительной панели. Инструмент **УПРАВЛЕНИЕ** автоматически поменяется на инструмент **СОЕДИНЕНИЕ**, а выбранное поле окрасится в черный цвет;

в) щелкните левой кнопкой мыши по элементу Град С. Левое поле станет оранжевым и выделится маркером;

г) щелкните курсором по свободному пространству. Маркер исчезнет, и поле окрасится в цвет данных типа соответствующего элемента управления;

д) щелкните левой кнопкой мыши по правому полю соединительной панели и элементу Град F. Правое поле станет оранжевым;

е) щелкните курсором по свободному пространству. Оба поля останутся оранжевыми;

ж) наведите курсор на область полей ввода/вывода данных. Окно Context Help (контекстной справки) покажет, что оба поля соответствуют типу данных двойной точности с плавающей запятой.

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

9. Выберите пункт главного меню File » Save. Сохраните ВП под именем Преобразование С в F.vi.

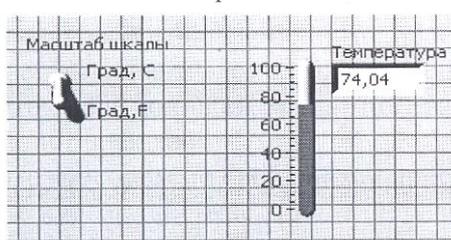
10. Выберите пункт главного меню File » Close. Закройте ВП.

Задание 3.2. ВП Термометр

Ниже приведена последовательность действий для создания ВП, который измеряет температуру и отображает значение температуры в градусах Цельсия или температуру по Фаренгейту.

Лицевая панель

1. Создайте элемент отображения данных температуры, как показано ниже:



а) выберите элемент отображения данных, расположенный на палитре Controls в разделе Numeric (Числовые элементы) И;

б) напечатайте Температура внутри собственной метки и нажмите кнопку Enter на инструментальной панели

в) щелкните правой кнопкой мыши по элементу и выберите пункт контекстного меню Visible Items (Отображаемые элементы), Digital Display (Цифровой индикатор)

3. Создайте элемент управления в виде вертикального переключателя \Ш:

а) выберите вертикальный переключатель, расположенный в палитре Controls раздела Boolean (Логические элементы) 0;

б) введите имя собственной метки переключателя Масштаб шкалы и нажмите кнопку Enter на инструментальной панели;

в) используя инструмент ВВОД ТЕКСТА, создайте на лицевой панели свободную метку °C, как показано выше;

г) с помощью инструмента ВВОД ТЕКСТА создайте на лицевой панели свободную метку °F, как показано выше.

4. Создайте описание ВП, которое появляется в окне контекстной справки Context Help после наведения курсора на иконку ВП:

а) выберите пункт главного меню File » VI Properties;

б) выберите пункт Documentation (Описание) в разделе Category (Категория) из выпадающего меню;

в) в поле ввода текста напечатайте следующее:

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

*Этот ВП измеряет температуру, используя ВП Demo Read Voltage VI.*

5. Создайте описание элементов управления и отображения данных, которое появляется в окне контекстной справки Context Help после наведения на них курсора:

а) щелкните правой кнопкой мыши по элементу отображения и выберите пункт контекстного меню Description and Tip (Описание и предупреждения);

б) в поле ввода текста напечатайте следующее:  
*Выводит на экран значения измеренной температуры;*

в) введите в поле Tip значение Температура;

г) нажмите кнопку ОК;

д) щелкните правой кнопкой мыши по элементу управления и выберите пункт контекстного меню Description and Tip (Описание и предупреждения);

е) в поле ввода текста напечатайте следующее:

*Определяет шкалу (по Фаренгейту или Цельсию), используемую для измерения температуры;*

ж) введите в поле Tip значение шкала - °C или °F и нажмите кнопку ОК.

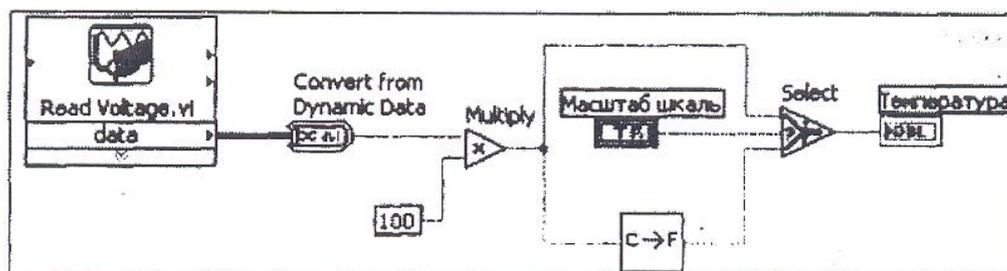
6. Отобразите окно контекстной справки Context Help, которое доступно из пункта главного меню Help » Show Context Help.

7. Наведите курсор на один из объектов для просмотра описания их работы в окне Context Help.

Блок-диаграмма

8. Перейдите на блок-диаграмму, выбрав Window » Show Diagram.

9. Создайте блок-диаграмму, показанную ниже.



Поместите на блок-диаграмму ВП Demo Read Voltage VI, расположенный в каталоге <d:\netshare\Text\AICIT\for LabVIEW>, который служит для имитации считывания напряжения, пропорциональное температуре. Например, если температура составляет 20 °C, то напряжение на выходе датчика будет равно 20 В.

Поместите на блок-диаграмму ВП Convert from Dynamic Data (преобразовать динамические данные), расположенный в палитре

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

Functions » Express » Signal Manipulation. Этот ВП преобразует динамический тип данных. В конфигурационном диалоговом окне выберите пункт Single Scalar in списка Resulting data type.

Выберите функцию Multiply (Умножение), расположенную в палитре Functions » Numeric. Эта функция умножает считанное ВП «Read Voltage VI» напряжение на «100.0» для представления температуры в градусах Цельсия;

Щелкните правой кнопкой мыши по полю ввода данных у функции Multiply (Умножение) и в контекстном меню выберите пункт Create»Constant (Создать константу). Константе присвойте значение «100» и нажмите клавишу <Enter>.

В палитре Functions (Функций) в разделе Select a VI (Выбор ВП) выберите ВП Преобразование С в F, созданный в задании 3.1. Поместите его на блок-диаграмму. Этот ВП переведет градусы Цельсия в градусы Фаренгейта.

Выберите функцию Select (Выбор), расположенную в палитре Functions » Comparison. Эта функция выдает значения °C или °F в зависимости от состояния переключателя Масштаб шкалы.

*Лицевая панель*

10. Перейдите на лицевую панель.

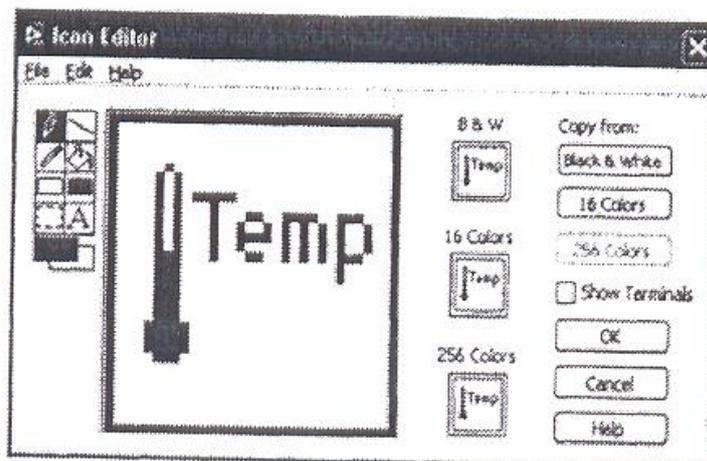
11. Нажмите на кнопку непрерывного запуска, показанную слева.

12. Нажмите на кнопку непрерывного запуска еще раз для остановки

ВП.

*Иконка и соединительная панель*

13. Создайте иконку, показанную ниже, чтобы использовать ВП а качестве подпрограммы.



14. Элементам управления и отображения данных поставьте в соответствие поля ввода и вывода данных, щелкнув правой кнопкой

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

мыши по иконке и выбрав пункт контекстного меню Show Connector (Показать поля ввода/вывода данных).

15. Сохраните ВП под именем Термометра!, он будет использоваться позднее.

16. Закройте ВП, выбрав пункт главного меню File » Close.

Задание 3.3. По аналогии заданию 3.2, создать ВП, используя в качестве подпрограммы прибор, созданный в задании 2.2.

<i>№ варианта</i>	<i>Содержание задания</i>
1	<i>ВП измеряет температуру и отображает значение температуры по шкале Кельвина или в градусах Цельсия</i>
2	<i>ВП измеряет температуру и отображает значение температуры по шкале Реомюра или в градусах Цельсия</i>
3	<i>ВП измеряет температуру и отображает значение температуры в градусах Цельсия или по шкале Кельвина</i>
4	<i>ВП измеряет температуру и отображает значение температуры в градусах Цельсия или по шкале Реомюра</i>
5	<i>ВП измеряет температуру и отображает значение температуры в градусах Цельсия или по шкале Фаренгейта</i>
6	<i>ВП измеряет температуру и отображает значение температуры по Реомюру или по шкале Фаренгейта</i>
7	<i>ВП измеряет температуру и отображает значение температуры в градусах Цельсия или по шкале Реомюра</i>
8	<i>ВП измеряет температуру и отображает значение температуры по Кельвину или по шкале Реомюра</i>
9	<i>ВП измеряет напряжение; на выходе - значение напряжения или силы тока (рассчитанной по закону Ома) в зависимости от состояния переключателя</i>
10	<i>ВП измеряет вязкость и отображает значение динамической вязкости <math>\zeta</math> или кинематической вязкости <math>\nu</math></i>
11	<i>ВП измеряет напряжение и отображает напряжения (мВ) или мощность (Вт)</i>
12	<i>ВП измеряет напряжение и отображает напряжение (В) или мощность (Вт)</i>

Примечания:

1) для имитации считывания напряжения, пропорционального температуре, в вариантах 1 - 8 следует использовать ВП Demo Read Voltage VI, расположенный в каталоге [d:\netshare\Text\AICiT\for\\_LabVIEW;](d:\netshare\Text\AICiT\for_LabVIEW;)

2) в вариантах 9, 11, 12 для имитации считывания напряжения - ВП Demo Read Voltage VI; 3) в варианте 10 для имитации считывания значений вязкости - функцию Random Number (0 - 1), расположенную в палитре Functions»Numeric. Эта функция будет генерировать случайное число в пределах от 0 до 1.

### *КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ*

- 1 Из каких основных компонентов состоит Ваш ВП?
- 2 Что называется иконкой ВП?
- 3 Как создается иконка ВП?
- 4 Как отображаются иконки ВП и какие функции они выполняют?
- 5 Как редактируется иконка ВП?
- 6 Как вывести на экран значение измеренной температуры?
- 7 Зачем нужна функцию Select?
- 8 Как осуществляется непрерывный пуск разработанного ВП?

### **3. Многократные повторения и циклы при создании ВП, работа с массивами в среде *LabVIEW***

Структуры являются графическим представлением операторов цикла и операторов Case (Варианта), используемых в текстовых языках программирования. Структуры на блок-диаграмме используются для выполнения повторяющихся операций над потоком данных, операций в определенном порядке и наложения условий на выполнение операций. Среда Lab VIEW содержит пять структур: Цикл While (по условию), Цикл For (с фиксированным числом итераций), структура Case (Вариант), структура Sequence ('сиквенс) (Последовательность), структура Event (Событие), а также Formula Node (узел Формулы).

Цикл While (по условию). Цикл While (по условию) работает до тех пор, пока не выполнится логическое условие выхода из цикла.

- Блок-диаграмма цикла While выполняется до тех пор, пока не выполнится условие выхода из цикла. По умолчанию, терминал условия выхода имеет вид, показанный слева. Это значит, что цикл будет выполняться до поступления на терминал условия выхода значения TRUE. В этом случае терминал условия выхода называется терминалом Stop If True (Остановка если Истина).

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

- Терминал счетчика итераций, показанный слева, содержит значение количества выполненных итераций. Начальное значение терминала всегда равно нулю.
- Предусмотрена возможность изменения условия выхода и соответствующего ему изображения терминала условия выхода. Щелчком правой кнопки мыши по терминалу условия выхода или по границе цикла необходимо вызвать контекстное меню и выбрать пункт Continue If True (Продолжение если Истина).

Цикл For (с фиксированным числом итераций). Цикл For (с фиксированным числом итераций) выполняет повторяющиеся операции над потоком данных определенное количество раз.

1. Цикл For расположен в палитре Функций в разделе Functions » Structures. Значение, присвоенное терминалу максимального числа итераций N цикла, показанного слева, определяет максимальное количество повторений операций над потоком данных.
2. Терминал счетчика итераций, показанный слева, содержит значение количества выполненных итераций. Начальное значение счетчика итераций всегда равно 0.

Организация доступа к значениям предыдущих итераций цикла.

При работе с циклами зачастую необходим доступ к значениям предыдущих итераций цикла. Например, в случае ВП, измеряющего температуру и отображающего ее на графике, для отображения текущего среднего значения температуры, необходимо использовать значения, полученные в предыдущих итерациях. Есть два пути доступа к этим данным: Shift Register (сдвиговый регистр) и Feedback Node (узел обратной связи).

Сдвиговые регистры. Сдвиговые регистры используются при работе с циклами для передачи значений от текущей итерации цикла к следующей. Сдвиговые регистры аналогичны статическим переменным в текстовых языках программирования.

▼ ▲ Сдвиговый регистр выглядит как пара терминалов, показанных слева. Они расположены непосредственно друг против друга на противоположных вертикальных сторонах границы цикла. Правый терминал содержит стрелку «вверх» и сохраняет данные по завершению текущей итерации. Lab VIEW передает данные с этого регистра в следующую итерацию цикла. Сдвиговый регистр создается щелчком правой кнопки мыши по границе цикла и выбором из контекстного меню пункта Add Shift Register (Добавить сдвиговый регистр).

Чтобы инициализировать сдвиговый регистр, необходимо передать на его левый терминал любое значение извне цикла. Если не

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

инициализировать сдвиговый регистр, он использует значение, записанное в регистр во время последнего выполнения цикла или значение, используемое по умолчанию для данного типа данных, если цикл никогда не выполнялся.

Узлы обратной связи. ● ← Узел обратной связи, показанный слева, автоматически появляется в циклах While или For при соединении поля вывода данных подпрограммы ВП, функции или группы подпрограмм ВП и функций с полем ввода данных тех же самых подпрограмм ВП, функций или их групп. Как и сдвиговый регистр, узел обратной связи сохраняет данные любого типа по завершению текущей итерации и передает эти значения в следующую итерацию. Использование узлов обратной связи позволяет избежать большого количества проводников данных и соединений.

Можно поместить узел обратной связи внутри цикла While или For, выбрав Feedback Node (Узел обратной связи) в палитре Structures (Структуры). При помещении узла обратной связи на проводник данных до ответвления, передающего данные на выходной терминал цикла, узел обратной связи передает все значения на выходной терминал цикла. При помещении узла обратной связи на проводник после ответвления, передающего данные на выходной терминал цикла, узел обратной связи передаст все значения обратно на поле ввода данных ВП или функции, а затем передаст последнее значение на выходной терминал цикла. Следующее упражнение содержит пример работы узла обратной связи.

Структура выбора Case. В структуре выбор Case имеются две или более встроенных блок-схемы. Выбор одной из них, которая будет выполнена, определяется в зависимости от значения, поданного на вход данной структуры. Структура Case включает:

- Терминал выбора (?). Значение, подаваемое на него, может быть целым, логическим или строковым.
- Переключатель блок-схем (True \ False \ и т.д.). Позволяет переходить от одной блок-схемы к другой. Содержит по умолчанию два окна True и False. При необходимости количество блок-схем выбора может быть увеличено. Кроме True и False в качестве значений переключателя могут использоваться целые числа или строковые значения.

Формульный блок Formula Node. Формульный блок Formula Node позволяет вводить формулы в обычном виде прямо в блок-схему. Особенно это удобно, когда выражение имеет много переменных и сложный вид. Формулы вводятся как простой текст. При этом создаются терминалы на границе блока (контекстное меню Add Input или Add

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

Output), в которые вписываются имена переменных. Каждое выражение заканчивается разделителем «;».

Структура последовательности Sequence Structure. Структура последовательности Sequence Structure выполняет встроенные в нее блок-схемы последовательно в определенном порядке. Количество встроенных блок-схем определяется числом фреймов данной структуры. Их количество добавляется при помощи контекстного меню - Add Frame After, Add Frame Before. Для передачи значений переменных из фрейма в фрейм используются локальные переменные структуры (контекстное меню – Add Sequence Local variable), создаваемые на границе фрейма. Данные, связанные с такой переменной, доступны во всех последующих фреймах и не доступны в предыдущих.

Задание 4.1. ВП Измерение температуры во времени

Ниже приведена последовательность действий для создания ВП, который использует ВП термометр для измерения температуры раз в секунду в течение одной минуты.

Лицевая панель

1. Откройте новый ВП и создайте лицевую панель, как показано ниже на рисунке.



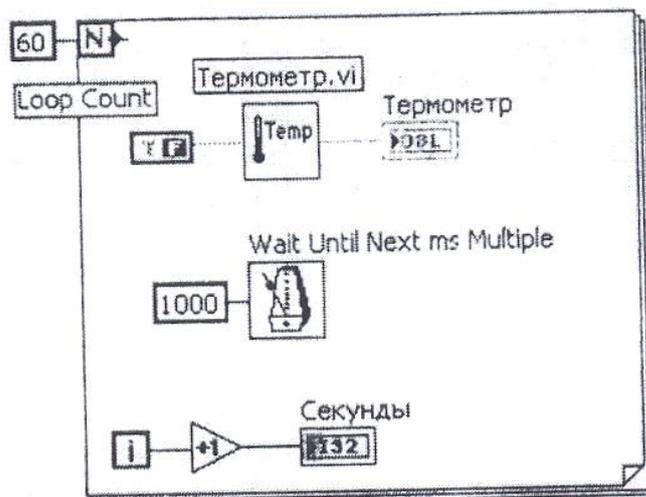
Поместите Термометр, расположенный на палитре Controls » Numeric, на блок-диаграмму для отображения на экране измерений температуры.

Поместите на лицевую панель цифровой элемент отображения данных, расположенный в палитре Controls » Numeric. Назовите его Секунды.

Блок-диаграмма

2. Создайте блок-диаграмму, показанную ниже.

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений



Поместите ВП Термометр на блок-диаграмму. Для этого выберите Functions » Select a VI и укажите папку, в которой находится прибор, созданный в задании 3.2.

Щелкните правой кнопкой мыши по полю ввода данных Temp Scale (Шкала температур), в контекстном меню выберите пункт Create » Constant. Константе присвойте значение FALSE - для градусов Фаренгейта и TRUE - для градусов Цельсия.

Поместите на блок-диаграмму функцию Wait Until Next ms Multiple, находящуюся в палитре Functions » Time and Dialog. Функция Wait Until Next ms Multiple (ждать кратного значения) обеспечивает интервал между итерациями, равный интервалу времени, необходимому для того, чтобы миллисекундный счетчик достиг значения, кратного введенному пользователем. Щелкните правой кнопкой мыши по полю ввода данных и выберите пункт Create » Constant. Созданной константе присвойте значение 1000. Теперь каждая итерация цикла выполняется с интервалом времени 1000 мс (раз в секунду).

Поместите на блок-диаграмму функцию Increment (приращение), находящуюся в палитре Functions » Numeric. Эта функция добавляет 1 к значению счетчика итераций после завершения выполнения цикла.

3. Сохраните ВП под именем Измерение температуры во времени.
4. Запустите ВП.
5. Закройте ВП.

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

Задание 4.2

№ варианта	Содержание задания
1	Создайте ВП, генерирующий случайные числа в цикле While. Организуйте выход из цикла по нажатию кнопки на лицевой панели ВП
2	Посчитайте значение выражения $Y = X^2 + Z^3 - XZ + 10$ с помощью блока Formula Node и ВП Formula Express, расположенного в палитре Functions » Arith/Compare (арифметика/сравнение)
3	Создайте ВП, генерирующий 70 случайных чисел в цикле FOR
4	Создайте ВП, который с помощью Formula Node считает значение выражения $Y = x + \cos(x) - 10$ и если $Y \geq 0$ , то $Z = \text{sqrt}(Y)$
5	Используя структуру Case, создайте ВП, который считает разность двух чисел и если полученное число $\geq 0$ , то вычисляется значение корня, иначе выдается сообщение об ошибке

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

№ варианта	Содержание задания
6	ВП осуществляет поочередное включение индикаторов на лицевой панели; промежутки между включениями индикаторов 2, 3 и 7 с, соответственно. Используйте последовательность Sequence Structure и функцию Time Delay, расположенную в палитре Functions » Time and Dialog
7	Создайте ВП, который измеряет температуру в течение минуты с помощью термометра, созданного в задании 3.2 и считает среднее значение температуры. Подсчет среднего значения осуществить с помощью сдвигового регистра
8	Посчитайте значение выражения $Y = X^5 + \cos^2(Z) - XZ + 10$ с помощью блока Formula Node и ВП Formula Express, расположенного в палитре Functions » Arith/Compare (арифметика/сравнение)
9	Используя структуру Case, создайте ВП, который считает значение выражения $y = ax + 14$ , где $a = \text{const}$ ; и если $y \geq 0$ , то вычисляется значение корня, иначе выдается сообщение об ошибке
10	Создайте ВП, который генерирует 70 случайных чисел и считает среднее значение. Подсчет среднего значения осуществите с помощью сдвигового регистра
11	Создайте ВП, который с помощью Formula Node считает значение выражения $y = \sin(x)$ , если $y$ – положительное число, то $z = y + A$ , иначе $z = y - A$
12	ВП осуществляет поочередное включение индикаторов на лицевой панели; промежутки между включениями индикаторов 5, 8 и 12 с, соответст-

венно. Используйте последовательность Sequence Structure и функцию Time Delay, расположенную в палитре Functions » Time and Dialog

*Контрольные вопросы*

- 1 Из каких основных компонентов состоит Ваш ВП?
- 2 Какие приемы использования цикла While Вы знаете?
- 3 Как измерить температуру с интервалом раз в секунду в течение одной минуты?
- 4 Как и зачем используются сдвиговые регистры в ВП?
- 5 Зачем нужны узлы обратной связи в ВП?
- 6 Как добавить 1 к значению счетчика итераций после завершения выполнения цикла?
- 7 Из каких подпалитр состоит палитра Controls (Элементов)?
- 8 Из каких подпалитр состоит палитра Functions (Функций)?

9 Назовите назначение управляющих кнопок на блок-диаграмме.

10 Назовите основные типы данных.

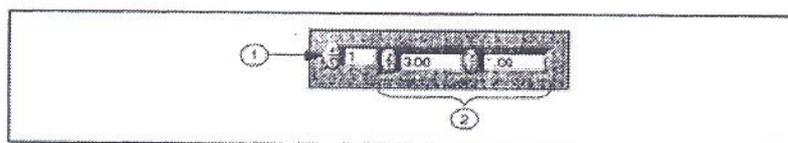
## РАБОТА С МАССИВАМИ В СРЕДЕ Lab VIEW

Массивы объединяют элементы одного типа данных. Массив - это набор элементов определенной размерности. Элементами массива называют группу составляющих его объектов. Размерность массива - это совокупность столбцов (длина) и строк (высота), а также глубина массива. Массив может иметь одну и более размерностей и до  $2^{31}-1$  элементов в каждом направлении, насколько позволяет оперативная память.

Данные, составляющие массив, могут быть любого типа: целочисленного, логического или строкового. Массив также может содержать элементы графического представления данных и кластеры. Использовать массивы удобно при работе с группами данных одного типа и при накоплении данных после повторяющихся вычислений. Массивы идеально подходят для хранения данных, полученных с графиков, или накопленных во время работы циклов, причем одна итерация цикла создает один элемент массива.

Все элементы массива упорядочены. Чтобы к ним было легко обращаться, каждому элементу присвоен индекс. Нумерация элементов массива всегда начинается с 0. Таким образом, индексы массива находятся в диапазоне от 0 до  $(n - 1)$ , где  $n$  - число элементов в массиве.

Создание массива элементов управления и отображения. Для создания массива элементов управления или отображения данных, как показано в примере, необходимо выбрать шаблон массива из палитры Controls » Array & Cluster и поместить его на лицевую панель. Затем поместить в шаблон массива элемент управления либо отображения данных.



1. Элемент индекса массива

2. Элементы значений массива

Создание массива констант. Создать массив констант на блок-диаграмме можно, выбрав в палитре Functions » Array шаблон Array Constant и поместив в него числовую константу. Массив констант удобно использовать для передачи данных в подпрограммы ВП.

Двумерные массивы. В двумерном (2D) массиве элементы хранятся в виде матрицы. Таким образом, для размещения элемента требуется указание индекса столбца и строки. На иллюстрации показан двумерный

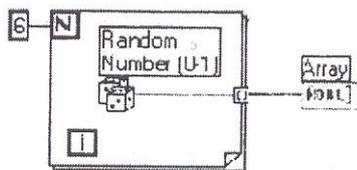
Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

массив, состоящий из 6 столбцов (длина) и 4 строк (высота). Количество элементов в массиве равно 24 ( $6 \times 4 = 24$ ).

		Индекс колонки					
		0	1	2	3	4	5
Индекс строки	0						
	1						
	2						
	3						

Для увеличения размерности массива необходимо щелкнуть правой кнопкой мыши по элементу индекса и выбрать из контекстного меню пункт Add Dimension (Добавить размер). С этой целью также можно использовать инструмент ПЕРЕМЕЩЕНИЕ. Для этого надо просто изменить размер элемента индекса.

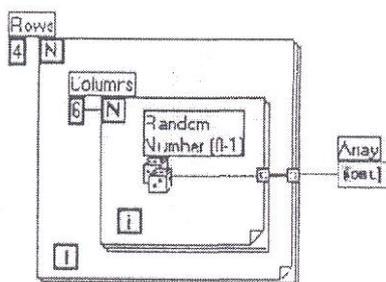
Автоматическая индексация. Цикл For и цикл While могут автоматически накапливать массивы и проводить их индексацию на своих границах. Это свойство называется автоиндексацией. После соединения терминала данных массива с терминалом выхода из цикла каждая итерация цикла создает новый элемент массива. На иллюстрации видно, что проводник данных, соединяющий терминал данных массива с терминалом выхода из цикла стал толще, а сам терминал выхода из цикла окрашен в цвет терминала данных массива.



Автоиндексация отключается щелчком правой кнопки мыши по терминалу входа/выхода из цикла и выбором пункта контекстного меню Disable Indexing (запретить авто индексацию). Автоиндексацию следует отключать, например, в случае, когда нужно знать только последнее значение.

Ввиду того, что цикл For часто используется при работе с циклами, для него в LabVIEW автоиндексация включена по умолчанию. Для цикла While автоиндексация по умолчанию отключена. Для того, чтобы включить автоиндексацию, необходимо щелкнуть правой кнопкой мыши по терминалу входа/выхода из цикла и выбрать в контекстном меню пункт Enable Indexing (разрешить автоиндексацию).

Создание двумерных (2D) массивов. Для создания двумерных массивов необходимо использовать два цикла For, один внутри другого. Как показано на иллюстрации, внешний цикл создает элементы массива в строке, а внутренний цикл создает элементы массива в столбце.



Функции работы с массивами. Для создания и управления массивами используются функции, расположенные в палитре Functions » Array. Наиболее часто используемые функции работы с массивами включают в себя:

Array Size (Размер массива) - показывает количество элементов массива каждой размерности. Если массив «n-мерный, на выходе функции Array Size будет массив из n элементов. Например, для приведенного ниже массива функция Array Size выдаст значение 3.

7	4	2
---	---	---

Initialize Array (задать массив) - создает n-мерный массив, в котором каждый элемент инициализирован значением поля ввода данных element. Для увеличения размерности массива достаточно добавить поля ввода данных, растянув узел функции. Например, если для функции Initialize Array заданы следующие значения параметров: на поле element подается значение 4, а на поле dimension size (если оно одно) - значение 3, то на выходе получится массив, показанный ниже.

4	4	4
---	---	---

Build Array (создать массив) - объединяет несколько массивов или добавляет элемент в n-мерный массив. Изменение размера функции увеличивает количество полей ввода данных, что позволяет увеличить количество добавляемых элементов. Например, если объединить два предыдущих массива, то функция Build Array выдаст на выходе следующий массив.

7	4	2
4	4	4

Для объединения входных данных в более длинный массив той же размерности, как показано ниже, достаточно щелкнуть правой кнопкой мыши на функции и выбрать из контекстного меню пункт Concatenate Inputs (объединение входных данных).

7	4	2	4	4	4
---	---	---	---	---	---

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

Array Subset (подмножество массива) - выдает часть массива, начиная с индекса, поступившего на поле index, и длиной, указанной в поле length (длина). Например, если подать предыдущий массив на поле ввода функции Array Subset, значение 2 - на поле index и 3 - на поле Подмножество, то

2	4	4
---	---	---

Index Array (индекс массива) - выдает элемент, соответствующий индексу, значение которого подается на поле ввода index. Например, при использовании предыдущего массива, функция Index Array выдает значение 2, если на поле ввода данных index подать значение 0. Функцию Index Array можно использовать для выделения строки или столбца из двумерного массива и дальнейшего отображения в виде полмассива. Для этого двумерный массив надо подать в поле ввода данных функции. Функция Index Array должна иметь два поля index. Верхнее поле index указывает строку, а нижнее - столбец. Можно задействовать оба поля index для выбора отдельного элемента или только одно, для выбора строки или столбца. Например, в поле ввода данных функции подается массив, показанный ниже.

7	4	2
4	4	4

Функция Index Array в поле вывода данных выдает следующий массив в случае, если на поле index (строка) подается значение 0.

7	4	2
---	---	---

Задание 5.1. ВП Работа с массивами

Выполните следующие шаги для создания ВП, который формирует массив случайных чисел, масштабирует полученный массив и выделяет из него подмножество.

Лицевая панель

- Откройте новый ВП и создайте лицевую панель, как показано ниже:
  - в палитре Controls » Array & Cluster выберите шаблон массива;
  - созданному массиву присвойте имя Массив случайных чисел;
  - поместите внутрь шаблона массива цифровой элемент отображения, расположенный в палитре Controls » Numeric;
  - с помощью инструмента ПЕРЕМЕЩЕНИЕ измените размер массива таким образом, чтобы он содержал 10 элементов;
  - нажмите и удерживайте клавишу <Ctrl> и, перемещая элемент Массив случайных чисел, создайте две его копии;

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

е) копиям присвойте имена Конечный Массив и Подмножество Массива;

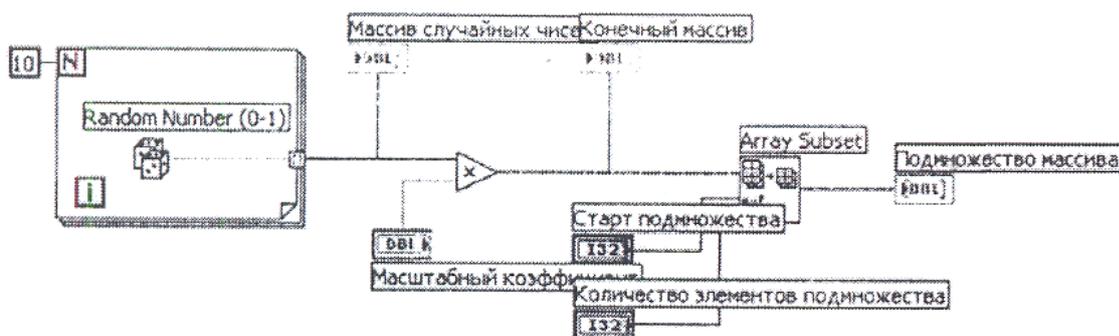
ж) создайте три цифровых элемента управления и присвойте им имена Масштабный коэффициент, Старт подмножества;

з) щелкните правой кнопкой мыши по элементам Старт подмножества и Количество элементов подмножества, в контекстном меню выберите пункт Representation, затем пункт 132;

е) значения элементов управления данными пока не изменяйте.

**БЛОК-ДИАГРАММА**

2. Постройте блок-диаграмму, как показано ниже.



Выберите функцию Random Number (0 - 1), расположенную в палитре Functions » Numeric. Эта функция будет генерировать случайное число в пределах от 0 до 1.

Выберите цикл For, расположенный в палитре Functions » Structures. Этот цикл на терминале выхода накапливает массив из 10 случайных чисел. Терминалу количества итераций присвойте значение 10.

Выберите функцию Array Subset, расположенную в палитре Functions » Array. Эта функция выдает подмножество массива, начиная со значения, введенного в элементе Старт подмножества, и будет содержать количество элементов, указанное в элементе Количество элементов подмножества.

3. Сохраните ВП под именем Работа с массивами.

**ЗАПУСК ВП**

4. Перейдите на лицевую панель, измените значения элементов управления и запустите ВП.

Цикл For совершит 10 итераций. Каждая итерация создаст случайное число и сохранит его в терминале выхода из цикла. В элементе Массив случайных чисел отобразится массив из 10 случайных чисел. ВП умножит каждое значение этого массива на число, введенное в элемент управления Масштабный коэффициент, для создания массива,

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

отображаемого в индикаторе Конечный массив. ВП выделит подмножество из получившегося массива, начиная со значения в элементе Старт подмножества длиной, указанной в элементе Количество элементов подмножества, и отобразит это подмножество в индикаторе Подмножество массива.

5. Закройте ВП.

Задание 5.2

№ варианта	Содержание задания
1	Создайте ВП, который полностью изменяет порядок элементов в массиве, содержащем 10 случайных чисел. Например, элемент массива с индексом 0 становится элементом массива с индексом 9, а элемент массива с индексом 1 становится элементом массива с индексом 8, и так далее. Для изменения порядка данных в массиве следует использовать функцию Reverse ID Array, расположенную на палитре Functions » Array
2	Создайте ВП, который генерирует двумерный массив случайных чисел, содержащий 3 строки и 10 столбцов
3	Создайте ВП, который генерирует одномерный массив, содержащий 80 случайных чисел, и выдает часть массива, начиная с индекса 15 до индекса 60. На лицевую панель вывести массив случайных чисел и полученный массив
4	Создайте ВП, который генерирует одномерный массив случайных чисел до тех пор, пока не нажата кнопка на лицевой панели. На лицевую панель вывести полученный массив и его размерность

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

№ варианта	Содержание задания
5	Создайте ВП, который генерирует одномерный массив и затем попарно перемножает элементы, начиная с элементов с индексами 0 и 1 и т.д., а затем выводит результаты в массив элементов отображения данных. Например, входной массив имеет значение {1, 23, 10, 5, 7, 11}, а в результате получается массив {23, 50, 77}. Используйте функцию Decimate 1D Array, расположенную в палитре Functions » Array
6	Создайте ВП, который генерирует одномерный массив случайных чисел и сортирует полученный массив в порядке возрастания. На лицевую панель вывести массив случайных чисел и отсортированный массив. Для сортировки элементов в массиве следует использовать функцию Sort 1D Array, расположенную на палитре Functions » Array
7	Создайте ВП, который генерирует одномерный массив случайных чисел и выводит максимальное значение полученного массива и его порядковый номер. Использовать функцию Array Max & Min, расположенную на палитре Functions » Array
8	Создайте ВП, который генерирует одномерный массив случайных чисел и выводит минимальное значение полученного массива и его порядковый номер. Использовать функцию Array Max & Min, расположенную на палитре Functions » Array
9	Создайте ВП, который генерирует двумерный массив случайных чисел, содержащий 4 строки и 5 столбцов
10	Создайте ВП, который генерирует два одномерных массива случайных чисел и объединяет эти массивы в двумерный массив чисел. На лицевую панель вывести два исходных массива случайных чисел и двумерный массив, состоящий из элементов исходных массивов
11	Создайте ВП, который генерирует двумерный массив случайных чисел размерностью 5 x 6 и выдает часть этого массива размерностью 4x5. На лицевую панель вывести исходный массив случайных чисел и полученный массив
12	Создайте ВП, который генерирует двумерный массив случайных чисел и осуществляет транспонирование полученного массива. На лицевую панель вывести массив случайных чисел и транспонированный массив. Для транспонирования массива используйте функцию Transpose 2D Array, расположенную на палитре Functions » Array

*Контрольные вопросы*

1. Из каких основных компонентов состоит Ваш ВП?
2. Какие типовые приемы создания массива констант Вы знаете?
3. Какие функции работы с массивами Вы знаете?
4. Что такое полиморфные функции?
5. Какие приемы работы с массивами доступны для лицевой панели?
6. Какие палитры доступны для блок-диаграммы?
7. Что Вы знаете о цикле For?
8. Как создаются многомерные массивы?
9. Каково назначение элемента Старт подмножества в подпрограмме ВП?
10. Как выбирается количество элементов подмножества в подпрограмме ВП?
11. Какая функция генерирует случайное число в пределах от 0 до 1 ?
12. Какие функции создания массивов Вы знаете?

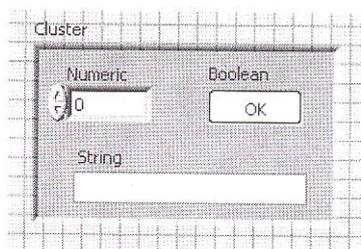
**4. Создание кластеров из элементов управления и отображения данных. Работа с кластерами.**

Как и массив, кластер является структурой, группирующей данные. Однако в отличие от массива кластер может группировать данные различных типов (логические, числовые и т.д.). Объединение нескольких групп данных в кластер устраняет беспорядок на блок-диаграмме и уменьшает количество полей ввода/вывода данных, необходимых подпрограмме ВП. Максимально возможное количество полей ввода/вывода данных ВП равно 28. Если лицевая панель содержит более 28 элементов, которые необходимо использовать в ВП, можно некоторые из них объединить в кластер и связать кластер с полем ввода/вывода данных. Как и массив, кластер может быть элементом управления или отображения данных, однако кластер не может одновременно содержать элементы управления и отображения данных.

Создание кластеров из элементов управления и отображения данных. Для создания кластеров из элементов управления и отображения данных следует выбрать шаблон кластера на палитре Controls » Array & Cluster и поместить его на лицевую панель. После этого шаблон кластера следует заполнить элементами. Изменить размер кластера можно с помощью курсора.

Ниже показан кластер, содержащий три элемента управления.

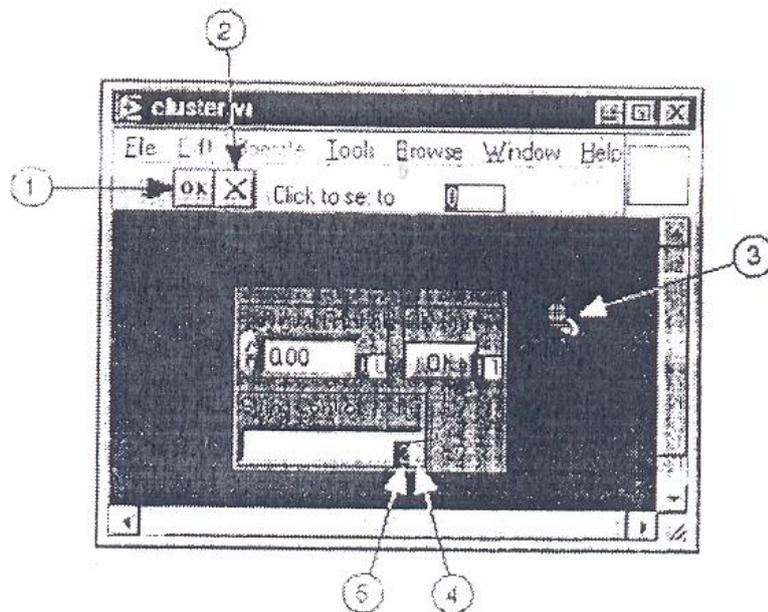
Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений



Порядок элементов в кластере. Каждый элемент кластера имеет свой логический порядковый номер, не связанный с положением элемента в шаблоне. Первому помещенному в кластер элементу автоматически присваивается номер 0, второму элементу - 1 и так далее. При удалении элемента порядковые номера автоматически изменяются.

Порядок элементов в кластере определяет то, как элементы кластера будут распределены по терминалам функций Bundle (объединения) и Unbundle (разделения) на блок-диаграмме.

Посмотреть и изменить порядковый номер объекта, помещенного в кластер, можно, щелкнув правой кнопкой мыши по краю кластера и выбрав из контекстного меню пункт Reorder Controls In Cluster. Панель инструментов и кластер примут вид, показанный ниже на рисунке.



В белом поле (4) указан текущий порядковый номер элемента, в черном (5) - новый порядковый номер. Для установки порядкового номера элемента нужно в поле ввода текста Click to set to ввести число и нажать на элемент. Порядковый номер элемента изменится. При этом корректируются порядковые номера других элементов. Сохранить изменения можно, нажав кнопку ОК (подтвердить) на панели инструментов.

Создание кластера констант. На блок-диаграмме можно создать кластер констант, выбрав в палитре Functions » Cluster шаблон Cluster

Constant и поместив в него числовую константу или другой объект данных, логический или строковый.

Функции работы с кластерами. Для создания и управления кластерами используются функции, расположенные на палитре Functions » Cluster. Функции Bundle (Связать) и Bundle by Name (Связать по названию) используются для сборки и управления кластерами. Функции Unbundle (Разделить) и Unbundle by Name (Разделить по названию) используются для разборки кластеров.

Эти функции также можно вызвать, щелкнув правой кнопкой мыши по терминалу данных кластера и выбрав из контекстного меню подменю Cluster Tools (Инструменты кластеров). Функции Bundle и Unbundle автоматически содержат правильное количество полей ввода/вывода данных. Функции Bundle by Name и Unbundle by Name в полях ввода/вывода данных содержат имя первого элемента кластера.

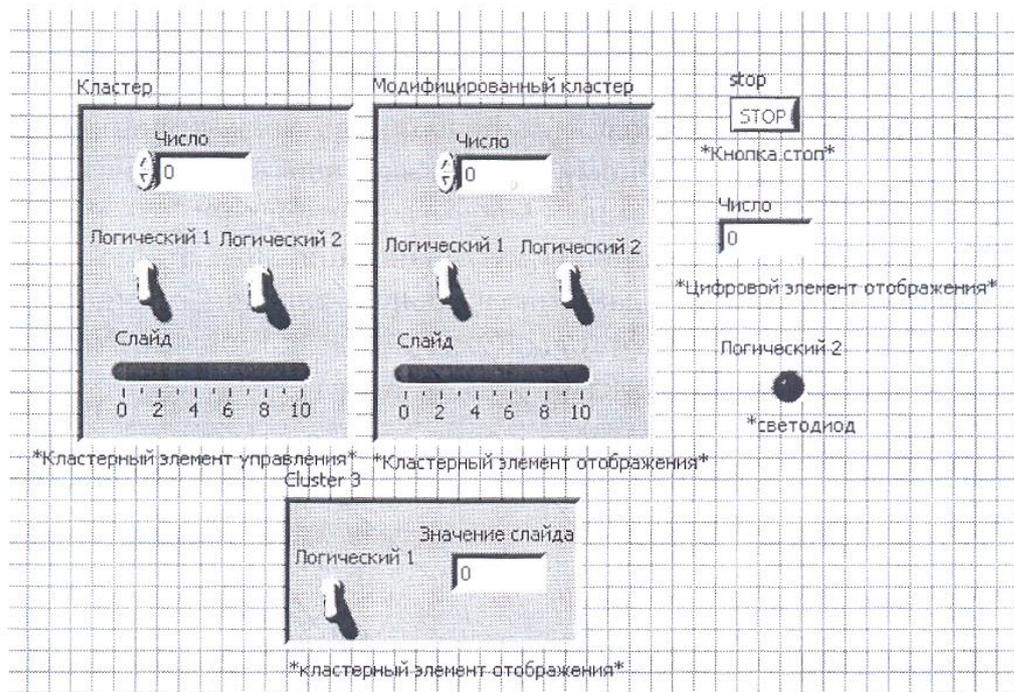
Иногда удобно поменять массивы на кластеры и наоборот, поскольку LabVIEW включает в себя намного больше функций, работающих с массивами, чем с кластерами. Для преобразования кластера в массив служит функция Кластер в массив (Cluster to Array). Обратная операция осуществляется с помощью функции Массив в кластер (Array to Cluster). Функция Кластер в массив конвертирует кластер с количеством элементов N одного типа данных в массив с количеством элементов N того же типа данных. Индекс массива соответствует порядковому номеру в кластере (т.е. нулевой элемент кластера становится значением массива с индексом 0). Следует обратить внимание, что при использовании этой функции все элементы в кластере должны быть одного типа.

Функция Массив в кластер преобразует одномерный массив с числом элементов /U в кластер с числом элементов N того же типа данных. Для включения этой функции необходимо щелкнуть правой кнопкой мыши по терминалу Массив в Кластер и выбрать опцию Размер кластера (Cluster Size) для установления размера выходного кластера, поскольку кластеры, в отличие от массивов, не устанавливают свой размер автоматически. Размер кластера по умолчанию равен 9. Если массив имеет меньшее количество элементов, чем это определено размером кластера, LabVIEW автоматически создаст дополнительные элементы кластера со значениями по умолчанию для типа данных кластера. Однако, если количество элементов входного массива больше величины, установленной в окне размера кластера, то проводник блок-диаграммы, идущий к выходному кластеру, будет разорванным, пока не будет отрегулирован его размер.

Задание 6.1. ВП Работа с кластерами Лицевая панель

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

1. Откройте новый ВП и создайте лицевую панель, как показано ниже:



а) поместите на лицевую панель кнопку «Стоп» и круглый светодиод;  
б) из палитры Controls » Array & Cluster выберите шаблон кластера;  
в) объекты лицевой панели, показанные на иллюстрации, поместите в шаблон кластера;

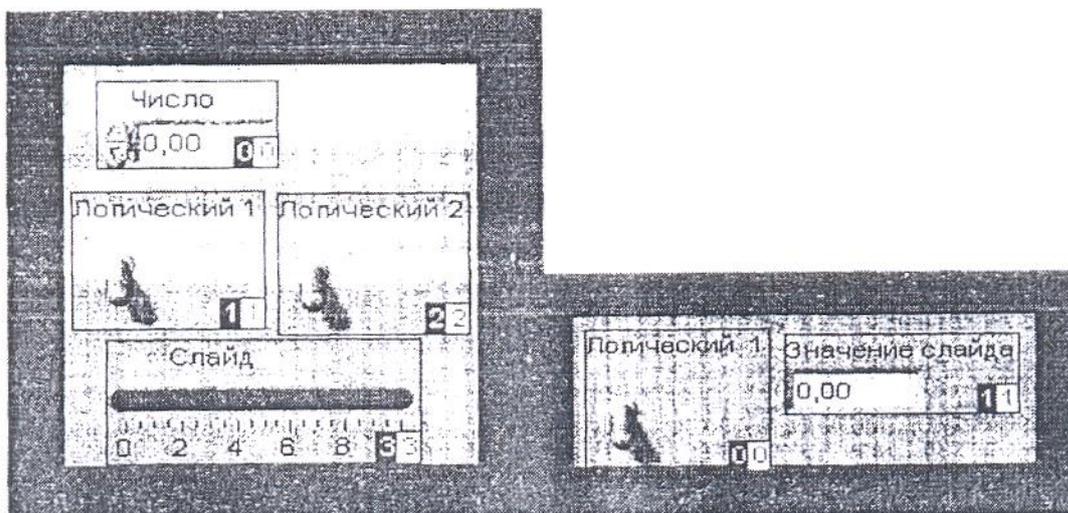
г) создайте и переименуйте копию элемента Кластер в Модифицированный Кластер. После этого щелкните правой кнопкой мыши по границе шаблона кластера Модифицированный Кластер и выберите из контекстного меню пункт Change to Indicator;

д) повторите пункт г для создания элемента Маленький кластер. Измените его, как показано на рисунке.

2. Проверьте порядковые номера элементов в кластерах Кластер и Маленький кластер. Порядковые номера элементов кластеров Модифицированный кластер и Кластер должны совпадать:

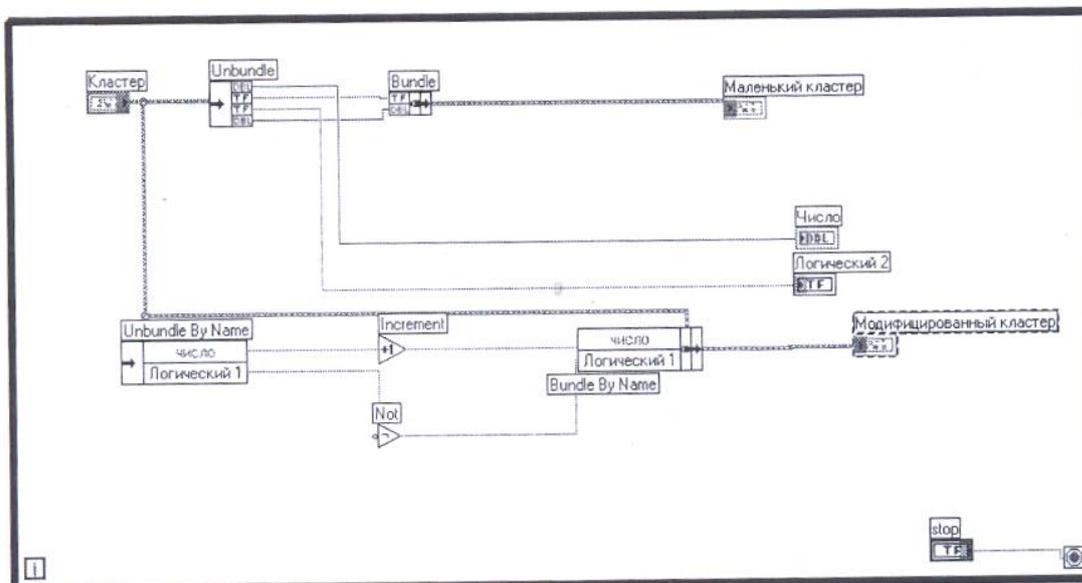
а) щелкните правой кнопкой мыши по границе шаблона каждого кластера, из контекстного меню выберите пункт Reorder Controls in Cluster;

б) порядковые номера элементов установите, как показано ниже на рисунке.



Блок-диаграмма

3. Создайте блок-диаграмму, как показано ниже.



Из палитры Functions » Cluster выберите функцию Unbundle. Эта функция разъединяет кластер Кластер. Измените размер этой функции до четырех полей ввода данных или соедините терминал данных кластера с функцией для автоматического добавления полей ввода данных.

Из палитры Functions » Cluster выберите функцию Bundle. Эта функция объединит элементы в кластер Маленький кластер.

Из палитры Functions » Cluster выберите функцию Unbundle by Name. Эта функция выделит два элемента из кластера Кластер. Измените размер функции до двух полей вывода данных. Если имена в полях вывода данных отличаются от показанных на иллюстрации, следует щелкнуть правой кнопкой мыши по имени элемента и в контекстном меню войти в раздел Select Item.

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

Из палитры Functions » Numeric выберите функцию Increment. Эта функция добавит 1 к значению элемента Число.

Из палитры Functions » Boolean выберите функцию Not. Эта функция выдаст логическое отрицание элемента Логический I.

Из палитры Functions » Cluster выберите функцию Bundle by Name. Эта функция изменит значения элементов Число и Логический в кластере Кластер и создаст кластер Модифицированный кластер. Измените размер этой функции на два поля ввода данных. Если имена в полях вывода данных отличаются от показанных на иллюстрации, следует щелкнуть правой кнопкой мыши по имени элемента и в контекстном меню войти в раздел Select Item.

4. Сохраните ВП под именем Работа с кластерами, vi.

5. Перейдите на лицевую панель и запустите ВП.

6. Поменяйте значения элементов в кластере Кластер и запустите ВП.

7. Закройте ВП.

*Контрольные вопросы*

1. Из каких основных компонентов состоит Ваш ВП?
2. Что понимается под термином Кластер?
3. Какие типовые приемы создания кластеров Вы знаете?
4. Какие функции отображения кластеров Вы знаете?
5. Как создать кластер на лицевой панели?
6. Как собираются и демонтируются кластеры?
7. Какие функции обработки кластеров Вы знаете?
8. Что такое полиморфизм в кластерах?
9. Как создать модифицированный кластер?
10. Каково основное отличие кластера от массива?
11. Каков порядок размещения элементов в кластере?
12. Как посмотреть и изменить порядковый номер объекта, помещенного в кластер?
13. Как изменить количество полей ввода вывода в кластере?
14. Как устанавливают размер кластера?
15. Каков размер кластера по умолчанию?
16. Как создать и переименовать копию элемента Кластер?

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Использование виртуальных инструментов Lab VIEW / Под ред. К.С. Демирчяна и В.Г. Миронова. М: Солон-Р; Радио и связь, Горячая линия - Телеком, 1999. 268 с. (Электронная копия).

2. Учебный курс LabVIEW Express. Базовый курс 1. М.: National Instruments Corporation, 2003. 354 с. (Электронная копия [ni.com](http://ni.com); [WWW.labview.ru](http://WWW.labview.ru)).

3. Комментарии к LabVIEW 7.0. National Instruments Corporation (Электронный вариант кафедрального перевода с установочного диска).

4. Руководство пользователя LabVIEW 7.0. National Instruments Corporation. (Электронный вариант кафедрального перевода с установочного диска).

## ЛЕКЦИЯ ТЕМА №3.8 «КОМПЬЮТЕРНАЯ АВТОМАТИЗАЦИЯ ИСПЫТАТЕЛЬНЫХ СТЕНДОВ»

### ВОПРОСЫ

1. Нормативная база разработки испытательного оборудования.
2. Архитектура системы:
  - Состав системы;
  - Архитектура системы с одним устройством ввода-вывода;
  - Архитектура распределенной испытательной системы;
  - Сетевая архитектура автоматизированной системы;
  - Модульная распределенная измерительная система RealLab;
  - Структура модулей серии NL;
  - Погрешности измерений;
  - Схемы включения модулей.
3. Промышленная сеть на основе интерфейса RS-485:
  - OPC сервер;
  - Интерфейс к MatLab, Labview, MS Excel.
4. Пример стенда для приемо-сдаточных испытаний.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Денисенко В. и др. Испытания электронной аппаратуры: быстро и эффективно. [info@RLDA.ru](mailto:info@RLDA.ru).

### **1. Нормативная база разработки испытательного оборудования**

Ответственность за результаты испытаний, проводимых в процессе разработки аппаратуры и исследования новых принципов ее построения, принимает на себя сам разработчик. При процессе же производства продукции, подлежащей обязательной сертификации, достоверность

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

приемо-сдаточных испытаний должно гарантировать государство с целью защиты потребителей от поставки на рынок продукции, не удовлетворяющей обязательным требованиям стандартов. Поэтому методика приемо-сдаточных испытаний и использованная для испытаний аппаратура должны быть аттестованы комиссией, в состав которой должны входить представители органов государственной метрологической службы. Под аттестацией испытательного оборудования понимается определение нормированных точностных характеристик и их соответствия требованиям нормативных документов, а также установление пригодности этого оборудования к эксплуатации.

Аттестация испытательного оборудования выполняется по ГОСТ Р 8.568-97 [1], согласно которому для аттестации испытательного оборудования, используемого при обязательной сертификации продукции, при испытаниях продукции на соответствие обязательным требованиям государственных стандартов и при производстве продукции, поставляемой по контрактам для государственных нужд, должны применяться средства измерений утвержденных типов в соответствии с правилами ПР 50.2.009 [2]. Эти средства должны пройти первичную поверку и подлежать периодической поверке в процессе эксплуатации, а методики выполнения поверки должны быть аттестованы по ГОСТ Р 8.563.

Для средств измерений, используемых в сферах, на которые не распространяется действие государственного метрологического контроля и надзора [3], поверка может быть заменена калибровкой. Между поверкой и калибровкой имеются принципиальные отличия. Поверка средств измерений - это совокупность операций, выполняемых органами государственной метрологической службы (или другими аккредитованными на это органами) с целью определения и подтверждения соответствия средства измерения установленным техническими требованиям и выполняемая для средств измерений, используемых в сферах, на которые распространяется действие государственного метрологического контроля и надзора. Поверка выполняется физическим лицом, аттестованным в качестве поверителя органом Государственной метрологической службы. Калибровка же выполняется для приборов, которые используются в сферах, на которые не распространяется действие государственного метрологического контроля и надзора и может выполняться метрологическими службами юридических лиц, не имеющими аккредитации на выполнение поверки.

Аттестация испытательного стенда выполняется при его вводе в эксплуатацию (первичная аттестация) и в процессе эксплуатации (периодическая аттестация). Для аттестации подготавливаются эксплуатационные документы по ГОСТ 2.601, программа и методика

первичной и периодической аттестации. В процессе первичной аттестации устанавливают: возможность воспроизведения внешних воздействующих факторов или режимов функционирования объекта испытаний, отклонения условий испытаний от нормированных значений, обеспеченность безопасности персонала и отсутствие вредного воздействия на окружающую среду, а также перечень характеристик испытательного оборудования, которые проверяют при его периодической аттестации. При проектировании и разработке испытательных стендов, которые являются измерительными системами, следует использовать рекомендации Госкомитета РФ по стандартизации, метрологии и сертификации: при разработке метрологического обеспечения - МИ 2438-97 [3], при регламентации метрологических характеристик - МИ 2439-97 [4], при контроле характеристик погрешности измерительных каналов - МИ 2440-97 [5], при испытаниях с целью утверждения типа - МИ 2441-97 [6].

## 2. Архитектура системы

Архитектура электронной части предлагаемой системы представлена на Рис. 2.1 - Рис. 2.4. Система состоит из компьютера, набора необходимых датчиков, измерительных преобразователей, устройств аналого-цифрового преобразования и ввода сигналов в компьютер, устройств вывода и исполнительных устройств. В простейшем случае используется один компьютер и один блок ввода-вывода. Однако множество устройств ввода-вывода могут быть объединены в промышленную сеть на основе интерфейса RS-485 или подключены к различным портам компьютера, а компьютеры, входящие в состав системы, могут быть подключены к сети Ethernet (Рис. 2.2 - Рис. 2.4), что позволяет наблюдать процесс испытаний или управлять им с любого компьютера сети, пользуясь технологией DCOM фирмы Microsoft, воплощенной в OPC сервер [7,8].

### ***2.1. Состав системы***

Существует огромное разнообразие датчиков (температуры, влажности, давления, потока, скорости, ускорения, вибрации, веса, натяжения, частоты, момента, освещенности, шума, объема, количества теплоты, тока, уровня и др.). Датчики преобразуют измеряемую физическую величину (температуру, давление и т.п.) в сигнал, удобный для дальнейшей обработки. Если величина этого сигнала не согласуется

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

с входом аналого-цифрового преобразователя (например, если входной величиной АЦП является напряжение в диапазоне  $0...±Ю$  В, а датчик (термопара) имеет выходное напряжение в диапазоне от 0 до 100 мВ и нелинейную зависимость от температуры), то используют измерительный преобразователь, который обеспечивает нормализацию сигнала датчика, например, усиление и линеаризацию. Измерительные преобразователи должны иметь нормированные метрологические характеристики (например, коэффициент усиления преобразователя и его погрешность должны быть известны). Примером измерительного преобразователя может служить преобразователь RL-4RVC фирмы RLDA, который используется для преобразования величины сопротивления резистивного датчика температуры в напряжение в диапазоне  $±10$  В [7].

Измерительные преобразователи могут иметь встроенный аналого-цифровой или цифро-аналоговый преобразователь, а также микропроцессор с памятью для линеаризации характеристик датчика и компенсации погрешностей аналоговой части системы. В последнее время получили распространение датчики, объединяющие в себе первичный преобразователь физической величины в электрический сигнал и измерительный преобразователь. Примером могут быть датчики температуры DS18D20 фирмы Dallas, у которых выходной сигнал является цифровым и может быть введен в компьютер без использования промежуточных преобразователей.

Для преобразования входной аналоговой величины в цифровой код перед вводом его в компьютер в общем случае служат модули аналогового ввода (Рис. 2.1). Модули ввода могут быть общего применения, обычно для ввода сигналов напряжения в диапазоне  $±10$  В, и совмещенные с измерительными преобразователями (например, модуль NL-8TI позволяет подключать к нему непосредственно термопары, а модуль NL-4RTD - резистивные датчики температуры [7]).

Кроме модулей аналогового ввода распространены модули дискретного ввода, которые не содержат АЦП и позволяют вводить сигналы, имеющие два уровня (например, сигналы от концевых выключателей, датчиков уровня, датчиков движения и т.п.). Входные напряжения модулей дискретного ввода могут изменяться в диапазоне, как правило,  $0...40$  В (например, модуль NL-16DI [7]), или в  $0..220$  В (модуль NL-16HV [7]). Модули с входом 220 В используют, например, для регистрации наличия напряжения на клеммах электродвигателя или нагревательного прибора.

Отдельное место занимают устройства счетного ввода (например, NL-2C [7]), которые имеют дискретный вход, но позволяют считать количество импульсов, поступающих на их вход, или частоту следования

импульсов. Их используют, например, для измерения скорости вращения вала электродвигателя или подсчета количества продукции на конвейере.

Компьютер является «мозгом» автоматизированной системы. Он принимает сигналы датчиков, исполняет записанную в него программу и выдает необходимые данные в устройство вывода. Коммуникации между компьютером и устройствами ввода-вывода выполняются обычно через последовательные интерфейсы USB, RS-232, RS-485, RS-422, Ethernet или параллельный интерфейс LPT. Иногда устройства АЦП-ЦАП выполняют в виде плат, которые вставляют непосредственно в компьютер, в разъемы шины PCI или ISA. Достоинством плат является возможность получения ввода-вывода с высокой пропускной способностью (свыше 10 Мбит/с), что трудно достижимо при использовании внешних устройств. Недостатком является более высокий уровень электромагнитных наводок от компьютера и конструктивные ограничения на количество каналов ввода-вывода.

Внешние устройства обычно подключают к компьютеру через изолирующие преобразователи интерфейсов, которые защищают порты компьютера от высокого напряжения, которое может появиться в случае аварии или при небрежном обращении с оборудованием. Примером изолирующего преобразователя для порта RS-232 может быть оптический изолятор 01-232-1000 [7] с напряжением изоляции 1000 В.

Устройства вывода позволяют выводить аналоговый, дискретный или частотный сигнал. Наиболее распространенными выходными сигналами являются дискретные, которые используются, например, для включения электродвигателей с помощью реле-пускателей, включения нагрева печи, управления клапанами, насосами и другими исполнительными устройствами. Частотный сигнал обычно используется с широтно-импульсной модуляцией, которая позволяет задавать среднюю мощность нагревательных устройств, имеющих большую инерционность.

### **2.2.1. Архитектура системы с одним устройством ввода-вывода**

Изображенная на Рис. 2.1 система является простейшим вариантом автоматизированной испытательной системы, построенной на основе одного компьютера, с одним портом ввода-вывода.

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

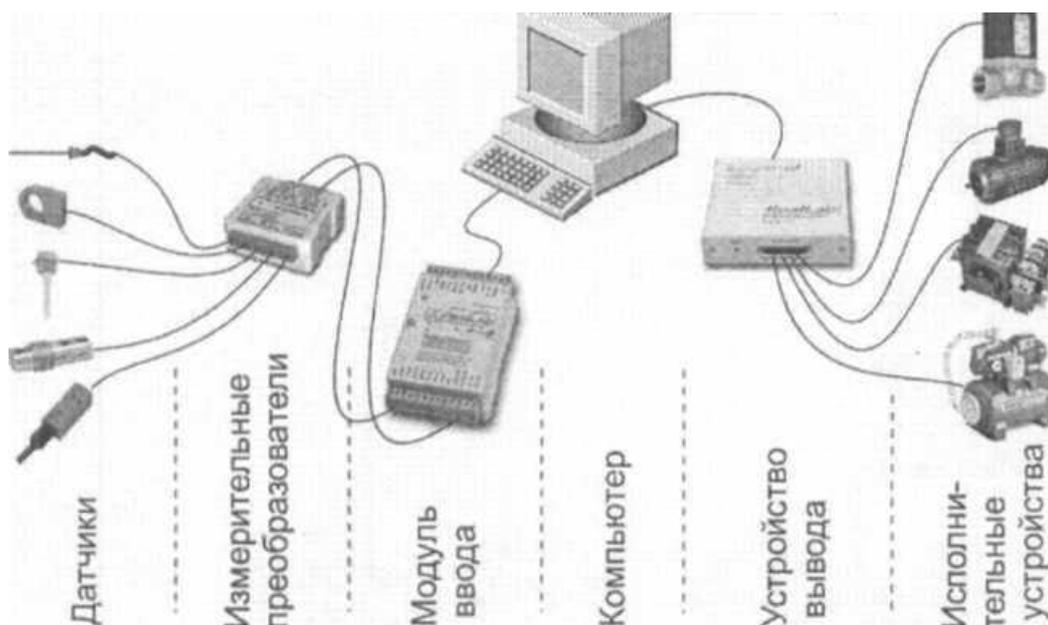


Рис. 2.1. Простейший вариант автоматизированной системы с одним компьютером и одним устройством ввода вывода

На Рис. 2.1 датчики подсоединены к одному многоканальному измерительному преобразователю. Однако различные типы датчиков могут требовать различных типов преобразователей или работать вообще без них. Системы мониторинга (наблюдения) за физическими процессами не содержат исполнительных устройств, но могут использовать электромагнитные или полупроводниковые реле для коммутации измерительных цепей и приборов.

Обычный офисный компьютер в стандартной конфигурации имеет два порта USB, два COM-порта (COM1 и COM2), один принтерный порт LPT и порт Ethernet, который появляется после установки в компьютер Ethernet-платы. Промышленные компьютеры, кроме этого, обычно имеют порты RS-485, RS-422 и оптоволоконный порт. Все эти порты можно использовать для ввода и вывода сигналов в устройства автоматизированной системы

(Рис. 2.1). Для использования оптоволоконного канала передачи к офисному компьютеру можно подключить оптоволоконный преобразователь интерфейса (например, SN-OFC-ST-62.5/125 [7]).

Если к компьютеру необходимо подключить еще одно устройство, а свободных портов не осталось, то можно использовать разветвители интерфейсов. Распространены разветвители интерфейсов USB (USB хабы) и RS-232 [7]. Устройство, имеющее интерфейс RS-232, можно подключить к USB порту компьютера, если использовать преобразователь USB в RS-232.

К компьютеру могут быть подключены не только специальные модули ввода-вывода, но и многие измерительные приборы широкого применения. Например, вольтметр HP 34401A имеет интерфейс RS-232 и может быть подключен к компьютеру как часть автоматизированной системы измерения.

### 2.2.2. Архитектура распределенной испытательной системы

При увеличении количества датчиков в системе, показанной на Рис. 2.1, растет число проводов, соединяющих датчики с устройством ввода.

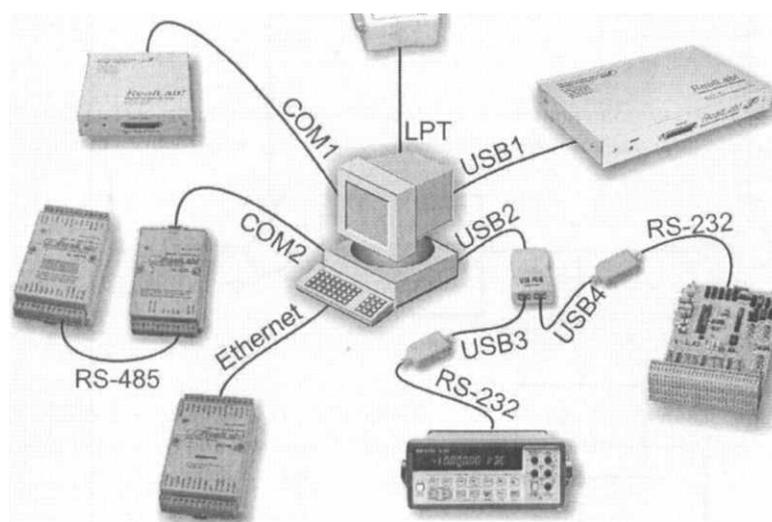


Рис. 2.2. Для подключения устройства ввода вывода могут быть использованы все порты компьютера

В реальных системах число датчиков может достигать нескольких тысяч. Это приводит не только к росту стоимости кабельного оборудования, но и к проблемам, связанным с электромагнитными наводками на длинные провода с аналоговыми сигналами, когда датчики расположены на большом расстоянии от устройства ввода. Решить проблему позволяют распределенные системы ввода-вывода. Суть их заключается в том, что модули системы изготавливаются с небольшим количеством входов (обычно до 8-16), сами модули располагаются вблизи места установки датчиков, а увеличение общего количества датчиков (входов) или исполнительных устройств (выходов) достигается путем объединения модулей в промышленную сеть на основе двухпроводного интерфейса RS-485 (Рис. 2.3). Для подключения промышленной сети к компьютеру используют преобразователь между интерфейсами RS-232 и RS-485 (например, NL-232C [7]). Такие системы называются

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

распределенными (имеется в виду, что они распределены в пространстве) в отличие от сосредоточенных (т.е. расположенных в одном общем корпусе). Например, если в испытательный стенд входит камера тепла, камера холода и вибростенд, то удобно использовать три устройства ввода, одно из которых расположено возле камеры тепла, второе - возле камеры холода и третье - возле вибростенда; при этом все три устройства соединяются с компьютером всего двумя общими проводами, через интерфейс RS-485.

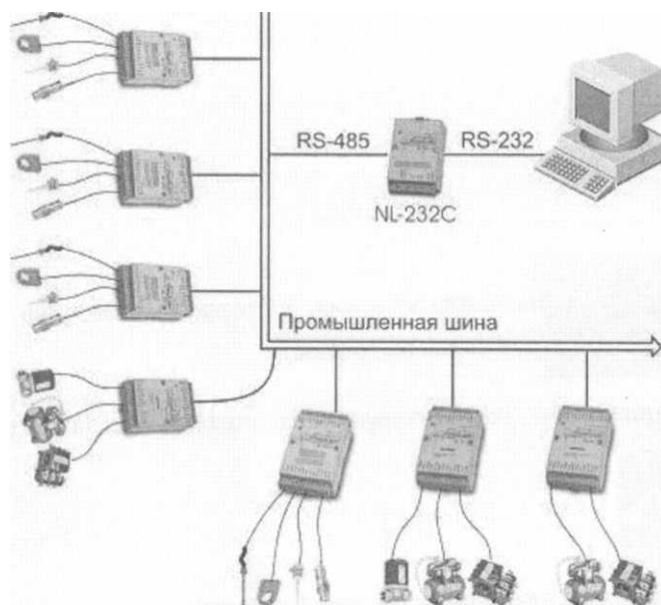


Рис. 2.3. Структура распределенной системы сбора

Распределенные системы имеют следующие преимущества по сравнению с сосредоточенными:

- уменьшают длину проводов, по которым передаются аналоговые сигналы и общую длину проводов в системе, упрощают монтаж системы и улучшают ремонтпригодность;
- снижают цену и требования к качеству кабелей, поскольку вместо аналоговых сигналов передаются цифровые;
- имеют повышенную помехоустойчивость;

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

- имеют повышенную надежность и живучесть;
- стоимость работ по установке, тестированию, вводу в эксплуатацию и сопровождению распределенной системы гораздо ниже, чем сосредоточенной;
- «распределенный интеллект» увеличивает быстродействие системы;
- упрощается наращивание (развитие) системы.

В распределенной системе каждый модуль имеет индивидуальный адрес, по которому компьютер отличает один модуль от другого. Для того, чтобы получить данные из модуля, компьютер посылает в общую шину адрес модуля и команду запроса данных. Микропроцессор, входящий в состав каждого модуля, сверяет адрес на шине с его собственным адресом, записанным в ПЗУ модуля, и если адреса совпадают, исполняет следующую за адресом команду. Команда ввода позволяет считать данные с входов модуля, команда вывода позволяет вывести на выходы модуля необходимые сигналы.

Модули системы используют передачу символьных команд в ASCII кодах (например, команда чтения данных из модуля с адресом 14 имеет вид #14). Это позволяет посылать команды в модули, используя, например, программу Hyper Terminal, входящую в стандартную поставку MS Windows и использовать любой компьютер, способный посылать в порт ввода-вывода команды в ASCII кодах. Однако для упрощения работы с модулями из-под Windows нами разработан OPC сервер (п. 4).

Некоторые модули серии NL [7], входящие в состав распределенной системы, позволяют по команде из компьютера выполнять автономные операции регулирования. Для этого в них посылают команду старта процесса ПИД или релейного регулирования и ее параметры. Например, для ПИД-регулятора такими параметрами являются значение физической величины, которую необходимо стабилизировать, а также величины пропорционального, интегрального и дифференциального коэффициентов регулятора. Наличие ПИД-регулятора в модулях распределенной системы позволяет осуществить локальное регулирование (например, поддержание стабильной температуры в камере холода), тем самым разгрузив общую шину и компьютер от выполнения низкоинтеллектуальной работы.

#### **2.2.4. Сетевая архитектура автоматизированной системы**

Устройства ввода-вывода или промышленная сеть могут быть подключены не только к одному компьютеру, но и к локальной сети Ethernet (Рис. 2.4) и глобальной сети Internet.

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

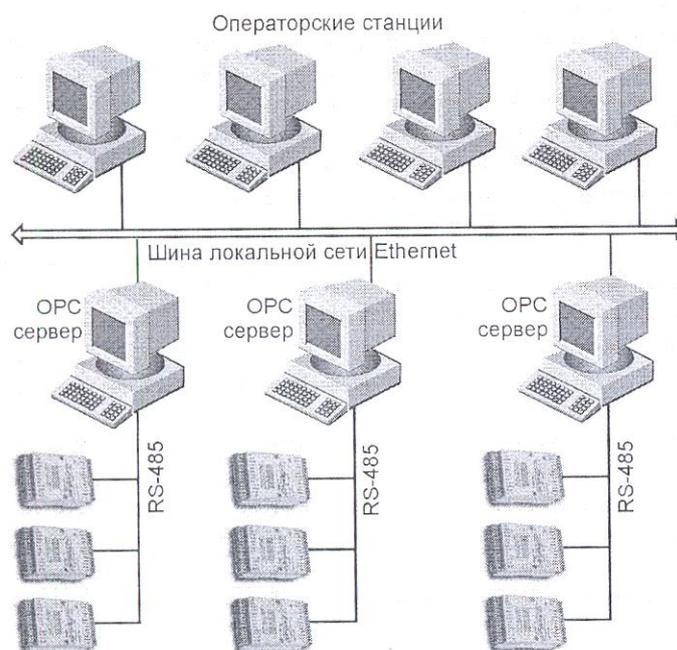


Рис. 2.4. Двухуровневая архитектура распределенной системы сбора данных и управления

Такая архитектура автоматизированной системы удобна при коллективной работе или когда одна и та же информация используется многими клиентами сети. Например, параметры продукции на конвейере могут контролироваться одновременно начальником производства, главным инженером, начальником ОТК и ее разработчиками, находящимися в разных зданиях, на разных предприятиях или в разных странах.

Доступ любого компьютера сети к устройствам ввода-вывода осуществляется программно с помощью OPC-сервера (см. п. 4, [8]). OPC серверы могут располагаться на нескольких компьютерах сети и доступ к любому OPC серверу может осуществляться с любого компьютера. Архитектура такой автоматизированной системы показана на Рис. 2.4..

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

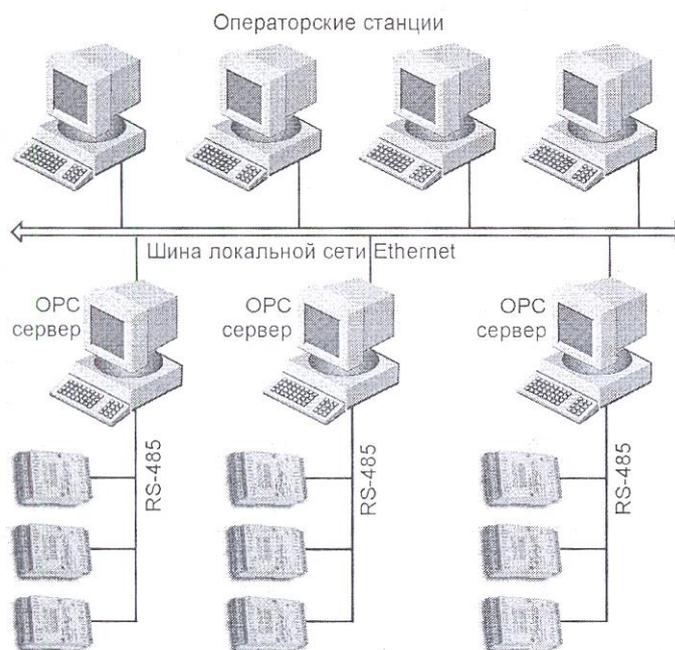


Рис. 2.4. Двухуровневая архитектура распределенной системы сбора данных и управления

### 2.3. Модульная распределенная измерительная система RealLab!

Модули RealLab! серии NL [7] являются централизованно управляемыми компонентами распределенной системы сбора данных и управления. Они обеспечивают аналого-цифровое, цифро-аналоговое преобразование информации и ввод-вывод дискретных сигналов, счет импульсов, измерение частоты, преобразование интерфейсов.

Модули не содержат механических переключателей. Все настройки модулей выполняются программно из управляющего компьютера (контроллера). Программно устанавливаются: диапазон измерения, формат данных, адрес модуля, скорость обмена, наличие бита контрольной суммы, параметры калибровки. Настраиваемые параметры запоминаются в ЭПЗУ и сохраняются при выключении питания.

Некоторые модули имеют светодиодный дисплей, что позволяет контролировать технологический параметр непосредственно в месте установки модуля, а не на управляющем компьютере.

Все модули имеют два сторожевых таймера, один из которых перезапускает модуль в случае его "зависания" или провалов напряжения питания, второй переводит выходы модуля в безопасные состояния при "зависании" управляющего компьютера.

Набор команд каждого модуля состоит из примерно 20...50 различных команд. Команды передаются в стандартных АСП кодах, что

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

позволяет программировать модули с помощью практически любого языка программирования высокого уровня.

Конструктивно модуль состоит из основания и крышки, которая прикрепляется к основанию двумя винтами, устройства для крепления на DIN-рейку и съемных клеммных колодок (Рис. 3.1).



Рис. 3.1. Внешний вид модуля ввода сигналов резистивных датчиков температуры

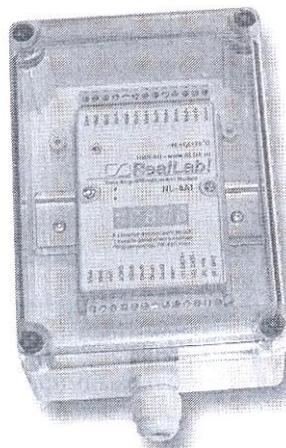


Рис. 3.2. Модуль серии NL в пылевлагозащищенном корпусе IP66

Съемные клеммные колодки позволяют выполнить быструю замену модуля без отсоединения подведенных к нему проводов. Корпус и устройство крепления к стене выполнены из ударопрочного полистирола методом литья под давлением. Внутри корпуса находится печатная плата. Монтаж платы выполнен по технологии монтажа на поверхность. При проведении испытаний на открытом воздухе в условиях тумана или дождя можно использовать дополнительный корпус со степенью защиты IP65 по ГОСТ 14254-80 (Рис. 3.2).

Модули выполнены для применения в жестких условиях эксплуатации, при температуре окружающего воздуха от  $-40$  до  $+70$  °С, имеют два уровня гальванической изоляции с испытательным напряжением изоляции 2,5 кВ (ГОСТ 12997-84): один уровень - между входами и портом RS-485, второй уровень - между выходами и портом RS-485.

Модули имеют следующие отличительные особенности:

- имеют 11 видов защиты от небрежного использования и аварийных режимов работы системы;
- большинство модулей ввода выполняют также функцию дискретного вывода, а модули дискретного вывода имеют также и дискретные входы. Это позволяет использовать модули серии NL для

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

реализации алгоритма локального релейного или ПИД регулирования;

- некоторые модули серии NL имеют дополнительный разъем для расширения их функциональных возможностей путем подключения внешних плат расширения через шину SPI;
- Модули ввода сигналов термодатчиков и резистивных термопреобразователей имеют калибровочные таблицы, взятые из ГОСТ 6651-94 и ГОСТ Р 8.585-2001, записанные в ЭПЗУ микроконтроллера, расположенного внутри каждого модуля.

Модули имеют защиту от:

1. неправильного подключения полярности источника питания;
2. превышения напряжения питания;
3. перенапряжения по входу;
4. короткого замыкания по выходу;
5. перегрузки по току нагрузки;
6. перенапряжения по выходу;
7. перегрева выходных каскадов;
8. электростатических разрядов по выходу, входу и порту RS-485;
9. выбросов напряжения при индуктивной нагрузке;
10. перегрева выходных каскадов порта RS-485;
11. короткого замыкания клемм порта RS-485.

Двойной сторожевой таймер выполняет рестарт модуля в случае его "зависания" и провалов питания, а также переводит выходы в безопасные состояния при "зависании" управляющего компьютера. Скорость обмена информацией через порт RS-485 модуля выбирается программно из ряда (бит/с): 1200, 2400, 4800, 9600, 19200, 38400, 57600, 115200.



коэффициентом усиления. Это позволяет программно изменять полосу пропускания и диапазон входных напряжений.

Цифровой сигнал с выхода АЦП поступает в микроконтроллер через изолирующий повторитель с магнитной связью. Изолированная часть модуля, содержащая АЦП, питается через развязывающий преобразователь постоянного напряжения, чем обеспечивается полная гальваническая изоляция входов от блока питания и интерфейсной части (Рис. 3.3 - Рис. 3.4).

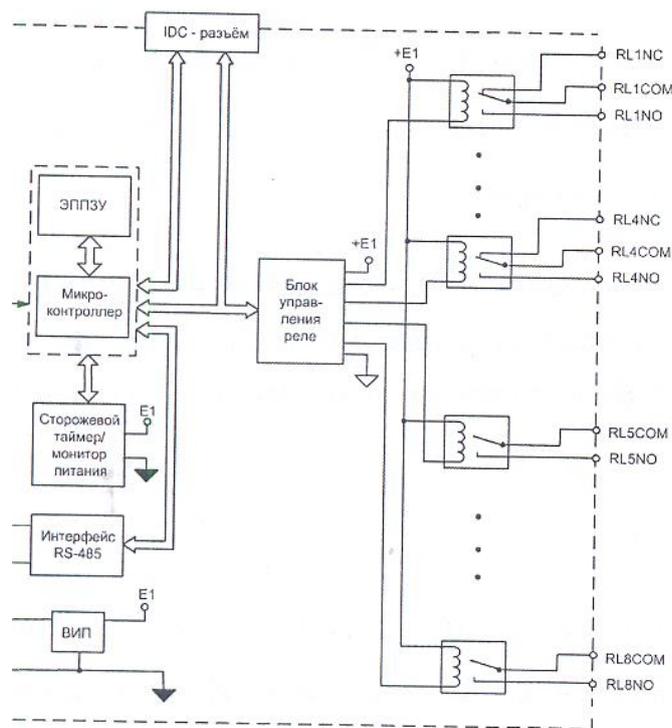
Микроконтроллер модуля выполняет следующие функции:

- исполняет команды, посылаемые из управляющего компьютера;
- компенсирует нелинейности термопар и резистивных термопреобразователей с помощью записанной в ЭПЗУ калибровочной таблицы;
- выполняет алгоритмы релейного или ПИД-регулирования;
- реализует протокол обмена через интерфейс RS-485.

Схема питания модулей содержит вторичный импульсный источник питания, позволяющий с высоким к.п.д. преобразовывать напряжение питания в диапазоне от +10 до +30 В в напряжение +5 В. Модули содержат также изолирующий преобразователь напряжения из +5В в  $\pm 15В$  для питания аналоговой части и второй изолирующий преобразователь для питания выходных каскадов модуля. Для питания АЦП используется линейный стабилизатор напряжения, преобразующий +15 В в +5 В.

Для получения дискретных выходов с высокой степенью защиты использованы интеллектуальные МОП ключи фирмы International Rectifier, имеющие защиту от перегрузки по току, от перегрева выходных каскадов, от перенапряжения и от статического электричества.

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений



3.5. Структурная схема модуля NL-8R. Обозначения:  
М - "Common" - "общий", "С" - "Closed" - нормально замкнутый, "О" - "Open" - нормально открытый

Интерфейс RS-485 выполнен на микросхемах фирмы Analog Devices, удовлетворяющих стандартам EIA для интерфейсов RS-485 и RS-422 и имеющих защиту от электростатических зарядов, от выбросов на линии связи, от короткого замыкания и от перенапряжения. Дополнительно в модуле использована позисторная защита от перенапряжения на клеммах порта RS-485. Аналогичная защита использована для входа источника питания.

Входные каскады модулей могут иметь различную электрическую схему. Каскад типа D (Рис. 3.6) предназначен для подключения источников сигнала "сухой контакт", т.е. обычных механических переключателей, например, концевых выключателей. Его особенностью является наличие внутреннего изолированного источника питания "сухих" контактов, который гальванически изолирован от источника питания модуля.

Входной буфер типа С (Рис. 3.7) предназначен для подключения источников сигнала с переменным напряжением 220 В. Буфер типа Т (Рис. 3.8) имеет входное сопротивление, которое возрастает при увеличении входного напряжения, что позволило добиться очень малого потребления тока (не более 2 мА при напряжении 40 В) от источника входного сигнала.

Входной каскад типа R (Рис. 3.9) является типовым, его особенностью является двуполярность, т.е. возможность подачи как положительных, так и отрицательных напряжений дискретных сигналов.

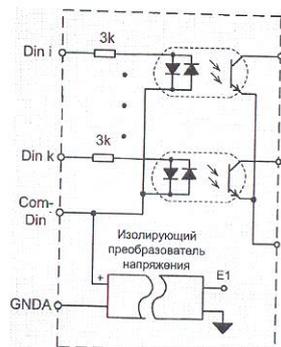


Рис. 3.6. Входной каскад типа D. Для источника сигнала типа "сухой контакт".  $I_{вх} < +1,5$  мА.

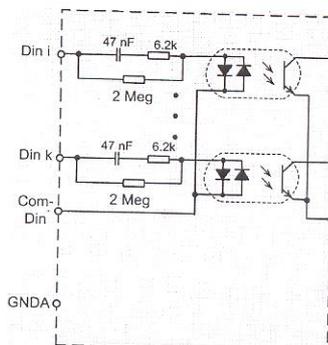


Рис. 3.7. Входной каскад типа C.  $U_{вх} < \sim 250$  В;  $I_{вх} < \sim 4$  мА.

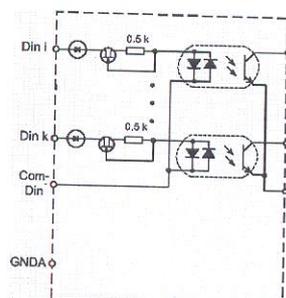


Рис. 3.8. Входной каскад типа T.  $U_{вх} = 0...+40$  В;  $I_{вх} < 2$  мА.

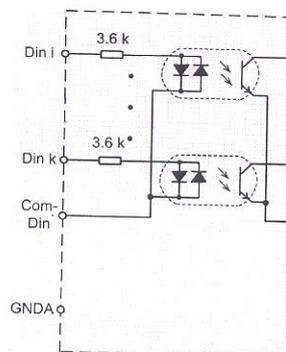


Рис. 3.9. Входной каскад типа R.  $U_{вх} = -30...+30$  В;  $I_{вх} = -10$  мА... +10 мА.

### 2.3.2. Погрешность измерений

Модули аналогового ввода непосредственно измеряют только напряжение. Измерение тока выполняется косвенным методом, т.е. по падению напряжения на измерительном резисторе (Рис. 3.10).

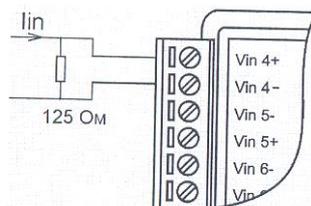


Рис. 3.10. Подключение резистора 125 Ом для измерения тока  $I_{in}$ .

Однако калибровка модуля в режиме измерения тока выполняется при подключенном измерительном резисторе. Это позволяет

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

скомпенсировать погрешность, вызванную технологическим разбросом сопротивления, и, таким образом, погрешность измерения тока становится равной погрешности измерения напряжения. Для ввода сигналов 0-20 мА или 4-20 мА используют измерительный резистор сопротивлением 125 Ом (Рис. 3.10). При этом току 0 мА будет соответствовать напряжение 0 В, току 20 мА - напряжение 2,5 В, току 4 мА - напряжение 0,5 В. Аналогично можно вводить ток любой величины, выбрав соответствующую величину измерительного резистора.

При наличии прецизионного измерительного резистора калибровку в режиме измерения тока можно не проводить. В этом случае предельная погрешность измерений будет равна сумме погрешности модуля  $\Delta V/V$  и погрешности измерительного резистора  $\Delta R/R$ :

$$\frac{\Delta I}{I} = \frac{\Delta V}{V} + \frac{\Delta R}{R}.$$

Среднеквадратическое суммирование в данном случае неприменимо, поскольку в силу особенностей технологической разбраковки резисторов разброс их сопротивлений обычно не является случайным.

Аналогично, погрешность измерения температуры с помощью модуля, калиброванного только по напряжению, является суммой погрешности термопары  $\Delta T_{TC}/T_{TC}$ , погрешности датчика температуры холодного спая  $\Delta T_{TJC}/T_{TJC}$ , погрешности модуля  $\Delta V/V$  и погрешности линеаризации характеристик термопары  $\frac{\Delta V_{Lin}}{V}$  (ГОСТ 23222-88:

$$\frac{\Delta T}{T} = \frac{\Delta T_{TC}}{T_{TC}} + \frac{\Delta T_{TJC}}{T_{TJC}} + \frac{\Delta V}{V} + \frac{\Delta V_{Lin}}{V}.$$

Выше рассмотрена основная погрешность измерения. Для учета температурной погрешности, вызванной влиянием температуры окружающей среды, следует учитывать дополнительную погрешность, величина которой пропорциональна отклонению температуры от 20 °С:

$$\frac{\Delta T}{T} = \frac{\Delta T}{T} \Big|_{t=20^{\circ}C} + \delta_{\text{аіі}} \cdot \frac{T - 20}{10},$$

где  $\delta_{\text{аіі}}$  – дополнительная погрешность.

Следует подчеркнуть, что кроме понятия точности, модуль характеризуется разрешающей способностью (16 бит). Это означает, что, даже при низкой точности датчика температуры можно наблюдать изменения температуры с дискретностью  $1/216 = 0,0015\%$ . Например, при измерении температуры платиновым датчиком 100П (Pt 100) на пределе измерений 0...100 °С можно регистрировать изменения температуры на  $0,001^{\circ}C$ . Высокая разрешающая способность

полезна, когда требуется определить тенденцию изменения температуры во времени (например, для регистрации момента начала химической реакции), для измерения разности температур (при измерении теплового потока), для обнаружения температурных колебаний (например, в инкубаторе), когда величина изменений температуры меньше погрешности измерений.

### 2.3.3. Схемы включения модулей

Подсоединение модуля к промышленной сети на основе интерфейсов RS-485 выполняется экранированной витой парой. Такой провод уменьшает наводки на кабель и повышает устойчивость системы к сбоям во время эксплуатации.

К компьютеру модуль подключается через преобразователь интерфейса RS-232 в RS-485 (Рис. 3.11).

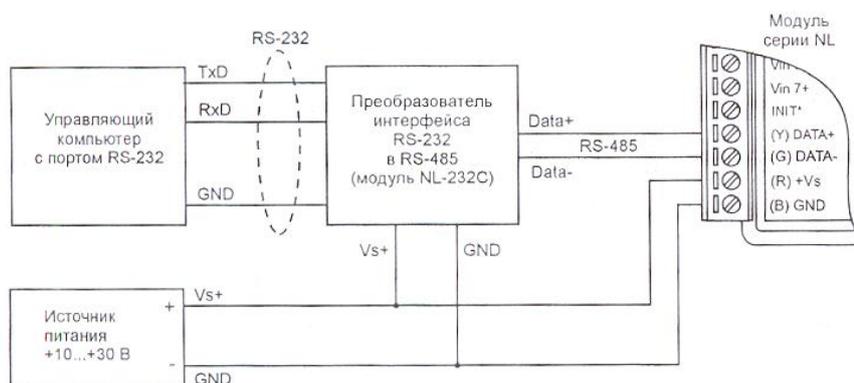


Рис. 3.11. Подключение модуля к порту RS-232 компьютера

Термопара или резистивный датчик температуры подключаются к входным зажимам модуля непосредственно (см. Рис. 3.12). Резистивные медные, платиновые или никелевые термопреобразователи (термопреобразователи сопротивления) подключаются к модулю NL-4RTD по одному из трех вариантов (Рис. 3.13 - Рис. 3.15).

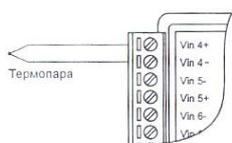


Рис. 3.12. Подключение термопары к каналу 4 модуля.

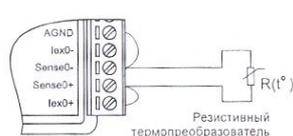


Рис. 3.13. Двухпроводное подключение резистивного термопреобразователя

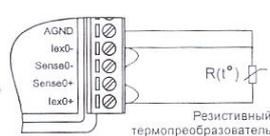


Рис. 3.14. Трехпроводное подключение резистивного термопреобразователя

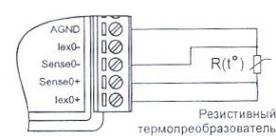


Рис. 3.15. Четырехпроводное подключение резистивного термопреобразователя

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

Для измерения сопротивления из модуля в датчик задают ток с помощью "идеальных" источников тока  $I_{ex0+}$  и  $I_{ex0-}$  и снимают величину падения напряжения на датчике с помощью потенциальных входов модуля Sense+ и Sense- (Рис. 3.13). При фиксированном токе падение напряжения прямо пропорционально сопротивлению датчика, которое затем пересчитывается в значения температуры по табличным данным, взятым из ГОСТ 6651-94 и хранимым в ЭППЗУ модуля.

Однако такой простейший путь может быть использован только в случае, когда длина проводов, идущих к датчику, не превышает нескольких метров. В общем случае необходимо учитывать их сопротивление, которое может быть сравнимо с сопротивлением датчика (обычно 50-100 Ом). Для этого используют трехпроводную или четырехпроводную схему включения. Особенность трехпроводной схемы (Рис. 3.14) состоит в том, что она основана на принципе взаимной компенсации падений напряжений на проводах, по которым текут одинаковые токи в противоположных направлениях. Поэтому эта схема компенсирует только среднее значение сопротивлений проводов, но не их разность. Кроме того, в погрешность измерения добавляется погрешность рассогласования токов источников тока  $I_{ex0+}$  и  $I_{ex0-}$ . Достоинством этой схемы по сравнению с четырехпроводной является 30% экономия соединительных проводов.

Четырехпроводная схема (Рис. 3.15) использует только один источник тока. Поэтому исключается погрешность рассогласования токов  $I_{ex0+}$  и  $I_{ex0-}$ . Четырехпроводная схема не использует принцип компенсации сопротивлений и поэтому позволяет исключить влияние проводов независимо от величины рассогласования их сопротивлений. Для этого напряжение измеряется непосредственно на выводах датчика. Эта схема измерения является наиболее точной.

Выходные каскады модулей выполнены по схеме с открытым стоком, что позволяет получить логические уровни любой величины, до +47В, в зависимости от напряжения источника питания выходных каскадов (Рис. 3.16).

Выходные каскады модулей имеют максимальное рабочее напряжение 47 В и ток нагрузки не более 0,75А. Однако их можно

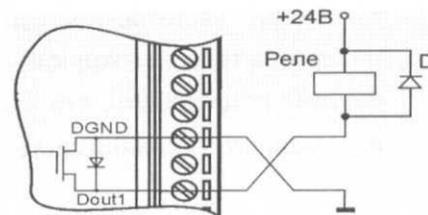
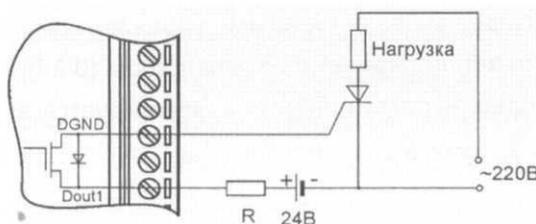
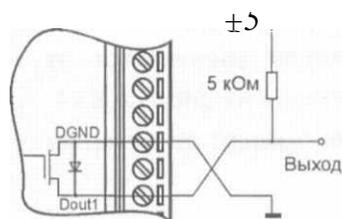


Рис. 3.16. Получения логиче- Рис. 3.17. Подключение симистора к выходу Рис.

3.18. Применение модуля для

использовать для переключения нагрузок любой мощности, если подключить к выходным каскадам модуля электромагнитное или полупроводниковое реле, тиристор или симистор. Соответствующие схемы включения приведены на рис. 3.17, рис. 3.18 и рис. 3.19.

### 2.3.4. Пример применения модуля для регулирования температуры

Модули имеют встроенный алгоритм релейного и ПИД регулирования. Это позволяет использовать их в качестве локального технологического контроллера для выполнения функции стабилизации температуры. В качестве примера на Рис. 3.19 показана структурная схема системы поддержания стабильной температуры в емкости с нагревательным элементом.

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

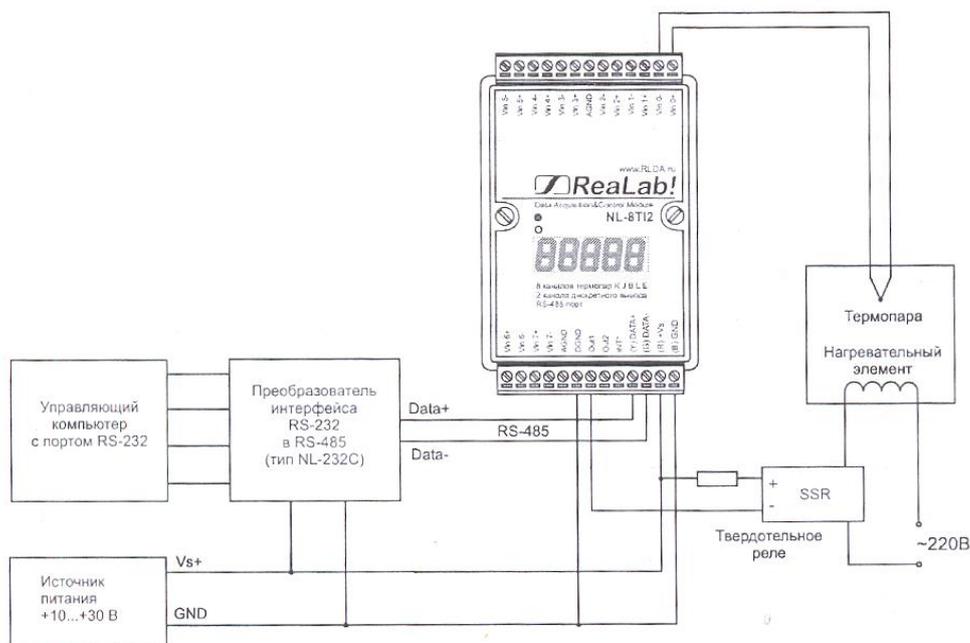


Рис. 3.19. Применение модуля для стабилизации температуры. Управляющий компьютер и преобразователь интерфейса после конфигурирования модуля могут быть исключены из системы

Термопара является нелинейным преобразователем температуры в напряжение. Для компенсации нелинейности в модулях используется поправочная таблица, взятая из ГОСТ Р 8.585-01 для термопар типа К, J, В, L, E, S, R, N, T и занесенная в ЭПЗУ модуля. Микроконтроллер, имеющийся в модуле, вносит поправки в результат измерения, пользуясь этой таблицей. Поэтому модуль выдает через порт RS-485 значение температуры.

Напряжение на зажимах термопары зависит не от абсолютного значения температуры, а от разности температур горячего и холодного спая. Температура холодного спая в модуле измеряется линейным полупроводниковым датчиком температуры.

### 3. Промышленная сеть на основе интерфейса RS-485

Модули серии NL могут быть включены в промышленную сеть на основе интерфейса RS-485, которая использует передачу сигналов в обоих направлениях по двум проводам. RS-485 является стандартным интерфейсом, специально спроектированным для передачи цифровых данных в условиях индустриального окружения. Он широко используется для построения промышленных сетей, связывающих устройства с интерфейсом RS-485 на расстоянии до 1,2 км (ретрансляторы позволяют увеличить это расстояние). Линия передачи сигнала в стандарте RS-485 является дифференциальной, симметричной относительно "земли". Один

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

сегмент промышленной сети может содержать до 32 устройств. Передача сигнала по сети является двунаправленной, инициируемой одним ведущим устройством, в качестве которого обычно используется офисный или промышленный компьютер (контроллер). Если управляющий компьютер по истечении некоторого времени не получает от модуля ответ, обмен прерывается и инициатива вновь передается управляющему компьютеру. Любой модуль, который ничего не передает, постоянно находится в состоянии ожидания запроса. Ведущее устройство не имеет адреса, ведомые - имеют.

Удобной особенностью сети на основе стандарта RS-485 является возможность отключения любого ведомого устройства без нарушения работы всей сети. Это позволяет делать "горячую" замену неисправных устройств.

Применение модулей серии NL в промышленной сети на основе интерфейса RS-485 позволяет расположить модули в непосредственной близости к контролируемому оборудованию и таким образом уменьшить общую длину проводов и величину паразитных наводок на входные цепи.

Размер адресного пространства модулей позволяет объединить в сеть 256 устройств. Однако при использовании для адресации кода скорости обмена можно адресовать 2048 устройств. Поскольку нагрузочная способность интерфейса RS-485 модулей составляет 32 стандартных устройства, для расширения сети до 256 единиц необходимо использовать RS-485 ретрансляторы между фрагментами, содержащими до 32 модулей. Конвертеры и ретрансляторы (репитеры) сети не являются адресуемыми устройствами и поэтому не уменьшают предельную размерность сети.

Управляющий компьютер, имеющий порт RS-485, подключается к сети непосредственно. Компьютер с портом RS-232 подключается через преобразователь интерфейса RS-232 в RS-485, (например, NL-232C) (Рис. 3.11). Для построения сети рекомендуется использовать экранированную витую пару проводов.

Любые разрывы зависимости импеданса линии от пространственной координаты вызывают отражения и искажения сигналов. Чтобы избежать отражений на концах линии, к ним подключают согласующие резисторы (Рис. 3.20).

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

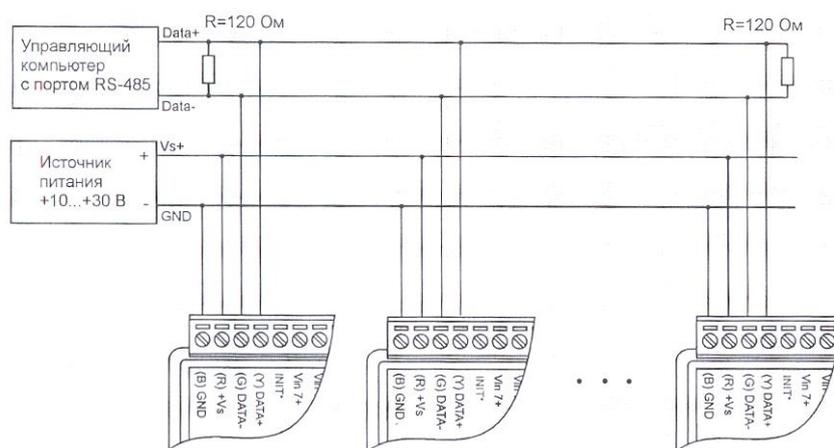


Рис. 3.20. Соединение нескольких модулей в сеть на основе интерфейса RS-485

Сопротивление резисторов должно быть равно волновому сопротивлению линии передачи сигнала. Если на конце линии сосредоточено много приемников сигнала, то при выборе сопротивления согласующего резистора надо учитывать, что входные сопротивления приемников оказываются соединенными параллельно между собой и параллельно согласующему резистору. В этом случае суммарное сопротивление приемников сигнала и согласующего резистора должно быть равно волновому сопротивлению линии. Поэтому на Рис. 3.20 показано сопротивление  $R=120\text{ Ом}$ , хотя волновое сопротивление линии равно  $100\text{ Ом}$ . Чем больше приемников сигнала на конце линии, тем большее сопротивление должен иметь терминальный резистор.

Наилучшей топологией сети является длинная линия, к которой в разных местах подключены адресуемые устройства (Рис. 3.20). Структура сети в виде звезды не рекомендуется в связи со множественностью отражений сигналов и проблемами ее согласования.

### 3.1. OPC сервер

Модули управляются посылкой команд в ASCII кодах через порт RS-232 любого компьютера. Например, чтобы получить из модуля все напряжения на его входах, посылают команду #AA, для компенсации напряжения нуля при калибровке посылают команду SAA1, где A A - адрес модуля в сети. Посылать такие команды можно, например, с помощью программы Hyper Terminal, которая входит в стандартную поставку Windows. Однако для упрощения управления модулями разработан OPC сервер, который позволяет управлять модулями из широко известных программ LabView, MATLAB, Excel, Word, Access. Для самостоятельного программирования на Visual C++, Visual Basic и VBA кроме OPC

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

интерфейса разработан более простой в изучении упрощенный интерфейс EasyAccess с сокращенным набором функций.

OPC сервер NЛорс для модулей RealLab! соответствует международной спецификации OPC Data Access 2.0. Сервер обеспечивает доступ к переменным модулей неограниченному числу клиентских программ. Сервер NЛорс имеет следующие отличительные особенности:

- возможность задания различных прав доступа к тегам (входным переменным) для различных клиентов сервера;
- возможность добавления новых устройств в расширяемую библиотеку драйверов;
- содержит встроенный скрипт VBScript для описания пользовательских конверторов входных переменных;
- поддерживает пользовательские DLL-библиотеки для описания сложных конверторов входных переменных;
- кроме стандартного OPC интерфейса имеет дополнительный упрощенный COM интерфейс EasyAccess для управления устройствами;
- содержит объект, служащий для интеграции сервера NЛорс и OPC серверов сторонних производителей с программами, не поддерживающими OPC, но поддерживающими OLE, например MS Excel, Matlab.

OPC (OLE for Process Control) - стандартизованные интерфейсы для Microsoft технологии OLE, предназначенные для применения в области компьютерной автоматизации [8]. Стандарт OPC разработан международным фондом OPC Foundation, который был создан фирмами Fisher-Rosemount, Intellution, Intuitive Technology, Opto22, Rockwell и Siemens в 1995 году. В 1996 году появилась первая версия спецификации OPC.

OPC в настоящее время является общепризнанным стандартом. Сегодня практически все производители программного и аппаратного обеспечения средств автоматизации разрабатывают продукты, соответствующие этому стандарту.

За последние несколько лет OPC серверы полностью вытеснили DDE (Dynamic Data Exchange) серверы и специализированные драйверы для аппаратных средств автоматизации. DDE - самый старый (время рождения - 1989-1991 годы) и очень медленный способ динамического обмена данными между Windows приложениями, был со временем заменен (преобразован) в OLE (Object Linking and Embedding). OLE первоначально и до середины 90-х годов использовался исключительно Microsoft для обмена данными между ее офисными приложениями. Во время разработки Windows NT появилась технология DCOM (Distributed

Componet Object Model) как продолжение технологии COM. DCOM была разработана для распределенных клиент-серверных приложений. Один клиент мог одновременно использовать несколько серверов, установленных на разных компьютерах в сети и каждый сервер одновременно мог обслуживать несколько клиентов. В настоящее время OPC базируется практически исключительно на DCOM технологии фирмы Microsoft для распределенных систем. Главным понятием DCOM является понятие интерфейса, посредством которого DCOM объекты обслуживают клиентов.

Главное окно программы "NLogic" показано на Рис. 4.1. В левой половине отображается дерево представления устройств, которые подключены к компьютеру или для которых созданы их "образы", а также логические группы тегов (т.е. входных или выходных сигналов модулей).

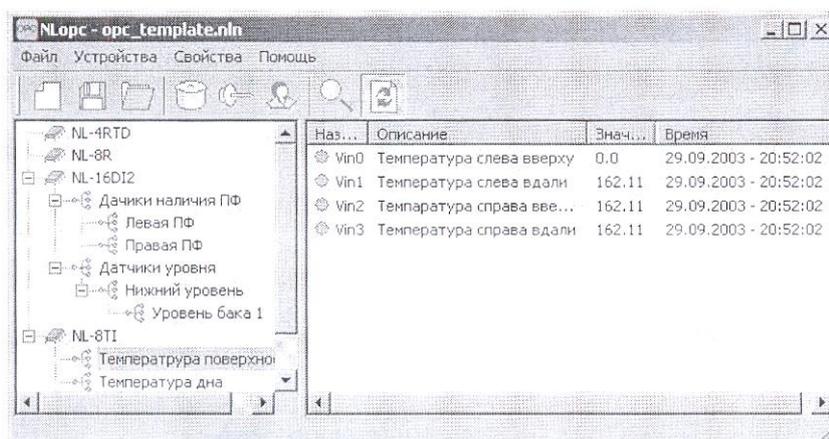


Рис. 4.1. Главное окно программы NLogic

В правой половине отображается список тегов устройства или список тегов логической группы тегов, которые выбраны в левой половине окна. При нажатии кнопки обновления значений тегов принимаемые OPC сервером величины отображаются в графе "Значение".

### 3.1.1. Конвертирование входных величин с помощью VBScript

При подключении к модулям нестандартных датчиков может потребоваться особая, задаваемая пользователем, линеаризация характеристик или компенсация погрешностей. Конвертор полезен, когда, например, устройство передает данные от терморезистивного преобразователя в Омах, а требуется иметь данные в градусах, или когда датчик выдает частотный сигнал от анемометра, а его надо преобразовать в скорость ветра. Другим примером может быть применение линейной коррекции мультипликативной и аддитивной погрешности датчиков или

измерительных преобразователей при их калибровке, а также применение нелинейных функций линеаризации (как, например, для термопар или термопреобразователей сопротивления). Для решения этой задачи OPC сервер NLogics снабжен библиотекой конверторов. Библиотека конверторов сервера NLogics представляет собой динамически подключаемую библиотеку (DLL), которая при необходимости может быть написана пользователем на любом языке программирования. Однако для оперативного преобразования сигналов, поступающих от модулей, в OPC сервер встроен скрипт VBScript, который позволяет задать любую функцию конвертирования непосредственно из окна OPC сервера (Рис. 4.2).

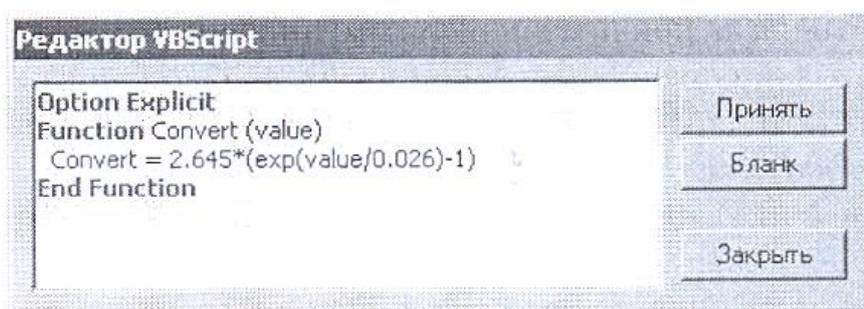


Рис. 4.2. Окно редактора VBScript

Конвертор, написанный на языке VBScript, представляет собой реализацию функции вида:

```
Function Convert (value)
```

```
Convert = f(value) 'возвращается значение функции End Function
```

Здесь value - входная конвертируемая величина; Convert - результат конвертирования; f(value) - некоторая функция, например, sin(value), 2\*value<sup>2</sup> и т.п. Апострофом в VBScript помечаются комментарии. Возвращаемое функцией значение будет передано клиентам OPC сервера как преобразованное значение тега.

При нажатии кнопки «Принять» (Рис. 4.2, Рис. 4.3) происходит проверка скрипта на отсутствие синтаксических ошибок интерпретатором VBScript. Корректный скрипт принимается и в окне свойств тега появляется график передаточной функции конвертора.

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

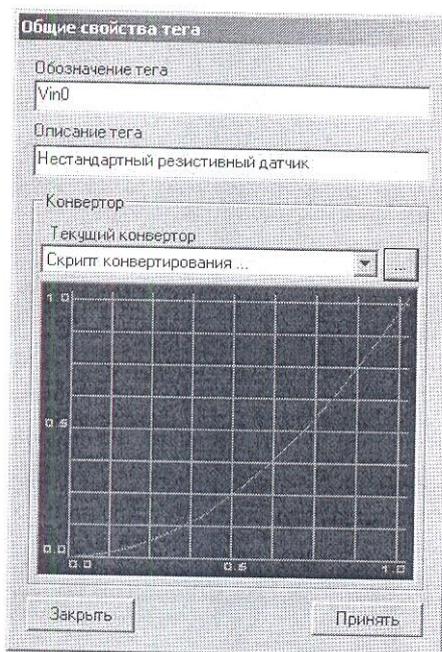


Рис. 4.3. Окно для выбора конвертора входной переменной

Полное описание встроенного VBScript можно найти в описании Windows или на вэб узле компании Microsoft.

OPC сервер NLogics позволяет управлять подключением и правами доступа к тегам для различных пользователей в пределах локальной сети.

### 3.1.2. Интерфейс к Matlab, LabView, MS Excel

Описываемый ниже интерфейс служит для интеграции серверов стандарта OPC Data Access с клиентами, не поддерживающими стандарт OPC, но поддерживающими OLE. Он является буфером, преобразующим стандартные вызовы OPC в стандартные вызовы автоматизации OLE. Например, он может быть использован для получения данных от OPC сервера для программ MATLAB, LabView, MS Office.

Интерфейс объекта состоит из четырех функций:

1. OpcOpenServerQ - для создания соединения с OPC сервером;
2. OpcReadItem() - для чтения данных на входе устройства;
3. OpcWriteItem() - для записи данных в устройство;
4. OpcCloseServerQ - разрыв связи с сервером.

Функция OpcOpenServer() создает соединение с выбранным OPC сервером на выбранном компьютере. Она имеет следующий синтаксис (на языке Visual Basic):

Boolean OpcOpenServer(servername as String, serverlocation as String),

где servername - имя сервера (NLocp.Server), serverlocation - имя компьютера в сети, на котором расположен OPC сервер. Возвращается значение True в случае успеха, False в случае неудачи.

Функция OpcReadItem() предназначена для чтения данных из указанного тега сервера, соединенного с объектом OPC Wrapper. Service. Прототип функции на языке Visual Basic имеет вид

Variant OpcReadItem(itemname as String).

Здесь tagname - полное имя тега сервера OPC. Полное имя тега состоит из перечисления родительских групп тега, разделенных символом «.» и имени тега. Так, например, для тега «VinI» группы «NL-8AI» имя тега будет NL-8AI.VinI. Возвращаемое значение - прочитанное значение тега.

Функция OpcWriteItem() предназначена для записи данных в указанный тег сервера, соединенного с объектом OPCWrapper. Service. Прототип функции на языке Visual Basic:

OpcWriteItem (itemname as String, value as Variant)

*Пример* использования функции в Visual Basic и VBA:

```
Sub Func()
    Dim obj As Object
    Dim rd As Variant
    Dim wr As Variant
    Set obj = CreateObject("OPCWrapper.Service") создание соединения с объектом OPCWrapper. Service
    obj.OpcOpenServer "NLocp.Server", "" соединение объекта с сервером NLocp.Server
    rd = obj.OpcReadItem "In" 'вместо In должно быть имя тега сервера
    wr = 1
    obj.OpcWriteItem "Qut", wr 'вместо Out должно быть имя тега сервера
    obj.OpcCloseServer 'отсоединение объекта от сервера
    Setobj=Nothing 'разрывается связь объектной переменной obj с объектом
End Sub
```

### 3.2. MS Excel и ActiveX объекты

Широко известная программа MS Excel является превосходной средой для реализации алгоритмов управления экспериментом, обработки и визуализации его результатов [9, 10]. При этом используются не только вычисления в ячейках, но и встроенный в MS Excel язык Visual Basic for Application (VBA). Ниже предлагается набор дополнительных

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

ActiveX объектов, которые позволяют еще более упростить и ускорить процесс достижения цели для людей, не имеющих навыков программирования.

Каждый ActiveX объект позволяет выполнить поиск OPC серверов в локальной сети (Рис. 2.4) с помощью браузера тегов (Рис. 5.2). В левой части окна «Tag Browser» выбирается OPC сервер, находящийся на любом компьютере локальной сети.

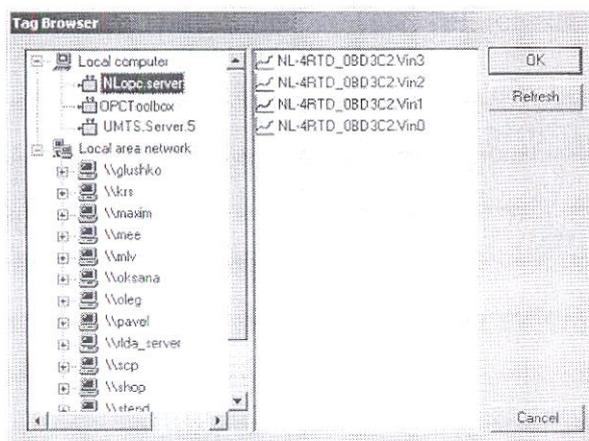


Рис. 5.2. Окно объекта «Tag Browser»

При выборе сервера происходит считывание его «пространства имен» (набора тегов) в правую часть окна. Пользователь должен выбрать требуемые ему теги и нажать кнопку «ОК». Выбранные теги будут добавлены в ActiveX объект, из которого был вызван браузер тегов.

### 3.2.1. ActiveX объект "NLdigi"

Наиболее часто используемым ActiveX объектом является цифровое табло (Рис. 5.1).

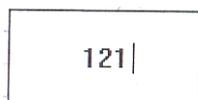


Рис. 5.1. Внешний вид цифрового табло NLdigi

Оно предназначено для динамического отображения входной величины в цифровом виде. Входной может быть также величина, заданная из программы на VBA, входящей в состав MS Excel.

При задании в качестве входной величины тега OPC сервера объект NLdigi может осуществлять циклическое (динамическое) чтение значения

тега с задаваемым периодом. При этом данные, получаемые из устройства ввода, будут обновляться на табло по мере их поступления.

ActiveX объект NLdigi позволяет также задавать с клавиатуры значения, выводимые из компьютера через модули вывода.

### 3.2.2. ActiveX объект "NLgraph"

Внешний вид объекта NLgraph представлен на Рис. 5.3.



Рис. 5.3. Внешний вид объекта NLbar

Он предназначен для динамического отображения входной величины в виде «столбика». Объект может принимать как горизонтальное положение, так и вертикальное, в зависимости от соотношения его ширины и высоты.

Входной может быть величина, устанавливаемая из VBA или непосредственно из тега. В последнем случае объект может осуществлять циклическое чтение значения тега. Окно свойств объекта «NLgraph» изображено на Рис. 5.4.

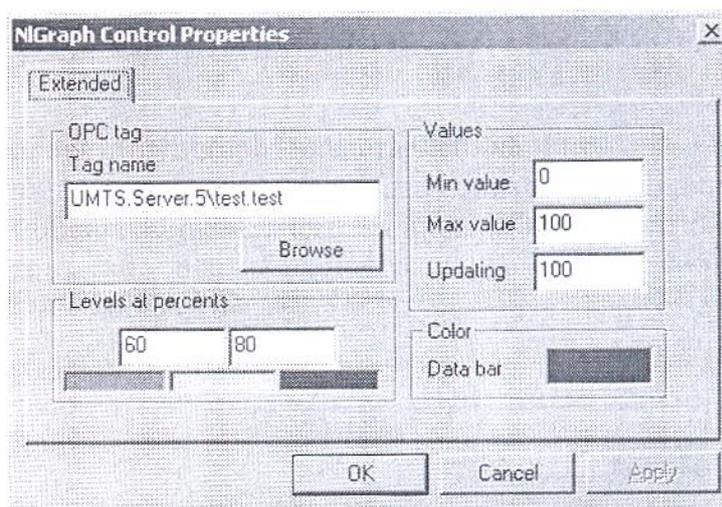


Рис. 5.4. Окно свойств объекта «NLbar»

В окне «Tag пате» задается имя тега, служащего входной величиной объекта. Имя тега может задаваться как вручную, так и при помощи объекта «Tag Browser» (Рис. 5.2). В окнах «Min value», «Max value» задаются минимальная и максимальная величина, отображаемая на шкале объекта. В поле «Updating» задается период обновления значения тега OPC сервера в миллисекундах. В полях «Levels at percent» задаются цветовые уровни в процентах от ширины шкалы. Окно «Data bar» предназначено для задания цвета столбика данных. При щелчке по

цветному окну «Data bar» появляется стандартное диалоговое окно выбора цвета. Задания параметров через окно свойств объекта NLgraph вполне достаточно для работы объекта с OPC серверами.

### **3.2.3. . ActiveX объект "NLview**

Внешний вид объекта «NLview» представлен на Рис. 6.4. Объект предназначен для динамического отображения данных на графике в виде зависимости  $Y=f(x)$ . На одном ActiveX объекте можно построить практически неограниченное количество кривых. Ось абсцисс графика может быть представлена в формате «время/дата» или в обычном формате вещественного числа. Поле построения графиков поддерживает функцию «прокрутки» при помощи перемещения мыши (правая кнопка при этом должна быть нажата) и функцию «электронной лупы» - для увеличения выбранного участка графика.

Для удобной настройки объекта имеется окно свойств, позволяющее задавать теги, диапазон их изменения, цвет линии. По умолчанию цвета линий задаются автоматически случайным образом. Задаются также глубина буфера данных, частота обновления тегов, цвет заднего фона, сетки, линеек и цвет обозначений на осях.

Для задания собственных линий, не связанных с тегами OPC серверов, а также для вывода любых графиков из VBA объект имеет набор методов и свойств, которые можно использовать при программировании на VBA.

### **3.2.4. Создание других органов управления средствами Excel**

Примеры типовых органов управления, функционирующих в MS Excel, представлены на Рис. 5.5.

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

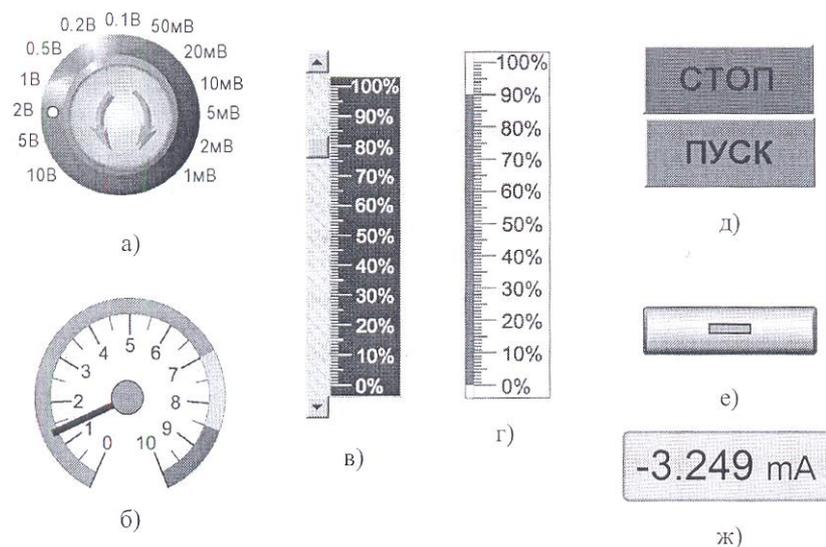


Рис. 5.5. Примеры типовых элементов виртуальных приборов, созданных в MS Excel

Это "оживленные" рисунки, выполненные в любом пиксельном формате и вставленные на лист Excel. При нажатии мышкой на правую стрелку переключателя пределов измерения (Рис. 5.5, а) белая точка, указывающая предел измерения, перемещается на один шаг по часовой стрелке; при нажатии на левую кнопку точка движется в обратном направлении. При этом в заранее заданной ячейке Excel (например, А3) появляется число, указывающее номер позиции переключателя. Этот номер можно использовать, например, для масштабирования данных, принятых от датчика.

Точка, указывающая положение переключателя на Рис. 5.5, а) является овалом, нарисованным средствами Excel. Она не может быть рисунком в пиксельном формате, поскольку VBA, входящий в состав Excel, не позволяет выполнять поворот растровых рисунков.

Важно отметить, что код, управляющий движением рассматриваемых ниже органов управления и контроля, можно не писать, а включить режим записи макроса и в это время произвести нужные операции над создаваемым объектом. В результате Excel автоматически создаст код, выполняющий то, что вы делали вручную. Это избавляет вас от изучения языка VBA. Конечно, желательно понимать смысл того, что создал вместо вас визард макросов MS Excel, но для этого достаточно знать английский язык, который помогает угадать смысл отдельных команд записанного макроса.

Макрос, перемещающий точку на Рис. 5.5, а) по часовой стрелке, выглядит следующим образом:

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

```
GaugePisition = Sheets("Gauge").Range("A3")  
Sheets("Gauge").Shapes("Point").IncrementRotation 22  
GaugePisition = GaugePisition + 1  
Sheets("Gauge").Range("A3").Value = GaugePisition
```

Здесь первая строка считывает начальную позицию переключателя, которая хранится в ячейке A3 на листе "Gauge". Вторая строка выполняет поворот точки "Point" относительно центра вращения на угол 22 градуса. Для создания центра вращения в нужном месте следует создать вторую точку симметрично относительно центра ручки, сделать ее невидимой и сгруппировать с видимой точкой. Такая группа в нашем примере названа "Point". Третья строка представляет собой стандартный счетчик с приращением 1, четвертая строка записывает значение счетчика в ячейку A3. Переменную GaugePosition можно использовать в дальнейшем для масштабирования принятых данных.

Слайдер (Рис. 5.5, в) является стандартным элементом Excel, мы добавили к нему лишь шкалу. Позиция указателя записывается в ячейку, которую вы выбираете сами. Кнопки "СТОП" и "ПУСК" (Рис. 5.5, д) являются стандартными кнопками MS Excel, мы только изменили их цвет. Оригинальная кнопка (Рис. 5.5, е) является растровым рисунком, а зеленый "светодиод" на ней - векторным рисунком, выполненным средствами Excel. При нажатии кнопки светодиод "гаснет", т.е. его цвет изменяется на серый. При этом в ячейку A6 записывается значение "False", при повторном нажатии светодиод загорается и в ячейку записывается значение "True":

```
If Worksheets("Gauge").Range("A6").FormulaR1C1 = "=TRUE()" Then  
Worksheets("Gauge").Range("A6").FormulaR1C1 = "=FALSE()"  
Worksheets("Gauge").Shapes("Light").Fill.Visible = msoTrue  
Else  
Worksheets("Gauge").Range("A6").FormulaR1C1 = "=TRUE()"  
Worksheets("Gauge").Shapes("Light").Fill.Visible = msoFalse End If
```

Третья строчка кода делает "светодиод" видимым (Fill.Visible = msoTrue), а шестая - "гасит" его.

MS Excel позволяет "закрепить" каждый элемент на листе, защитить его от случайного удаления и защитить весь рабочий лист. Ввод данных можно выполнять непосредственно в ячейки рабочего листа Excel, в текстовые поля или в специальные элементы управления, поставляемые в составе MS Excel.

Отметим некоторые общие особенности создания программ автоматизации эксперимента с помощью MS Excel. После отладки

программы ее следует защитить от случайной порчи исходного текста. Для этого используется пункт меню "Сервис/Защита". Перед защитой в свойствах каждого элемента следует указать, должен ли он быть защищен после защиты всего листа. Если некоторые элементы должны изменяться программно, сначала нужно снять их защиту, а после модификации элемента вновь защитить его. Однако есть более простой способ: поверх изменяемого элемента можно положить "стекло" - прозрачный растровый рисунок - и защитить его. Тогда пользователю лежащие под "стеклом" объекты будут недоступны, а программа может их модифицировать.

При передаче такой программы заказчику ее текст можно скрыть с помощью пункта меню VBA "Tools/VBA Project Properties" и назначить пароль, который не позволит пользоваться исходным текстом программы без санкции поставщика.

#### **4. Пример стенда для приемо-сдаточных испытаний**

Рассмотрим реализованный нами по описанной выше методике стенд для приемо-сдаточных испытаний электронных модулей, аттестованный органами государственной метрологической службы и используемый в серийном производстве. В состав стенда входит камера тепла, камера холода, термостат, модули серии NL [7], вольтметр HP34401A. Стенд позволяет выполнить в автоматическом режиме измерения следующих параметров:

- основная и дополнительная погрешность измерения напряжения;
- основная и дополнительная погрешность измерения тока;
- основная и дополнительная погрешность измерения сопротивления;
- основная и дополнительная погрешность измерения частоты следования импульсов;
- погрешность компенсации температуры холодного спая термопары;
- временная нестабильность источника опорного напряжения;
- зависимость погрешности измерения от уровня входного напряжения;
- взаимное влияние входов;
- взаимное влияние выходов;
- ток утечки закрытых выходных ключей;
- напряжение логического нуля на входе;
- напряжение логической единицы на входе;
- напряжение логического нуля на выходе;
- ток утечки дискретных выходов;
- ток утечки потенциальных входов;

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

- скорость передачи информации в порт RS-232.

Стенд позволяет также строить разнообразные графики, примеры которых представлены ниже. Для управления камерой холода с сосудом Дюара использован модуль NL-4RTD [7], который измеряет температуру с помощью датчика TCM-50 и поддерживает ее путем управления клапаном подачи жидкого азота. Модуль закреплен непосредственно на камере холода. Аналогичный модуль, управляющий нагревательными элементами, закреплен на камере тепла. Модули NL-8A1 [7] считывают показания датчиков влажности воздуха в камерах.

Модули, обеспечивающие подачу на испытуемый прибор сигналов и считывание результатов, помещены в общий шкаф (Рис. 6.1).

Все модули стенда объединены в сеть на основе интерфейса RS-485 и включены в офисную Ethernet сеть (Рис. 2.4), что позволяет главному инженеру, начальнику отдела НИОКР и разработчикам системы наблюдать за процессом испытаний со своих рабочих мест.

Измеряемые стендом параметры записаны на листе MS Excel (Рис. 6.2).



Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

При нажатии кнопки "Автоматическая проверка" происходит синтаксический анализ имен проверяемых параметров и вызов соответствующего макроса VBA, который выполняет измерение данного параметра. Полученные значения записываются в колонку "Измерено" и сравниваются со значениями, указанными в ТУ. Результат сравнения указывается в столбце "Годен/Негоден".

Весь список параметров проверяется автоматически, без участия оператора. Оператору остается только посмотреть, нет ли среди записей в столбце "Годен/Негоден" записи, выделенной красным цветом.

Отдельный параметр может быть проверен в ручном режиме, путем нажатия кнопки "Проверка команды выделенной курсором", для чего клетку с именем проверяемого параметра нужно сначала выделить курсором.

Применение компьютера позволяет не только автоматизировать испытания, но и выполнить уникальные измерения, например, получить гистограмму плотности распределения случайной величины - напряжения на выходе источника опорного напряжения (Рис. 6.3), построенную на основе 1700 измерений, или построить зависимость абсолютной погрешности измерения температуры датчиком температуры холодного спая термопары от величины температуры ее холодного спая (Рис. 6.4). Резкие скачки температуры на графике (на 0,2 град) получаются, когда в термостат со льдом подбрасывают лед.

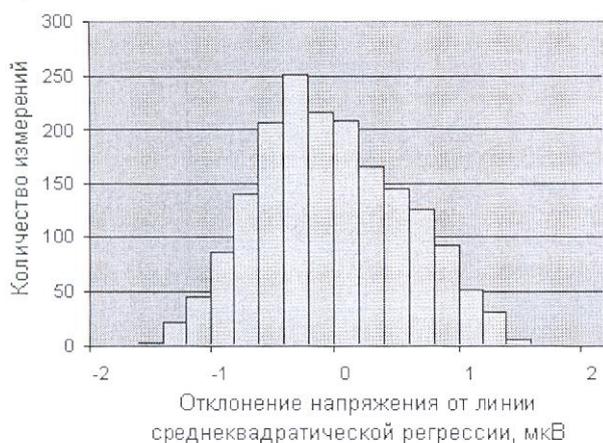


Рис. 6.3. Плотность распределения отклонений напряжения на выходе источника опорного напряжения стенда от линии среднеквадратической регрессии (1700 отсчетов), полученная в автоматическом режиме

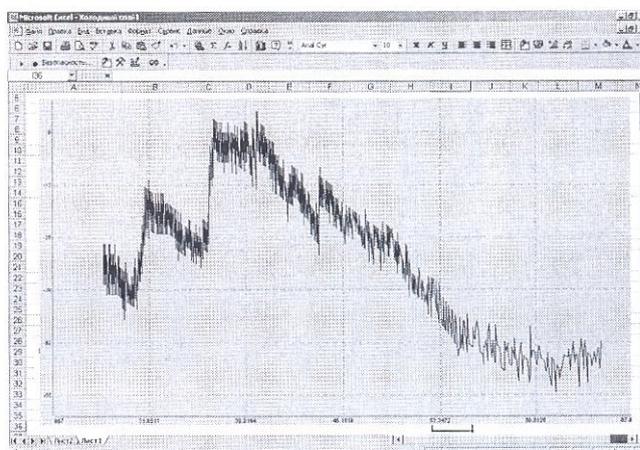


Рис. 6.4. Зависимость абсолютной погрешности датчика температуры холодного спая термопары от температуры холодного спая. По оси абсцисс - 8 град./дел., по оси ординат температур указана в сантиградусах, 0,13 град./дел.

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

На Рис. 6.5 представлена зависимость абсолютной погрешности измерения испытуемого прибора от величины входного напряжения, построенная за 15 мин. Эту зависимость вручную можно построить только за несколько дней. На Рис. 6.6 представлена зависимость напряжения опорного источника напряжения от времени, необходимая для оценки его временной стабильности. По оси абсцисс указан номер отсчета, что эквивалентно времени, полученному из условия, что измерения происходят с периодичностью 2 раза в сек. Описанные графики получены с помощью ActiveX объекта NLView в реальном времени, т.е данные отображаются на графике по мере их поступления из устройства ввода, без сбора в промежуточный файл. Это позволяет остановить или скорректировать проводимый эксперимент по мере его проведения.

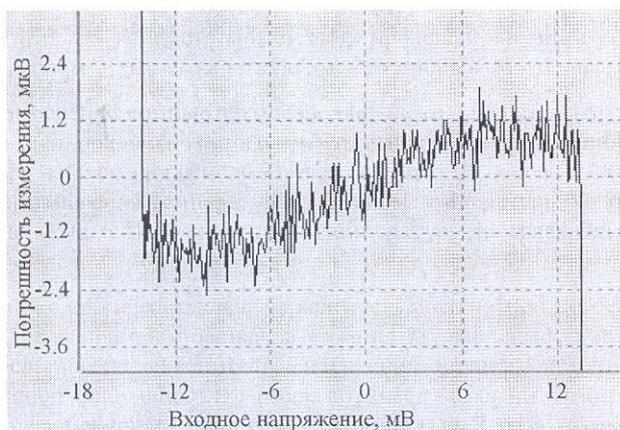


Рис. 6.5. Зависимость абсолютной погрешности измерения модуля NL-8TI для диапазона измерений  $\pm 15$  мкВ от величины входного измеряемого напряжения.

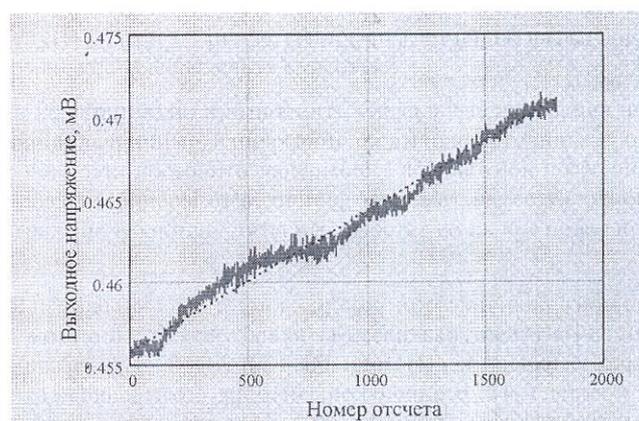


Рис. 6.6. Зависимость напряжения опорного источника от номера отсчета; отсчеты взяты с частотой 2 Гц.

Следует обратить внимание, что на оси абсцисс графиков на Рис. 6.4 и Рис. 6.5 отложено не время, а напряжение или температура, хотя вновь поступившие данные отображаются на графике по мере их получения. Аналогичным способом можно снять зависимость, например, коэффициента усиления транзистора от температуры или его вольт-амперную характеристику, АЧХ четырехполюсника, зависимость частоты вибрации от амплитуды смещения, зависимость температуры пара от давления в котле, зависимость относительного растяжения образца от усилия растяжения и т.п.

### Выводы

Рассмотрены основные принципы построения автоматизированных испытательных стендов с помощью модулей "RealLab!", OPC сервера и программы MS Excel. Использование этих универсальных компонентов позволяет планировать испытания различной сложности при низкой

стоимости разработки программного обеспечения и аппаратной части системы.

#### *Литература*

1. ГОСТ Р 8.568-97. Государственная система обеспечения единства измерений. Аттестация испытательного оборудования. Основные положения. М., Госстандарт России.
2. ПР 50.2.009-94. Государственная система обеспечения единства измерений. Порядок проведения испытаний и утверждения типа средств измерений.
3. МИ 2438-97. Системы измерительные. Метрологическое обеспечение. Основные положения
4. МИ 2439-97. Метрологические характеристики измерительных систем. Номенклатура, принципы регламентации, определения и контроля.
5. МИ 2440-97. Методы экспериментального определения и контроля характеристик погрешности измерительных каналов измерительных систем и измерительных комплексов.
6. МИ 2441-97. Испытания для целей утверждения типа измерительных систем. Общие требования.
7. Research Laboratory of Design Automation, [www.RLDA.ru](http://www.RLDA.ru).
8. Frank Iwanitz, Jurgen Lange. OPC Fundamentals, Implementation, and Application. - 2. rev. ed. - Heidelberg: Huting, 2002, 225 p.
9. Sanchez P. M., Cruz, P. J. Real time connection of programmable logic controllers to Excel spreadsheets. - Proc. of the 2002 IEEE Int. Symposium on Industrial Electronics, 2002, vol. 1, p. 233 - 238.
10. Денисенко В.В. Применение MS Excel в качестве SCADA системы для лабораторной и промышленной автоматизации. - "Компоненты и технологии", № 6, 2001 г., стр. 96-98.
11. Закон об обеспечении единства измерений. №4871-1 от 27 апреля 1993 г.

## ЛЕКЦИЯ ТЕМА №14 «НЕЧЕТКИЕ И ФРАКТАЛЬНЫЕ МЕТОДЫ И МОДЕЛИ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРОЦЕССОВ И СИСТЕМ»

### ВОПРОСЫ

1. Основы идентификационных измерений:
  - Понятия идентификационных измерений;
  - Классификация средств идентификационных измерений;
  - Применение средств идентификационных измерений;
  - Представление моделей сигналов в системе идентификационных параметров;
  - Методы и инструменты исследования;
  - Результаты исследований, выводы и рекомендации.
2. Методы определения фрактальных характеристик объектов:
  - Метод покрытия сеткой;
  - Метод Херста (Метод нормированного размаха);
  - Метод Барроу;
  - Метод фазового портрета;
  - R/R-метод;
  - Метод виртуальных объемов (NF-метод);
  - $V_k$  – метод;  $V_z$  – метод.
3. Генераторы фрактальных объектов:
  - Метод средней точки с приращениями во всех точках;
  - Метод средней точки с приращениями в средних точках;
  - Метод спектрального синтеза;
  - Метод средней точки для трехмерных поверхностей.
4. Основы лингвистического описания понятия формы.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Кликушин Ю.Н., Кобенко В.Ю. Основы идентификационных измерений. «Журнал радиоэлектроники» №5, 2006.
2. Кликушин Ю.Н., Горшенков А.А. Представление моделей сигналов в системе идентификационных параметров. «Журнал радиоэлектроники» №12, 2010.
3. Кликушин Ю.Н., Кобенко В.Ю. Нечеткие и фрактальные методы и модели измерительных процессов и систем. – Омск: ИЦ ОмГТУ, 2010. – 64 с.

### 1. Основы идентификационных измерений

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

Распознавание, как информационная процедура, присуща всем живым природным объектам, является их естественной, "встроенной" функцией и направлена на адаптацию организма к условиям внешней и внутренней среды. Однако, если в живой природе функция распознавания выполняется быстро, эффективно и на интуитивном уровне, то научить техническую систему выполнять тоже самое представляет собой сложную проблему.

Существует достаточно большой круг задач, прямо или косвенно связанных с распознаванием сигналов, являющихся носителем информации о состоянии объектов или процессов. Наиболее характерными в этом отношении являются задачи, связанные с измерением формы входного сигнала, поскольку от этого зависит выбор оптимальных алгоритмов преобразования данных и вычисления именно тех параметров, которые наиболее точно оценивают исследуемые свойства объекта или процесса. Поэтому в данной работе все классы задачи распознавания сигналов сводятся к задаче измерения формы сигналов и их характеристик.

Эти измерения названы идентификационными измерениями, поскольку именно операция идентификации сигнала присутствует во всех разработанных авторами инструментах. В теории управления идентификацией принято называть определение структуры и параметров математической модели процесса или системы [1].

В теории измерений определение параметров модели (параметрическая идентификация) реализуется путем измерений с использованием специальных средств. Определение же структуры (структурная идентификация) модели производится априорно, путем прямого указания назначения данного средства измерения в его техническом паспорте. Подстройка измерительного прибора к модели исследуемого объекта вообще не производится, либо производится в интерактивном режиме (в "ручную", не автоматически), путем соответствующей перенастройки системы.

Понятие измерения используется для того, чтобы подчеркнуть методологическое единство процедур количественного оценивания любой физической величины и величины, характеризуемой понятием "форма сигнала". Основное отличие между понятиями "измерения физической величины", например, электрического напряжения, и "измерения формы сигнала" состоит, в соответствии с современной теорией измерения [2, 3], в статусе измерительных шкал. Если "электрическое напряжение" измеряется по масштабной шкале, характеризующейся эквивалентностью, строгим упорядочением состояний, интервалов между ними и частных от деления состояний, то

"форма сигнала" - в системе порядковых шкал, характеризующихся отношениями эквивалентности и порядка. Другими словами, порядковая шкала формы сигналов является более простой, в функциональном отношении, по сравнению с масштабной шкалой электрического напряжения. В дальнейшем, порядковые шкалы, предназначенные для количественного оценивания формы сигналов, будем называть идентификационными шкалами (ИШ). Распознаванию, как информационной процедуре, с позиции теории шкал, ставится в соответствие номинальная шкала, являющаяся шкалой самого низкого статуса и характеризующаяся лишь отношением эквивалентности. Поэтому в рамках номинальной шкалы можно формировать лишь суждения типа "равен - не равен". Однако, в этом случае нельзя ответить на основной "метрологический" вопрос: на сколько точно результирующее суждение? Такая возможность появляется только при использовании порядковых шкал. С этой точки зрения, ИШ являются инструментом "метризуемости" процедуры распознавания формы сигналов.

### **Понятия идентификационных измерений**

В основу теории идентификационных измерений (ИИ) положены следующие идеи и модели.

1. Любой аналоговый (непрерывный во времени) сигнал полностью характеризуется своей формой.
2. Форма реализации сигнала является интегрированной характеристикой состояния сигнала за время наблюдения. Сигнал есть его реализация, наблюдаемая на бесконечном интервале.
3. Форма сигнала не меняется при изменении сдвига и масштаба по оси амплитуд, если при этом на интервале наблюдения сохраняется весь сигнал.
4. Форма сигнала не меняется при изменении сдвига и масштаба по оси времени, если при этом на интервале наблюдения сохраняется весь сигнал.
5. Любой аналоговый (непрерывный во времени) сигнал после равномерной дискретизации по времени частично характеризуется распределением мгновенных значений (РМЗ).
6. Любой аналоговый (непрерывный во времени) сигнал после равномерного квантования по уровню частично характеризуется совокупностью распределений временных интервалов (РВИ) каждого уровня.

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

7. Оба распределения (РМЗ и РВИ) в совокупности полностью характеризуют форму отдельной реализации (временного ряда наблюдений) сигнала.
8. При известной и постоянной на интервале наблюдений форме реализации сигнала, полная информация о сигнале заключена в одном из распределений (РМЗ или РВИ).
9. Понятие формы рассматривается как способ существования содержания, неотделимый от него и служащий его выражением [4]. Отсюда следует, что форма определяет информационное содержание сигнала и не связана напрямую с энергетикой этого сигнала.

Указанные положения позволяют сформулировать условия, необходимые для реализации технологий идентификационных измерений сигналов. Первое условие связано с необходимостью иметь инструменты измерения РМЗ и РВИ. Второе условие требует наличия инструментов установления логических связей количественных оценок РМЗ и РВИ с качественным состоянием сигнала.

Оба условия объединяются в особой структуре (рис. 1), названной авторами идентификационной шкалой.

Идентификационная шкала (ИШ) состоит из тестеров идентификационных параметров (IdP-тестеры), базы данных (БД) и логического анализатора (ЛА). Имена сигналов и, связанные с ними, численные оценки идентификационных параметров образуют реляционную БД. Можно сказать, что ИШ есть база данных, автоматически управляемая входным сигналом. В общем случае управление такой БД состоит в пересортировке первоначального списка имен и их фильтрации. При упорядочивании чисел (IdP) автоматически ранжируются имена (Имя L) и, соответственно, те свойства объекта или процесса, которые эти имена и числа представляют.

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

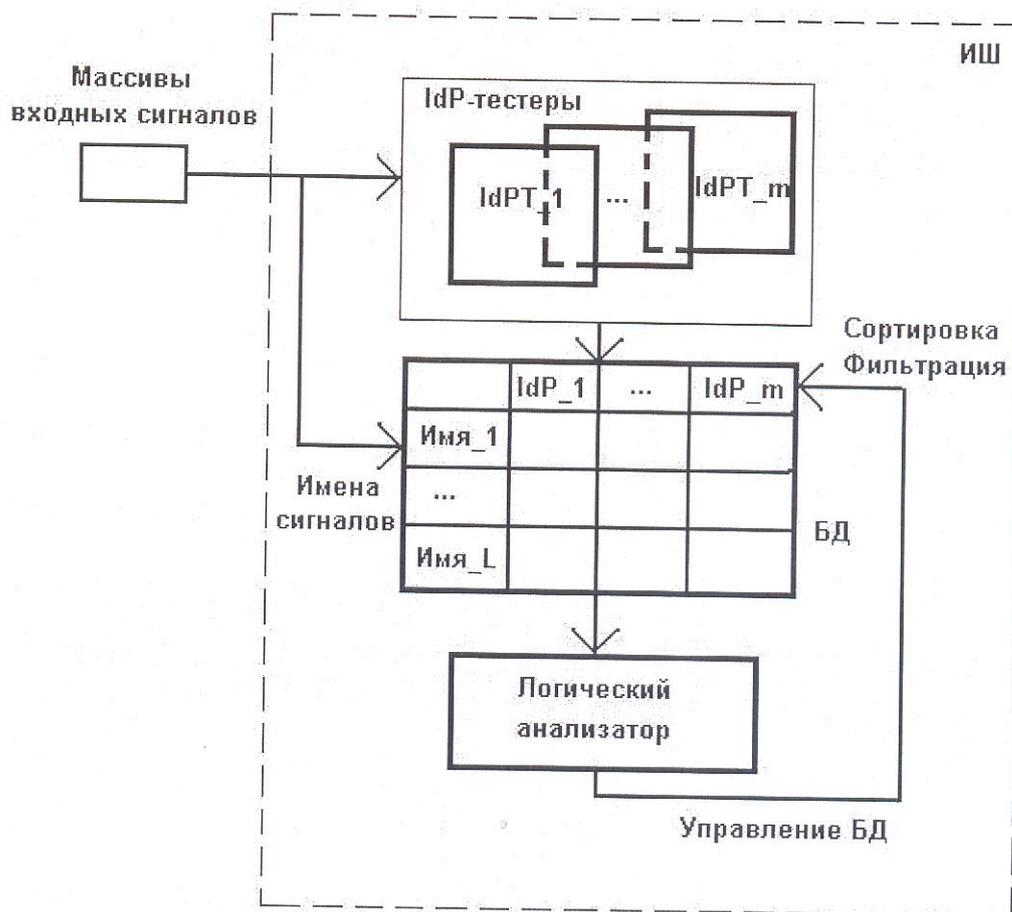


Рис. 1. Структурная схема идентификационной шкалы

Таким образом, в ИШ происходит объединение технологии измерения и технологии БД для решения задач распознавания образов сигналов. На основании рассмотренной структурной схемы введем следующее определение: Идентификационными будем называть такие шкалы, которые с помощью числовых показателей упорядочивают лингвистические характеристики, например, имена, объектов или процессов.

Поскольку имена в максимально сжатой, компактной форме отображают некоторую совокупность свойств объектов или процессов, то получается, что, во-первых, ИШ осуществляют компрессию информации и, во-вторых, реализуют количественное оценивание качественного состояния объекта исследования.

Упорядоченность числовых отметок и, связанных с ними, имен, во-первых, обуславливает возможность интерполяции положения неизвестных объектов в рамках шкалы, во-вторых, выявляет структуру связей этого объекта с эталонными объектами, представленными именами

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

отметок и, в третьих, производит разложение имени исследуемого объекта в спектр имен эталонных отметок.

С формальной точки зрения ИШ отображает некоторое множество, например, временной ряд наблюдений  $F(t)$ , в число  $(G)$ , называемое идентификационным -  $G:F(t) \rightarrow G$ . Основным свойством этого числа является то, что оно не зависит от линейных преобразований исходного множества. Данное свойство характеризует масштабную инвариантность ИШ.

Особенностью отображения  $F(t) \rightarrow G$  является его неоднозначность, при которой одно и тоже идентификационное число может принадлежать разным исходным множествам. Эта особенность, вообще говоря, присуща многим преобразованиям, связанным, например, с интегрированием или изменением размерности. Достаточно вспомнить вычисление моментных характеристик случайных сигналов, когда одинаковые числовые показатели типа математического ожидания или дисперсии, могут быть получены от сигналов разной структуры. Устранение или уменьшение неоднозначности является основной целью разработчиков систем распознавания.

Другой вариант интерпретации ИШ состоит в ее представлении в виде упорядоченного списка кортежей атрибутов со структурой:  $\{ \text{Имя(объекта)}; \text{Ранг(объекта)}; \text{Значение}(IdP) \}$ . Если в кортеже отсутствует элемент  $\langle \text{Значение}(IdP) \rangle$ , то получаем структуру "не измеряемой величины", которой соответствует, например, упорядоченный по алфавиту список сотрудников некоторого учреждения. Если измерить рост и упорядочить тех же сотрудников по этому показателю, то получим полную структуру кортежа, соответствующую "измеряемой величине".

В рамках данной модели операцию измерения можно рассматривать как совокупность двух процедур. Первая процедура состоит в переформатировании, в соответствии с измеренным значением идентификационного числа, первоначального списка эталонов ИШ. Вторая процедура заключается в присвоении исследуемому объекту либо имени ближайшего эталона (точечное представление) с указанием числовой оценки расстояния между ними, либо прикладывание полного списка имен эталонов, выстроенных в порядке, зависящем от измеренного идентификационного числа (спектральное представление).

Поскольку технология работы со списками относится к информационным технологиям БД, то появляется реальная возможность распространить эту технологию для обработки "классических" сигналов, представляемых временными рядами наблюдений.

Идея построения подобных ИШ для решения задач обработки сигналов была показана в работах [5-9]. Синтез ИШ является неформальной, а, следовательно, неоднозначной, многовариантной процедурой. В таких условиях наиболее важной проблемой разработки ИШ является проблема выбора системы идентификационных числовых показателей, которые бы, с одной стороны, адекватно отображали на шкалу особенности исследуемых сигналов, а с другой - имели бы ясный "физический" смысл.

### Классификация средств идентификационных измерений

В основу построения средств идентификационных измерений (СИИ) положены два основных принципа:

1. Масштабная инвариантность отображения множества (сигнала)  $F(t)$  в число  $G$ , при которой  $Id[F(t)] = Id[A + BF(Ct)] = G$ , где  $Id[..]$  - операция идентификации сигнала,  $A, B, C$  - постоянные коэффициенты.
2. Эквивалентность форм характеристик сравниваемых сигналов, при которой, если  $G_1 = Id[F_1(t)]$ ,  $G_2 = Id[F_2(t)]$ , то при  $G_1 = G_2$ , имеем  $F_1(t) \equiv F_2(t)$ , где знак " $\equiv$ " означает, что эти сигналы эквивалентны в идентификационном смысле.

Аналогом данного принципа в измерительной технике является компарирование сигналов переменного тока сигналами постоянного тока, реализуемое, например, на базе электротепловых преобразователей.

Классификация СИИ представлена в таблице 1.

Тестеры идентификационных параметров (IdP-тестеры или кодеры) являются элементарными средствами идентификационных измерений. В тестерах осуществляется преобразование массива чисел в одно, идентификационное число. Алгоритм подобного преобразования служит математической моделью тестера. Этот алгоритм может быть задан либо аналитически, либо в виде некоторой программной структуры.

Таблица 1

Наименование СИИ	Функция преобразования вход-выход
Тестеры (кодеры)	Сигнал (массив) - число
	Сигнал (массив) - вектор

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

Конвертеры (декодеры)	Число - сигнал (массив)
	Вектор- сигнал (массив)
Трансдюсеры (преобразователи)	Сигнал (массив) - сигнал (массив)
Генераторы (формирующие)	Имя - сигнал (массив)

Основными требованиями к IdP-тестерам являются:

- а) независимость показаний от линейных преобразований исходного множества;
- б) однозначность отображения множеств, принадлежащих заданному диапазону изменения их имен.

Оба этих требования определяют общее правило построения любых других СИИ, которое формулируется следующим образом: "Допустимы любые операции с формой сигнала, если при этом значение идентификационного параметра не изменяется".

Тестеры являются универсальными СИИ в том смысле, что позволяют количественно оценивать форму выборочных реализаций массивов числовых данных произвольной физической природы и являются составными частями более сложных инструментов.

Эти же тестеры можно использовать для измерения формы не только временных, но и спектральных и (или) корреляционных характеристик сигналов. В этом случае получится набор из нескольких идентификационных параметров, которые могут рассматриваться как проекции некоторого идентификационного вектора.

Таким образом, можно устранить или существенно уменьшить неоднозначность, возникающую при отображении множества в одно число. Тестеры, на выходе которых формируется два и более идентификационных числа, будем называть векторными.

Конвертерами (декодерами) будем называть такие СИИ, в которых производится преобразование числа в сигнал (массив чисел). Функция преобразования конвертеров является обратной к функции преобразования IdP-тестеров. Условием реализуемости конвертеров служит принадлежность задаваемого числа диапазону изменения идентификационных чисел того IdP-тестера, который входит составной частью в структуру конвертера. Конвертер, имеющий два и более числовых входа, относится к группе векторных СИИ.

Трансдюсерами (преобразователями) называются такие СИИ, на входе и выходе которых присутствуют однородные величины, например, число - число или сигнал (массив) - сигнал (массив). В простейшем случае

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

трансдюсер представляет собой последовательное соединение IdP-тестера и конвертера. Виды (имена) сигналов на входе и выходе трансдюсера могут отличаться, но внутри его (выход IdP-тестера и вход IdP-конвертера) соблюдается условие равенства идентификационных параметров IdP-тестера и IdP-конвертера.

Генераторами (формирователями) называются такие СИИ, которые создают на своем выходе сигнал (массив), соответствующий входному имени некоторого виртуального сигнала (массива). В отличие от других СИИ, генераторы содержат, явным образом, в своей структуре базу данных. Поэтому генераторы в наиболее полном виде представляют структуру (рис. 1), называемую идентификационной шкалой.

Идентификационными характеристиками (ИХ) будем называть такие характеристики, которые связывают, аналитически или логически, значение идентификационного параметра сигнала (выходная величина) с информативным входным параметром. К основным, идентификационным можно отнести следующие характеристики:

1. Рекогнитивная (распознавательная) идентификационная характеристика (РИХ) - такая ИХ, которая связывает значение идентификационного параметра с формой сигнала. При этом сама "форма" рассматривается как непрерывная величина, задаваемая из некоторого диапазона значений. Например, периодическая система химических элементов Д. И. Менделеева является рекогнитивной ИХ (РИХ), поскольку связывает имя химического элемента (или его порядковый номер) с атомным весом (числовым идентификационным параметром) [10].

2. Частотная идентификационная характеристика (ЧИХ) - такая ИХ, в которой значение идентификационного параметра зависит от частоты входного сигнала при постоянстве его формы. Примерами частотных ИХ (ЧИХ) могут служить зависимости некоторого идентификационного параметра от числа периодов для сигналов синусоидальной, треугольной, прямоугольной и пилообразной формы. Аналогом ЧИХ является частотная характеристика электрической цепи, например, двух или четырехполюсника.

3. Эволюционная идентификационная характеристика (ЭИХ) — такая ИХ, в которой значение идентификационного параметра зависит от соотношения интенсивностей компонент, например, спектральных составляющих, сигнала. Примером ЭИХ может служить зависимость идентификационного параметра бинарной смеси сигналов, от отношения амплитуд компонент, которое может изменяться от 0 до неопределенно большого значения (в идеале — до  $\infty$ ) [11].

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

4. Репрезентационная (представительная) идентификационная характеристика (ПИХ) - такая ИХ, в которой значение идентификационного параметра зависит от объема выборки (времени наблюдения) исследуемой реализации случайного сигнала. Для периодического сигнала ПИХ определяет значение идентификационного параметра в зависимости от числа отсчетов, приходящихся на один период - при постоянстве формы входного сигнала.

5. Метрологическая идентификационная характеристика (МИХ) - такая ИХ, которая определяет характеристики погрешности оценок идентификационного параметра. МИХ соответствует метрологическим характеристикам классических средств измерений, что, с методологической точки зрения, и позволяет говорить об идентификационных измерениях, как о новом виде измерений.

Идентификационные характеристики являются, в той или иной степени, детерминированными моделями информации, переносимой выборочными реализациями сигналов. Поэтому, даже тогда, когда исследуется всего одна реализация сигнала можно говорить, с определенной долей уверенности, о достоверности, получаемой путем измерения, информации о форме сигнала. Однако, когда это, возможно, необходимо организовывать измерительный эксперимент так, чтобы получать множество оценок измеряемого параметра. Тем самым появляется дополнительная возможность повысить достоверность анализа за счет статистической обработки результатов измерений.

### **Применение средств идентификационных измерений**

В наиболее общем виде возможности идентификационных измерений можно проиллюстрировать на примере решения классификационной задачи.

Задача классификации возникает тогда, когда необходимо неизвестный сигнал отнести к той или иной группе сигналов с известными характеристиками, например, к группе либо периодических, либо случайных сигналов. При этом желательно, чтобы периодические сигналы разделялись по форме во временной области, а случайные - по форме распределения мгновенных значений (в вероятностной области).

На рис. 2 изображен виртуальный прибор (ВП), выполненный в среде LabVIEW-7 и позволяющий решить указанную задачу.

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний, метрологических поверок средств измерений

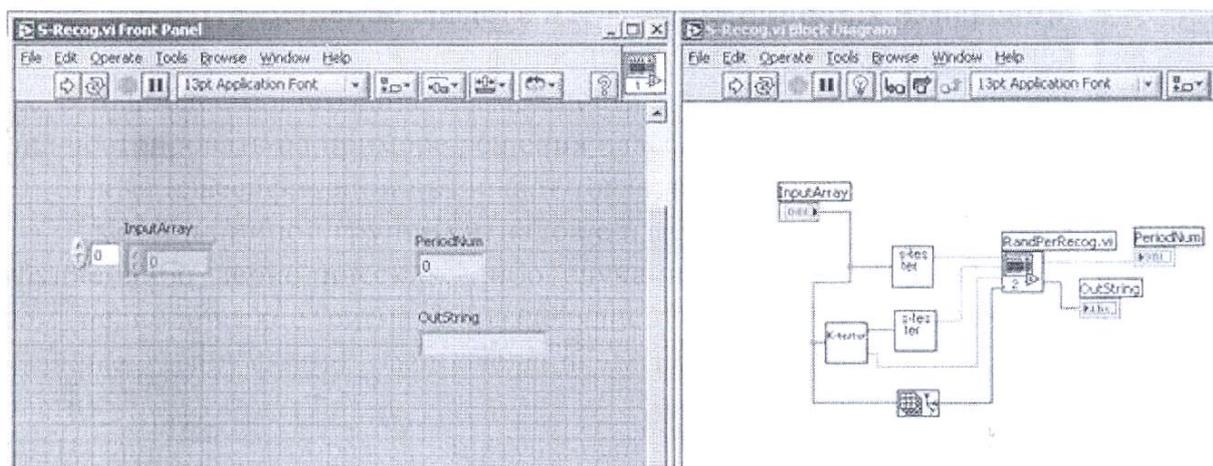


Рис. 2. Панель управления и программный код виртуального прибора, анализирующего форму сигналов

На странице программного кода (правая часть рис. 2) размещены основные инструменты: три идентификационных тестера (два S-тестера и один K-тестер) [12,13] и база данных, выполненная в виде виртуального подприбора с именем RandPerRecog.vi. На панели управления (левая часть рис. 2) расположены элементы задания входного сигнала (массива) InputArray и отображения выходной информации {OutString, PeriodNum}.

Если на входе действует периодический сигнал, то в окне OutString выводится имя сигнала, а в окне PeriodNum - его частота. При этом данный ВП различает 4 основных формы периодических сигналов (по количеству эталонов БД): прямоугольные, синусоидальные, треугольные и пилообразные.

Если на входе действует случайный сигнал, то в окне OutString выводится имя одного из следующих 8-ми распределений (по количеству эталонов БД): двумодального (2МОД), арксинусного (АРКС), равномерного (РАВН), треугольного (СИМП), нормального (НОРМ), двустороннего экспоненциального (ЛАПЛ), Коши (КОШИ) и биномиального (БИНОМ).

На рис. 3 представлена структура программного кода БД (RandPerRecog.vi), которая реализована с использованием пороговых элементов, настроенных на соответствующие диапазоны измеренных значений идентификационных параметров SI, S2 и K эталонов, а также логических устройств и переключателей, позволяющих формировать результат измерения в виде выходного суждения (имени сигнала). Границы срабатывания пороговых элементов выбраны так, чтобы обеспечить определенную устойчивость результата измерения к небольшим вариациям формы сигналов.

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний, метрологических поверок средств измерений

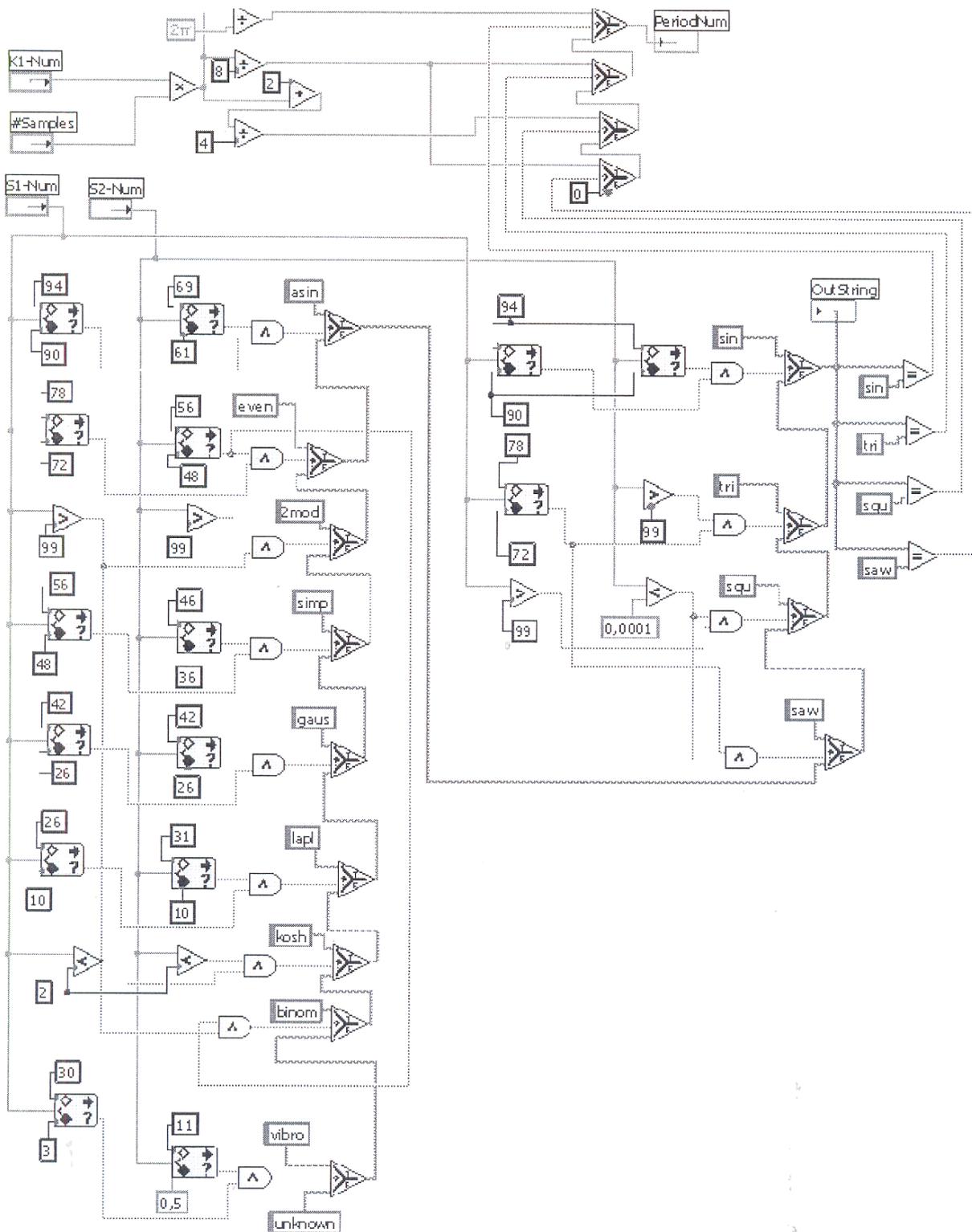


Рис. 3. Структура программного кода модуля *RandPerRecog.vi*, реализующего функцию базы данных виртуального прибора (рис. 2)

Проведенные авторами исследования идентификационных характеристик ВП подтверждают теоретические предположения о свойствах подобных систем в отношении их способности автоматически распознавать достаточно большое число классов сигналов.

## Заключение

В работе представлены основы научных исследований, связанных со становлением нового направления в теории и технологиях измерений. Содержанием этого направления является решение проблемы измеримости формы сигналов и их характеристик. В основе решения указанной проблемы лежат следующие концептуальные и теоретические положения.

Концептуальная точка зрения постулирует систему взглядов на проблему в целом и намечает общее направление решения. В данной работе за основу принята достаточно простая идеология, которая заключается в утверждении: "Любая выборочная реализация сигнала информирует о своей структуре (форме) своими распределениями - РМЗ и РВИ. Эти распределения связаны между собой, например, как компоненты единого вектора - вектора формы." Отсюда вытекает путь решения проблемы, переводящий ее с концептуального на теоретический уровень. Этот путь связан с необходимостью научиться измерять РМЗ и РВИ, т.е. предложить пути отображения множества, каковыми являются распределения, в число.

Теоретический уровень решения проблемы измеримости формы сигналов рассмотрен в работе в достаточно общем виде - как условие постоянства формы сигнала, а, следовательно, и ее отображения (числа) при изменении масштабов по оси времени и амплитуд. Данный уровень представляется с помощью принципов инвариантности и эквивалентности.

Распространение методологии измерения на решение задач распознавания образов, основанное на измеримости формы сигналов, позволяет, кроме всего прочего, формировать различные технологии поверки и аттестации виртуальных средств идентификационных измерений. Таким образом, создаются условия для промышленной стандартизации интеллектуальных систем распознавания образов.

Надеемся, что обобщение и систематизация материалов исследований в области идентификационных измерений, будет способствовать становлению и развитию новых интеллектуальных технологий обработки информации.

### Литература

- Штейнберг Ш.Е. Идентификация в системах управления. - М.: Энергоатомиздат, 1987. - 80 с.  
Пфанцагль И. Теория измерений. - М.: Мир, 1976.  
Пиотровский Я. Теория измерений для инженеров: Пер. с польск.- М.: Мир, 1989.

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

Большая Советская Энциклопедия. 3-е изд-е. - М.: Изд-во "Советская энциклопедия", 1977, с.539.

Кликушин Ю.Н. Нечеткая идентификация формы распределения вероятности. - М.: Измерительная техника, № 9, 1992.

Кликушин Ю.Н. Представление случайных сигналов с помощью принадлежностных спектров// Интернет-журнал "Журнал радиоэлектроники" -М.: ИРЭ РАН, № 2 (февраль), 2000. - <http://jre.cplire.ru>

Кликушин Ю.Н. Фрактальная шкала для измерения распределений вероятности// Интернет-журнал "Журнал радиоэлектроники" - М.: ИРЭ РАН, № 3 (март), 2000. - <http://jre.cplire.ru>

Кликушин Ю.Н. Метод фрактальной классификации сложных сигналов // Интернет-журнал "Журнал радиоэлектроники" - М.: ИРЭ РАН, № 4 (апрель), 2000. - <http://jre.cplire.ru>

Кликушин Ю.Н. Классификационные шкалы для распределений вероятности // Интернет-журнал "Журнал радиоэлектроники" - М.: ИРЭ РАН, № 11 (ноябрь), 2000. - <http://jre.cplire.ru>

Кликушин Ю.Н., Кошеков К.Т. Идентификационная шкала распределений как аналог таблицы химических элементов. - Омский Научный Вестник - Омск, Изд-во ОмГТУ, №1(34), 2006, с. 139-147.

Кликушин Ю.Н., Кошеков К.Т. Исследование эволюции бинарных смесей сигналов. - Вестник КазНУ - Алматы, Изд-во КазНУ, №1(44), 2005, с.88-93.

Кликушин Ю.Н., Данилюк Р.В. Особенности идентификационной шкалы S-типа. - Омский Научный Вестник - Омск, Изд-во ОмГТУ, №1(34), 2006, с. 135-138.

Кликушин Ю.Н. Количественная оценка свойств "регулярности-хаотичности" сигналов// Интернет-журнал "Журнал Радиоэлектроники" - М.: ИРЭ РАН, № 10 (октябрь), 2006 г.- <http://jre.cplire.ru>

Авторы: Кликушин Юрий Николаевич, д.т.н., профессор кафедры "Информационно-измерительная техника" Омского государственного технического университета, e-mail: [iit@omgtu.ru](mailto:iit@omgtu.ru), Кобенко Вадим Юрьевич, e-mail: [kobra\\_vad@rambler.ru](mailto:kobra_vad@rambler.ru)

## **Представление моделей сигналов в системе идентификационных параметров**

### **ВВЕДЕНИЕ**

Начиная с 2000 года, в Журнале радиоэлектроники стали появляться публикации [1-10], отражающие развитие различных аспектов нового научного направления в теории и технике измерений - идентификационных измерений (ИИ) сигналов. Обобщение этих публикаций представлено, в частности, в монографиях [11,12].

Содержанием идентификационных измерений является измерение формы и вариабельности сигналов. Под понятием «форма» понимается вид распределения мгновенных значений (PMЗ) выборочной реализации

сигнала. Понятие вариабельности учитывает характер распределения значений временных интервалов (РВИ) сигнала, формируемых при пересечении сигналом некоторого, например нулевого, уровня.

Основная идея вышеупомянутых работ состоит в том, что различные проявления свойств сигналов, описываемых понятиями формы и вариабельности, могут быть выражены количественно, в виде особых, идентификационных чисел. Идентификационные числа (параметры) обладают свойствами масштабной инвариантности, идентификационной эквивалентности и согласованной упорядоченности. Для теории измерений такой подход позволил обнаружить, ранее неизвестные, закономерности, связывающие между собой различные формы сигналов. Количественные соотношения между распределениями мгновенных значений сигналов разной формы получили название идентификационных шкал (ИШ). Примером ИШ может служить таблица 1, в которой имена распределений случайных сигналов оцифрованы с помощью, так называемого, S-тестера [13].

При этом, для обозначения случайных сигналов были использованы сокращения, принадлежащие словарю имен симметричных распределений: двумодального (2mod), арксинусного (asin), равномерного (even), треугольного (simp), нормального (gaus), двустороннего экспоненциального (lapl) и Коши (kosh).

Таблица 1

**Идентификационная характеристика S-тестера**

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний, метрологических поверок средств измерений

IdP=S N=10000,L=100	Вид распределения случайного сигнала						
	2mod	asin	even	simp	gaus	lapl	kosh
Rank	1	2	3	4	5	6	7
Mean (S),	1	0,923	0,75	0,51	0,317	0,153	0
Error (p=0,95),%	0	0,56	1,07	2,08	9,5	18,3	167

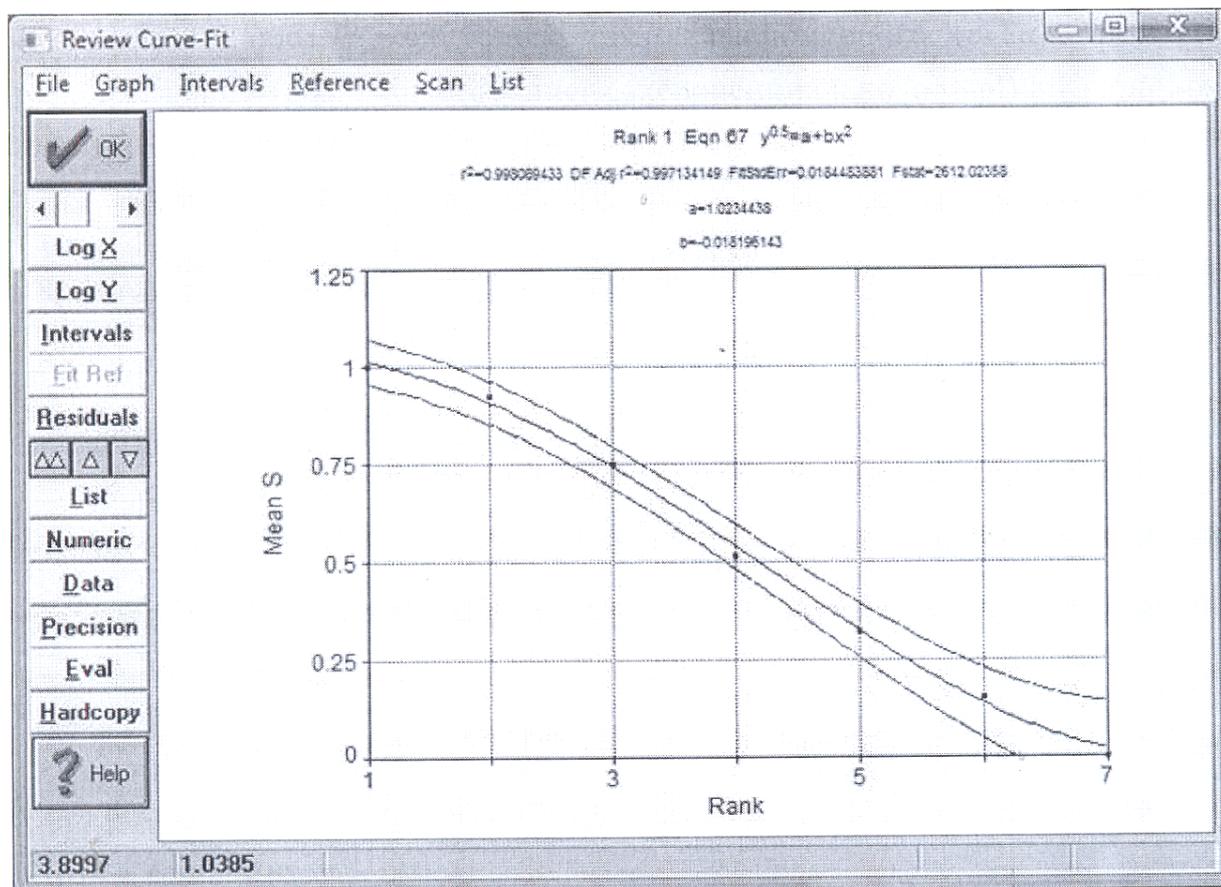


Рис. 1. Представление ИШ в виде ранговой зависимости.

Регулярный характер ИШ служит основой для ее аналитического описания (рис. 1), что, в свою очередь, позволяет вести интерполяцию положения измеряемого распределения между оцифрованными отметками шкалы.

Хотя в настоящее время в области ИИ создан достаточный научный задел для того, чтобы перейти на уровень конкретных технических решений, развитие собственно теории ИИ наталкивается на нерешенность одной важной проблемы. Эта проблема связана с отсутствием описания базовой модели сигнала, выраженной в определенной системе идентификационных параметров.

Целью данной работы является разработка идентификационной модели сигналов, а также физическая интерпретация основных параметров этой модели, которая учитывает характер (случайный, периодический) сигнала и форму распределения его мгновенных значений.

## ОСНОВЫ ТЕОРИИ

Для удобства понимания задачи, рассмотрим наиболее простую классическую модель сигнала, как вектора, вращающегося в комплексной плоскости [14]. Длина вектора определяется действующим значением сигнала. Исходное положение вектора задается начальной фазой сигнала, а скорость вращения – циклической (круговой) частотой. Для дальнейшего анализа достаточно взять временную зависимость одной из проекций вектора сигнала, например, на мнимую ось:

$$X(t) = X_m \sin(\omega t + \theta), \quad (1)$$

где:  $X_m$  - амплитуда,  $\theta$  - начальная фаза,  $\omega$  - круговая частота,  $t$  - время, являющееся в (1) независимой переменной. Остальные величины ( $X_m$ ,  $\theta$  и  $\omega$ ) называются параметрами сигнала, из которых только параметр ( $\omega$ ) скорости вращения является составным:

$$\omega = 2\pi F, \quad (2)$$

определяемым произведением некоего коэффициента ( $2\pi$ ) на линейную частоту ( $F$ ). Поскольку линейная частота измеряется в герцах (Гц) или в  $1/c$ , а коэффициент ( $2\pi$ ) интерпретируется как угол, на который поворачивается вектор сигнала за время  $t = T = 1/F$  и измеряется, соответственно, в радианах, то угловая частота ( $\omega$ ) имеет размерность рад/с.

Хотя формула (1) называется аналитической моделью сигнала  $X(t)$ , она содержит очень важный лингвистический компонент, представленный термом «SIN», явно указывающим на такую форму сигнала, для которой справедливо, в частности, и соотношение (2).

Исходя из этого, введем первое обобщение формулы (2), как соотношения, связывающего численные оценки частоты ( $F$ ) и формы ( $A$ ):

$$\omega = AF. \quad (3)$$

Физический смысл обобщения (3) состоит в том, что оно постулирует зависимость угловой скорости вращения вектора не только от частоты, но и от формы сигнала. В частности, векторы двух сигналов прямоугольной и синусоидальной формы, имеющие одинаковую частоту, будут вращаться с разной скоростью. Размерность коэффициента  $A$ , назовем его параметром формы, получается естественным образом, как  $[A] = [\omega]/[F] = [\text{радиан}]$ .

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

Второе, предлагаемое обобщение связано с записью математической модели вектора сигнала, по аналогии с формулой (1), как:

$$X(t) = X_m FRM(\omega t + \theta) = X_m FRM(A_{frm} Ft + \theta), \quad (4)$$

где: лингвистический терм «FRM» обозначает некое, стандартизированное имя сигнала (как, например, SIN - для синусоидального сигнала). При этом, между именем (FRM, сокращение от FORM) сигнала и численной оценкой ( $A_{frm}$ ) его формы существует логическая, а не аналитическая (т.е. задаваемая формулой) связь.

*Познавательное значение модели (4) состоит в том, что она, во-первых, в явном виде указывает на те, дополнительные (кроме  $X$ ,  $F$  и  $\theta$ ) параметры ( $FRM$ ,  $A_{frm}$ ), какие надо знать, чтобы полностью описать сигнал. Во-вторых, с помощью этой модели объединяются процедуры идентификации и измерения. В-третьих, степень предлагаемого обобщения модели (4) такова, что позволяет описать не только все множество периодических сигналов сложной (не только синусоидальной) формы, но и случайные сигналы с произвольной формой распределения вероятностей, о чем будет сказано ниже. В-четвертых, изменяется физическая интерпретация частоты  $F$ . В-пятых, модель (4) позволяет сформировать алгоритм измерения формы сигналов.*

Для решения последней задачи запишем уравнение (4) относительно параметра формы ( $A_{frm}$ ), полагая, что сигнал наблюдается за время, равное периоду  $T_0$ , а начальная фаза равна 0 ( $\theta = 0$ ). Тогда, имеет место равенство:

$$A_{frm} = \frac{1}{F_0 T_0} FRM^{-1} \left[ \frac{X(t)}{X_m} \right], \quad (5)$$

где:  $FRM^{-1}$  - имя функции, обратной к FRM. Например, если  $FRM = SIN$ , то  $FRM^{-1} = ASIN$ . При измерении, значения ( $A_{frm}$ ) усредняются за период, поэтому интегральное значение параметра формы будет определяться формулой (6):

$$\bar{A} = \int_0^{T_0} FRM^{-1} \left[ \frac{X(t)}{X_m} \right] dt. \quad (6)$$

При выводе этой формулы учтено, что произведение  $F_0 * T_0 = 1$ . Поскольку на практике преимущественно используются цифровые методы измерения, источником информации для которых служат дискретные

выборочные реализации сигналов, то, в этом случае, оценку параметра формы следует проводить, используя формулу (7):

$$\bar{A} = \frac{1}{F_0 N} \sum_{i=1}^{i=N} FRM^{-1} \left[ \frac{x(i)}{X_m} \right], \quad (7)$$

где:  $x(i)$  - значение  $i$ -го отсчета дискретной выборки,  $N$  - объем выборки. Зная частоту  $F_0$ , амплитуду  $X_m$  и имя FRM формы сигнала, можно оценить числовое значение параметра формы  $A$  и сопоставить между собой пару  $A$  - FRM, образовав, тем самым, идентификационное соотношение.

Однако, сложность состоит в том, что, чаще всего,  $A$  и FRM являются априорно неизвестными величинами. Поэтому необходимо найти какой-нибудь путь независимого определения, либо значения  $A$ , либо имени FRM сигнала по той же выборке. Для этого, воспользуемся результатами работы [15], в которой на основе анализа фрактальной модели роста популяции (модель Ферхюльста [16]), была предложена формула непосредственного оценивания значения круговой частоты  $\omega$  в виде:

$$K = \frac{|\overline{\Delta X(t)}|}{|\overline{X(t)}|} \cong \omega = \bar{A} * F_0. \quad (8)$$

В нее входят следующие параметры:  $|\overline{\Delta X(t)}|$  - среднее значение модуля приращений сигнала  $X(t)$ ,  $|\overline{X(t)}|$  - среднее значение модуля сигнала. Если известна аналитическая форма записи входного сигнала  $X(t)$ , то можно получить (точно или приближенно) формулу для расчета параметра  $K$ . Так, например, для синусоидального сигнала, модель которого представлена формулой (1), параметр  $K$  равен круговой частоте  $\omega$  входного сигнала

$$K = \omega = \overline{A_{\sin}} F_0,$$

где параметр  $A_{\sin} = 2\pi$  определяет синусоидальную форму сигнала.

Третье обобщение связано с интерпретацией величины  $F$ , которая в классической модели имеет смысл линейной частоты. В частности, при анализе выборочных реализаций случайных сигналов, имеющих один и тот же закон распределения вероятностей ( $\bar{A} = const$ ), величина  $F_0$  в (8) будет случайной величиной. Чтобы оценить математическое ожидание этой случайной величины, по совокупности реализаций  $L$ , можно использовать, например, формулу для среднеарифметического значения:

$$F_c = \frac{1}{L} \sum_{i=1}^L F_{0i}. \quad (9)$$

В дальнейшем, величину  $F_c$  будем называть характеристической частотой сигнала, и использовать ее в моделях (4 и 8), вместо линейной частоты  $F$ . Физический смысл понятия «характеристическая частота» состоит в том, что для периодических сигналов ее значение совпадает с реальной, физической частотой. Для случайных сигналов, характеристическая частота является оценкой частоты появления экстремальных значений за время наблюдения. Только для постоянных во времени сигналов характеристическая частота равна 0.

Формула (8) удобна еще и тем, что содержит информацию об амплитуде сигнала в виде средневывпрямленного значения. В свою очередь, амплитудное и средневывпрямленное значения связаны с формой сигнала [17], что в общем виде может быть выражено соотношением:

$$X_m = 0,25A_{frm} \overline{|X(t)|}. \quad (10)$$

Таким образом, чтобы полностью определить идентификационную модель (4) сигнала (при  $\theta=0$ ), необходимо:

1) Анализировать не только сам сигнал  $X(t)$ , но и его приращения  $\Delta X(t)$ .

2) Измерить средневывпрямленное значение сигнала  $X_m = \overline{|X(t)|}$  и использовать его как оценку амплитуды (10).

3) Измерить средневывпрямленное значение приращений сигнала  $\overline{|\Delta X(t)|}$  и по формуле (8) оценить параметр  $K$  (круговую частоту  $\omega$ ).

4) Отделить параметр формы  $\overline{A_{frm}}$  от характеристической частоты  $F_c$  в (8), для чего:

- упорядочить (отсортировать) выборочную реализацию сигнала  $X(t)$ , например, по возрастанию  $U = \text{Sort}[X(t)]$ ;
- по формуле (8) оценить параметр  $K = K_s$  для сортированной функции  $U$ , при этом определится параметр формы  $(\overline{A_{frm}})$ , так как для сортированной функции сигнала значение круговой частоты ( $K_s$ ) от характеристической частоты не зависит ( $F_c = 1$ );
- оценить отношение круговых частот для несортированной и сортированной функций

$$\alpha = \frac{\omega}{\omega_{31}} = \frac{K}{K_3} = \frac{A_{frm} * F_c}{A_{frm}} = F_c, \quad (11)$$

которое будет равно характеристической частоте.

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

5) Установить логическое соответствие для пары  $\overline{A_{frm}} \rightarrow FRM$ , используя идентификационную шкалу (ИШ) сигналов.

6) Записать уравнение идентификационной модели сигнала в виде (4), подставив в нее числовые и лингвистические значения параметров.

В представленном алгоритме построения идентификационной модели сигналов присутствует очень важная процедура 5), выполнение которой требует использования ИШ сигналов.

В отличие от ИШ S-типа (табл. 1, рис. 1), в данном случае предлагается использовать шкалу FRaSH-типа [18], которая состоит из двух компонент:  $\overline{A_{frm}} \rightarrow FRM$  и  $F_c \rightarrow FRM$  (табл. 2).

Таблица 2

Идентификационная шкала распределений симметричных случайных сигналов

N=10000, L=100	Вид распределения случайного сигнала						
	2mod	asin	even	simp	gaus	lapl	\kosh
Rank	1	2	3	4	5	6	7
$A_{frm}$	4	6,28	8	12	19	36	3000
$F_c$	2500	2027	1667	1180	736	416	6
Аналог	squ	sin, cos	tri, saw				

Численные оценки идентификационных параметров  $A_{frm}$ ,  $F_c$  получены усреднением 100 выборочных реализаций случайных сигналов, объема  $N = 10000$ . В строке «Аналог» указаны имена периодических сигналов прямоугольной (squ), синусоидальной (sin), косинусоидальной (cos), треугольной (tri) и пилообразной формы, имеющих такие же значения параметра формы, как и у случайных сигналов с двумодальным ( $A_{2mod} = A_{squ}$ ), арксинусным ( $A_{asin} = A_{sin} = A_{cos}$ ) и равномерным ( $A_{even} = A_{tri} = A_{saw}$ ) распределениями.

На рис 2. представлены ранговые (порядковые) зависимости формы и характеристической частоты случайных сигналов.

Условие, при котором два разных сигнала имеют одинаковую оценку параметра формы, будем называть идентификационной эквивалентностью. На рис. 3 показан пример идентификационного моделирования периодического и случайного сигналов, имеющих одинаковое (asin) распределение мгновенных значений и, следовательно, эквивалентных в отношении РМЗ.

РАНГОВЫЕ ЗАВИСИМОСТИ ФОРМЫ (A<sub>form</sub>) и ХАРАКТЕРИСТИЧЕСКОЙ ЧАСТОТЫ СЛУЧАЙНЫХ СИГНАЛОВ

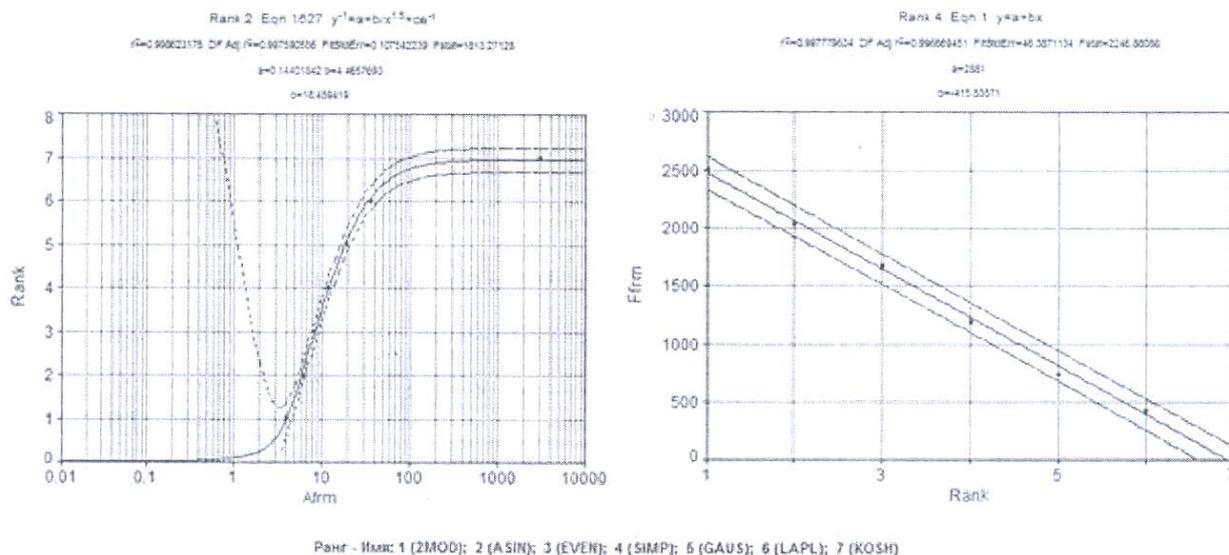


Рис. 2. Ранговые зависимости формы и характеристической частоты сигналов

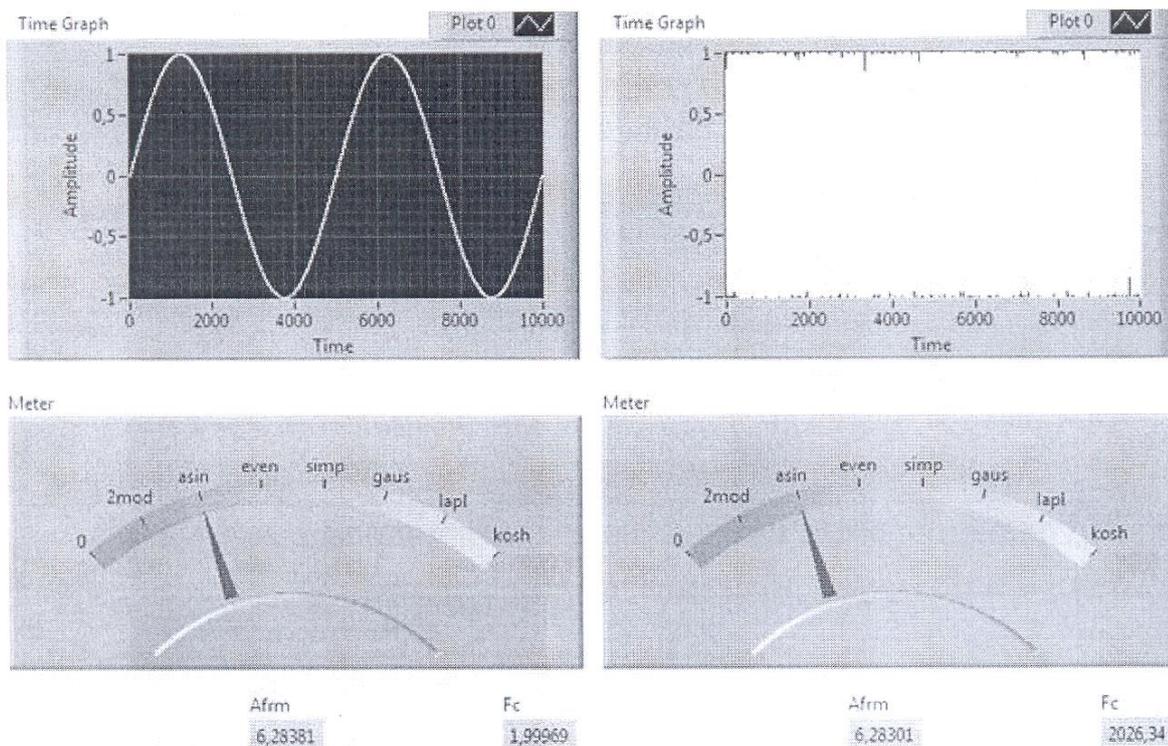


Рис. 3. Пример идентификационного моделирования периодического (слева) и случайного сигналов, имеющих одинаковое (asin) распределение.

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

Идентификационные модели рассмотренных в данном примере сигналов, с учетом объема выборки ( $N = 10000$ ) и использования словаря имен периодических сигналов, могут быть записаны следующим образом:

$$X_{\text{dãã}}(t) = 0,64 * 0,5\pi * \sin(2\pi * 2t) = \sin(2\pi * 0,0002t), \quad t = 0 \dots N,$$

$$X_{md}(t) = 0,64 * 0,5\pi * \sin(2\pi * 2027t) = \sin(2\pi * 0,2027t), \quad t = N * RND,$$

где: RND - равномерно распределенная в диапазоне 0..1 случайная величина.

Следовательно, эти два сигнала эквивалентны в отношении амплитуды и формы, но отличаются, во-первых, по значению характеристической частоты и, во-вторых, по общему виду зависимости  $X(t)$ . Чтобы увеличить степень общности сигналов в отношении эквивалентности, мысленно сделаем частоту периодического сигнала, равной характеристической частоте случайного.

Эквивалентность сигналов, наступающая при равенстве характеристических частот, может служить критерием разделения классов периодических и случайных сигналов. С учетом того, что реальные сигналы представлены своими выборочными реализациями, принадлежность сигнала, либо к классу периодических, либо к классу случайных, можно записать в виде условия:

$$IF \Omega = A_{frm} * F_c \geq N \text{ THEN } X(t) = X_{md}(t) \text{ ELSE } X(t) = X_{\text{dãã}}(t),$$

где: N - объем выборочной реализации сигнала.

Данный критерий ( $\Omega$ ) имеет физический смысл круговой частоты, при которой периодический сигнал выглядит как случайный. При этом можно оценить такой важный параметр дискретизированного сигнала, как разрешающая способность:

$$R = N / F_c,$$

которая для рассматриваемого примера составляет  $R = 10000 / 2027 = 5$  отсчетов на период сигнала.

Учитывая вышеизложенное, обобщенная идентификационная модель сигналов может быть формально представлена через физические параметры как:

$$X(i) = X_{frm} FRM \left( \frac{A_{frm} F_c}{N} i \right) = \begin{cases} i = RND; 0 \leq RND \leq 1; F_c = F_{frm} : \frac{A_{frm} F_c}{N} \geq 1; \\ i = 0, 1, 2, 3, \dots, N; F_c = F_0 : \frac{A_{frm} F_c}{N} < 1, \end{cases} \quad (12)$$

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

где: RND - равномерно распределенная случайная величина;  $F_{frm}$  - характеристическая частота  $F_c$  случайного сигнала, зависящая от формы его распределения (табл. 2);  $F_0$  - характеристическая частота  $F_c$  периодического сигнала, определяемая его источником.

Из (12) следует, что, во-первых, случайные и периодические сигналы отличаются областями определения. Во-вторых, эти классы сигналов имеют различные по физическому смыслу независимые переменные, задающие условное время:  $0 \leq RND \leq 1$  (для случайного сигнала) и  $0 \leq i \leq N$  (для периодических сигналов).

В-третьих, случайные сигналы имеют постоянное значение характеристической частоты ( $F_{frm}$ ) для заданной формы распределения, в то время, как частота периодического сигнала (F) определяется источником этого сигнала. При этом, все случайные сигналы, образующие ИШ (табл. 2), не являются независимыми, а связаны - нелинейно по форме, но линейно по характеристической частоте (рис. 2).

Чтобы иметь возможность отличать случайные сигналы от периодических, по формальной записи модели (12), примем следующее правило:

$$IF X(t) = RND THEN FRM = DName[X(t)] ELSE FRM = DName^{(-1)}[X(t)].$$

Другими словами, если сигнал случайный, то лингвистический терм FRM получает имя распределения (DName [X(t)]) из соответствующего набора имен оцифрованных отметок ИШ (табл. 2). Поскольку словарь имен периодических сигналов весьма ограничен, а самих сигналов может быть множество, то для обозначения периодического сигнала используется имя распределения случайного сигнала, которое дополняется меткой (-1), обозначающей имя, обратное к имени распределения.

В качестве примера, на рис. 4 показаны формальные записи сигналов, изображенных на рис. 3. В этих записях указаны также области определения независимых переменных и классификационные признаки (PER, RND) сигналов.

```
String
X(i)= 1,0Asin(-1)((6,28 2/10000)i), 0<i<N, PER
String
X(i)= 1,0asin(6,28 2055RND), 0<RND<1
```

Рис. 4. Примеры формальной записи идентификационных моделей периодического (вверху) и случайного (внизу) сигналов

## МЕТОДИКА И ИНСТРУМЕНТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для экспериментальной проверки правильности теоретических положений, сформулированных в предыдущем разделе, был разработан в среде LabVIEW-7.1 виртуальный прибор (ВП), структурная схема которого показана на рис. 5. Данный ВП содержит: универсальный генератор (UniGen) сигналов; блок идентификационных измерений (Identification Block); блок усреднения (Mean) и блок синтеза модели (Model Synthesis Block). Выходная информация представляет собой запись, аналогичную формуле (12) и содержащую в правой части следующие компоненты: оценку амплитуды сигнала (по формуле (10)); имя (FRM) формы распределения; оценку параметра формы  $A_{frm}$ ; оценку характеристической частоты  $F_c$ ; объем (N) выборки (через правый бэкслэш); обозначение независимой переменной (i - для периодических и RND - для случайных сигналов); область определения независимой переменной и классификационный (PER, RND) признак сигнала.

В цикле For-Next генератор формирует L - реализаций сигнала, объема N. Блок идентификационных измерений оценивает параметры сигналов. В устройстве Mean происходит усреднение измеренных значений параметров по числу реализаций. В блоке синтеза модели по усредненным оценкам идентификационных параметров проводится логический анализ и формирование выходного суждения в виде записи уравнения модели. В левой нижней части рис. 5 даны примеры записей 7-ми разновидностей случайных сигналов и 3-х разновидностей - периодических. В правой нижней части помещен пример анализа случайного сигнала с экспоненциальным распределением, имя которого отсутствует в ИШ (табл.2).

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний, метрологических поверок средств измерений

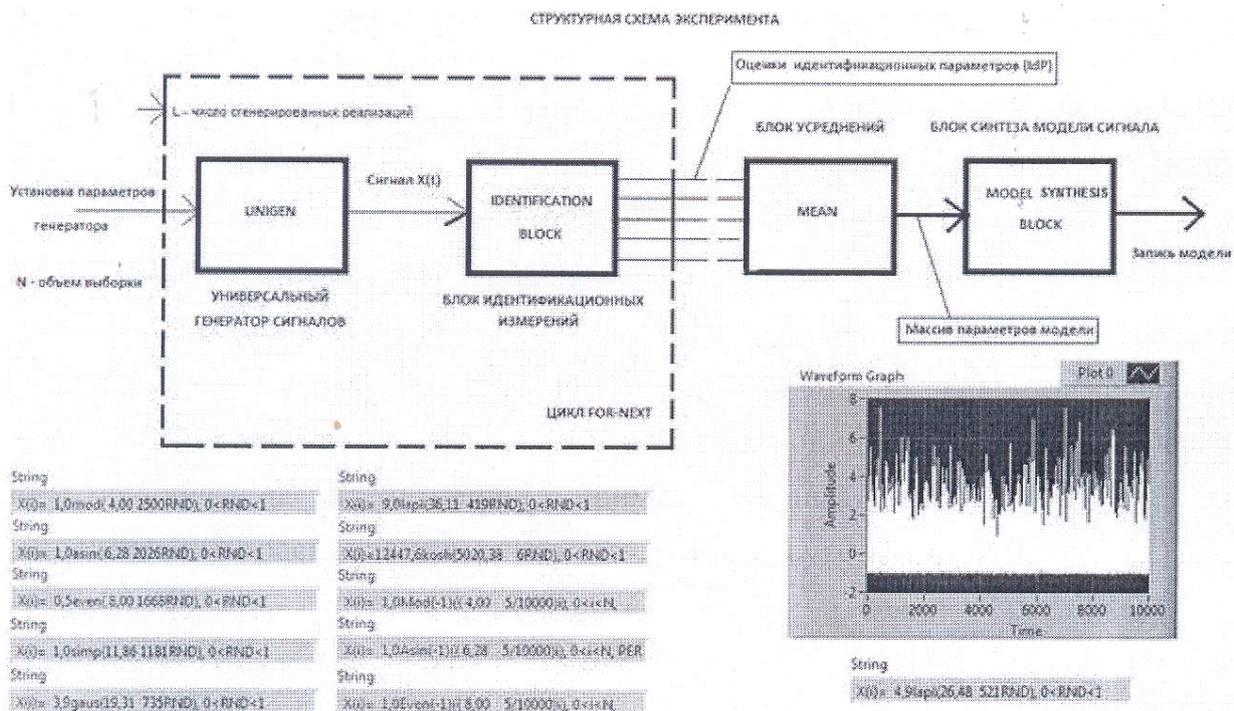


Рис. 5. Структурная схема ВП и примеры его работы

### РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Целью экспериментальных исследований являлось выяснение особенностей реакции системы моделирования (рис. 5) на различные типы сигналов. При этом, логический модуль системы настраивался на распознавание только двух классов сигналов: симметричных случайных и периодических. Для этих сигналов выходные записи полностью соответствовали генерируемым выборкам, что подтверждается результатами моделирования, помещенным на рис. 5.

Первая особенность связана с зависимостью вида модели от постоянной составляющей входного сигнала.

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

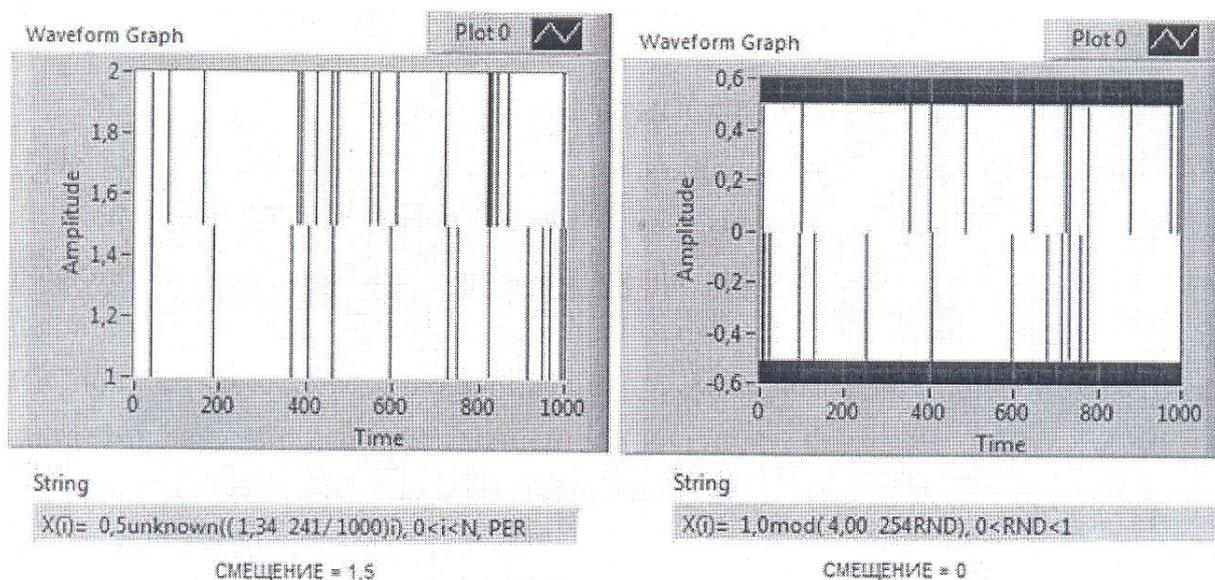


Рис. 6. Пример влияния смещения сигнала на вид модели.

В частности, показанный на рис. 6, пример иллюстрирует факт качественных отличий в записях моделей одного и того же случайного сигнала с двумодальным распределением. Сигнал на левом графике имеет смещение и классифицируется как неизвестный, периодический. У сигнала на правом графике смещение отсутствует, и он классифицирован правильно - как случайный сигнал. Причиной данного эффекта является зависимость средневывпрямленного значения сигнала от постоянной составляющей, что, в свою очередь, непосредственно влияет (по формуле (8)) на значение оценок параметра формы и характеристической частоты. Устранить причину неадекватности достаточно просто. В обоих случаях, это достигается включением на входе блока идентификационных измерений, либо специального компенсационного модуля (при реализации на программном уровне), либо разделительных конденсаторов (при реализации на аппаратном уровне).

Вторая особенность, проявляющаяся в неадекватном отображении входного сигнала его моделью, связана с внутренней структурой некоторых типов сигналов. Наиболее отчетливо это видно на примере моделей фрактальных сигналов (рис. 7), показатель Херста которых изменяется в диапазоне от 0 до 1.

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

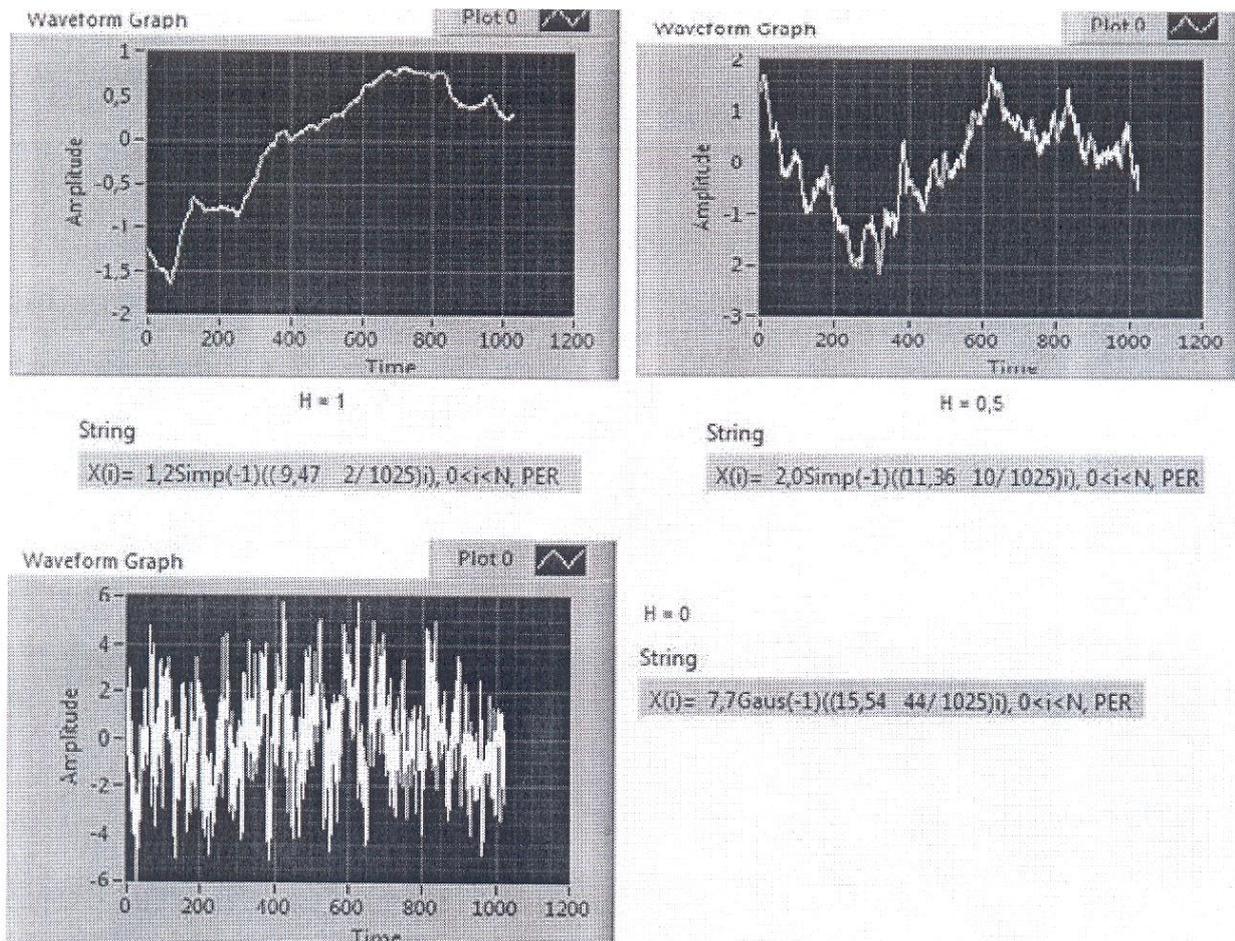


Рис. 7. Примеры фрактальных сигналов с разными значениями показателя Херста (H=1, H=0,5, H=0).

Хотя все эти сигналы выглядят, как случайные, системой они идентифицируются, как периодические. Аналогичный эффект наблюдается для музыкальных и некоторых случайных сигналов (рис. 8). Можно предположить, что такое поведение системы связано с ее способностью выявлять наличие явных или латентных трендов и периодичностей.

Третья особенность вытекает из сравнения моделей сигналов, представленных на рис. 8. Эти сигналы имеют общую область определения ( $0 < i < N$ ) и одинаковый классификационный признак (PER), причисляющий их к группе периодических сигналов.

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

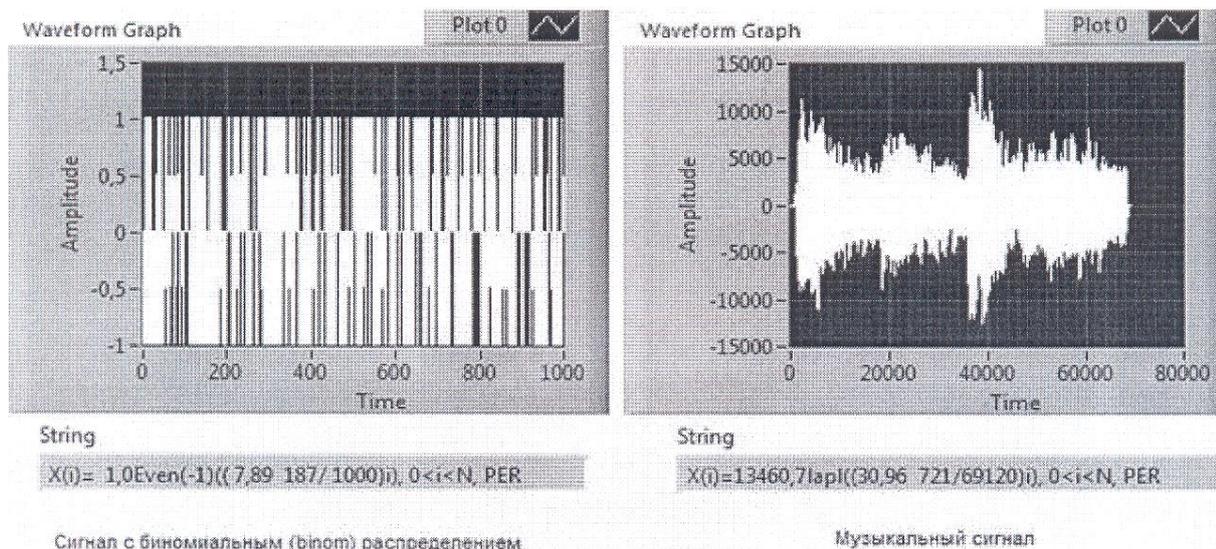


Рис. 8. Примеры сигналов, содержащих скрытые периодичности.

Отличие проявляется в разных типах словарей имен, служащих для обозначения лингвистического термина FRM. В частности, для обозначения случайного сигнала с биномиальным распределением использован словарь имен периодических сигналов (Even(-1)), а для музыкального сигнала - словарь имен случайных сигналов (Iapl). Это обстоятельство указывает на существенную разницу, заметную даже визуально, в структуре сигналов. Поэтому, деление сигналов только на 2 группы: периодических и случайных, является явно не достаточным.

### ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ

В связи с новыми знаниями о моделях сигналов, полученных на основе развития теории идентификационных измерений, принятые в современной теории сигналов классификационные построения нуждаются в существенном уточнении и, в некоторых случаях, переработке. Наши предложения сводятся к следующему.

Во-первых, вместо понятий «случайный сигнал» и «периодический сигнал» использовать, более широкие по смыслу, понятия «хаотический сигнал» и «регулярный сигнал». Это связано с тем, что понятие регулярности включает в себя понятия, описывающие, как периодические сигналы, так и сигналы, имеющие тренды. Количественным показателем степени регулярности-хаотичности следует считать численную оценку угловой скорости вращения (8) идентификационного вектора сигнала ( $0 \leq K \leq 2$ ). При  $K = 0$ , имеем «абсолютно регулярный сигнал», примером которого может служить сигнал  $X(-\infty < t < +\infty) = const$ , а при  $K = 2$  - «абсолютно хаотичный», примером которого может служить случайный сигнал, имеющий плотность вероятности в виде  $\delta$ -функции. Если  $K = 1$ ,

это означает, что весовое соотношение между регулярностью и хаотичностью равно 50% (сигнал одновременно и «не регулярный», и «не хаотический»). В качестве модели такого представления сигналов, может быть использована, например, принадлежностная (нечеткая [19]) идентификационная шкала типа:

$$\mu(K) = 0,5[1 + \cos(\pi K)], \quad (13)$$

где:  $\mu(K)$  - функция принадлежности.



Рис. 9. Принадлежностная идентификационная шкала свойств регулярности-хаотичности.

В этом случае, естественно делить сигналы по варибельности не на два, а на четыре, класса (рис. 9).

Границы раздела классов не обязательно должны быть результатом равномерного разбиения диапазонов. Вполне допустимы границы, назначенные соглашением экспертов и учитывающие специфику некоторой предметной области. Например, можно установить границы, ограничивающие области 2 и 3 (рис.9) и расширяющие, соответственно области 1 и 4. Интересен также вариант введения пятого класса, как переходного между областями 2 и 3. В этом случае удастся ввести количественную оценку понятия «неопределенность», как такого свойства сигнала, при котором степень его принадлежности понятиям «регулярность» и «хаотичность» равна нулю. Примерами таких, «неопределенных» сигналов служат сигналы, изображенные на рис.10. Хотя данные сигналы входят в один и тот же нулевой (null) класс варибельности, они имеют разные параметры амплитуды, формы, характеристической частоты и разрешения.

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний, метрологических поверок средств измерений

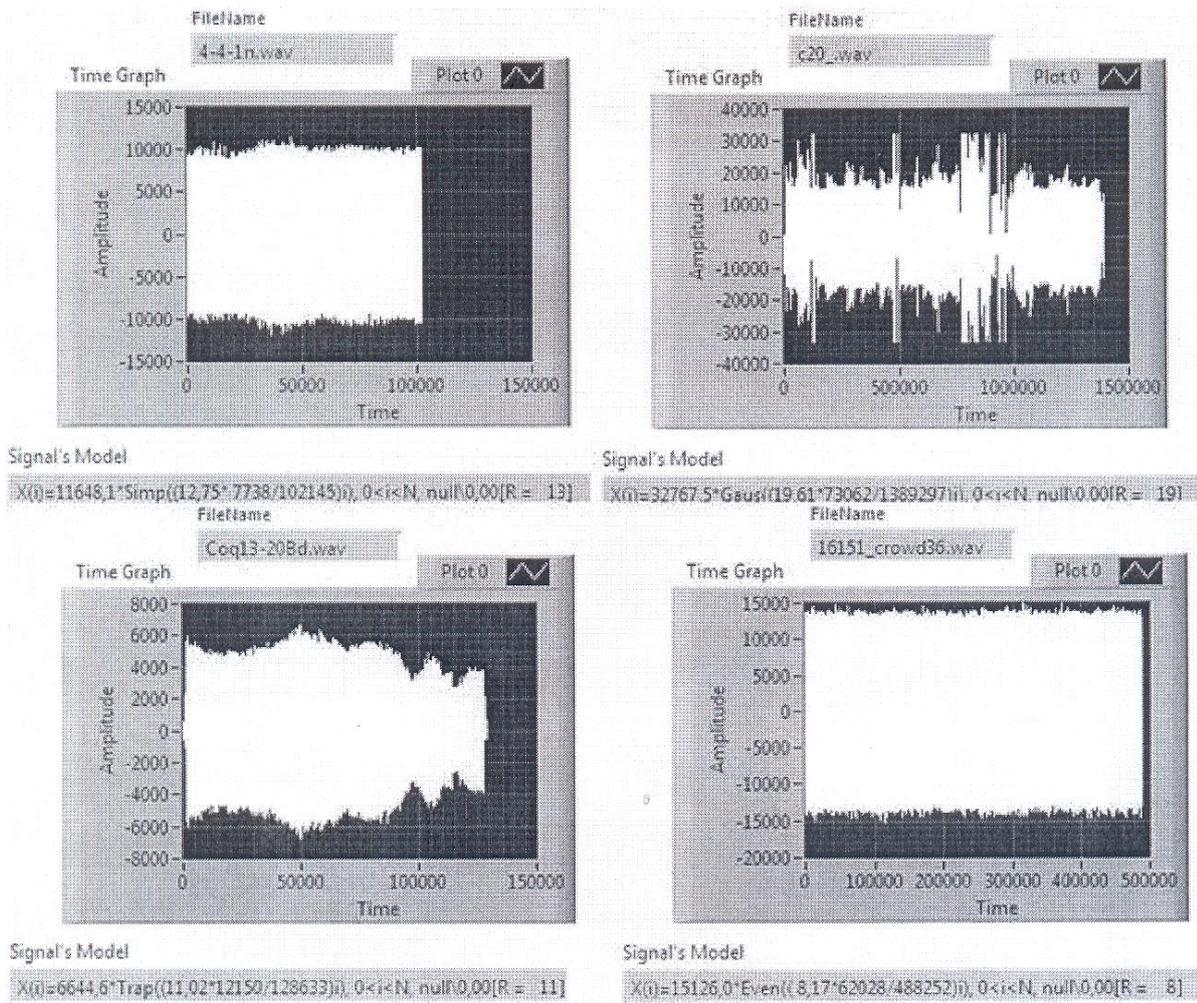


Рис. 10. Примеры сигналов, имеющих нулевую степень принадлежности по шкале варибельности (рис. 9).



В-третьих, свойство эквивалентности регулярных и хаотических сигналов по моделям (12,13) указывает на то, что известную задачу цифровой обработки по дискретизации сигналов, необходимо решать с учетом формы сигналов. При этом справедлива следующая закономерность: чем сложнее форма сигнала, тем больше (по сравнению с теоремой Котельникова) должно быть соотношение между частотой сигнала и частотой дискретизации. В частности, проведенные расчеты разрешающей способности показывают, что для синусоидального сигнала частота дискретизации должна примерно в 5-6 раз превышать его физическую частоту. При данных условиях, сигнал может быть восстановлен с требуемой точностью полиномом первой степени. К подобному же выводу эмпирическим путем пришли разработчики цифровых сверхвысокочастотных осциллографов известной фирмы TEKTRONIX [20].

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Кликушин Ю.Н. Представление случайных сигналов с помощью принадлежностных спектров// Интернет-статья, М.: Журнал Радиоэлектроники, ИРЭ РАН, № 2 (февраль), 2000 г. <http://jre.cplire.rU/jre/feb00/4/text.html>
2. Кликушин Ю.Н. Фрактальная шкала для измерения распределений вероятности// Интернет-статья, М.: Журнал Радиоэлектроники, ИРЭ РАН, № 3 (март), 2000 г. <http://jrexplire.rU/jre/mar00/2/text.html>
3. Кликушин Ю.Н. Метод фрактальной классификации сложных сигналов// Интернет-статья, М.: Журнал Радиоэлектроники, ИРЭ РАН, № 4 (апрель), 2000 г. <http://jre.cplire.rU/jre/apr00/1/text.html>
4. Кликушин Ю.Н. Классификационные шкалы для распределений вероятности// Интернет-статья, М.: Журнал Радиоэлектроники, ИРЭ РАН, № 11 (ноябрь), 2000 г. <http://jre.cplire.rU/jre/nov00/4/text.html>
5. Кликушин Ю.Н. Количественная оценка свойств "регулярности-хаотичности" сигналов// Интернет-статья, М.: Журнал Радиоэлектроники, ИРЭ РАН, № 10 (октябрь), 2006 г. <http://jre.cplire.ru/jre/oct06/1/text.html>
6. Кликушин Ю.Н., Кобенко В.Ю. Основы идентификационных измерений// Интернет-статья, М.: Журнал Радиоэлектроники, ИРЭ РАН, № 11 (ноябрь), 2006 г. <http://jrc.cplire.rU/jre/nov06/2/text.html>
7. Кликушин Ю.Н., Кошеков К.Т. Классификатор сигналов// Интернет-статья, М.: Журнал Радиоэлектроники, ИРЭ РАН, № 10 (октябрь), 2007 г. <http://jrc.cplirc.rU/jrc/oct07/3/text.html>

8. Кликушин Ю.Н. RGB-шкала для измерения распределений// Интернет-статья, М.: Журнал Радиоэлектроники, ИРЭ РАН, № 3 (март), 2008 г. <http://jre.cplire.ru/jre/marQ8/3/text.html>
9. Кликушин Ю.Н. Идентификационный метод цифровой обработки сигналов// Интернет-статья, М.: Журнал Радиоэлектроники, ИРЭ РАН, № 5 (май), 2010 г. <http://jre.cplire.ru/jre/may10/5/text.html>
10. Кликушин Ю.Н., Кошекова Б.В. Идентификационный алгоритм децимации сигналов// Интернет-статья, М.: Журнал Радиоэлектроники, ИРЭ РАН, № 6 (июнь), 2010 г. <http://jre.cplire.ru/jre/jun10/6/text.html>
11. Кликушин Ю.Н. Технологии идентификационных шкал в задаче распознавания сигналов: монография / Ю.Н. Кликушин. - Омск: Изд-во ОмГТУ, 2006. - 96 с.
12. Кликушин Ю.Н., Кошеков К.Т. Методы и средства идентификационных измерений сигналов: монография / Ю.Н. Кликушин, К.Т. Кошеков. Петропавловск: Изд-во СКГУ им. М. Козыбаева, 2007. - 186 с.
13. Кликушин Ю.Н., Кошеков К.Т., Кошекова Б.В. Транслятор как универсальный инструмент идентификационных измерений// Информационно-измерительные и управляющие системы. - М.: Радиотехника, №9, т.6, 2008. с.24-30.
14. Гоноровский И.С. Радиотехнические цепи и сигналы. - М.: Советское радио, 1977.
15. Кликушин Ю.Н., Кошеков К.Т. Модель роста популяции в задаче автоматической классификации сигналов // Омский Научный Вестник - Омск: Изд-во ОмГТУ, №4(33), 2005, с. 160-163.
16. Пайтген Х.-О., Рихтер П.Х. Красота фракталов. Образы комплексных динамических систем: Пер. с англ. - М.: Мир, 1993. - 176 с.
17. Измерения в электронике // Справочник. Под ред. В.А.Кузнецова. - М.: Энергоатомиздат, 1987. - 511 с.
18. Кликушин Ю.Н. Идентификационные инструменты анализа и синтеза формы сигналов: монография / Ю.Н. Кликушин. - Омск: Изд-во ОмГТУ, 2010. - 216 с.
19. Нечеткие множества в моделях управления и искусственного интеллекта // Под ред. Д.А.Поспелова. - М.: Наука, 1986.
20. <http://www.tek.com/products/oscilloscopes/>

## **2. Методы определения фрактальных характеристик объектов**

## 2.1. Основы теории фракталов

### 2.1.1. Введение во фракталы

Чтобы понять природу, человек строит объекты различной геометрии. В природе объекты встречаются самых разных размеров - от атомных масштабов до Вселенной. Геометрия траекторий частиц, линий тока в гидродинамике, волн, обводов корабельных корпусов и береговых линий, ландшафтов, гор, островов, рек, ледников и отложений, зерен в скалистых породах, металлах и композитных материалах, растений, насекомых и живых клеток, а также геометрическая структура кристаллов, молекул химических веществ и, в частности, протеинов - словом, геометрия природы занимает центральное место в различных областях естествознания, и поэтому люди склонны считать геометрические аспекты чем-то само собой разумеющимся. Представители каждой области стремились развить свои приспособленные к ее потребностям понятия (например, такие, как морфология, четырехмерное пространство, текстура), интуитивно используемые учеными, работающими именно в этой области. По традиции, основой интуитивного понимания геометрии природы служили евклидовы прямые, окружности, сферы, тетраэдры и т.п.

Математики разработали и математические понятия, выходящие за рамки традиционной геометрии, однако, в прошлом эти понятия не привлекли к себе должного внимания со стороны представителей естественных наук из-за весьма абстрактного и «педантичного» изложения и из-за предостережений относительно «опасности», связанной с использованием такого рода нетрадиционных геометрических представлений.

Своими яркими и фундаментальными работами Бенуа Мандельброт пробудил всеобщий интерес к фрактальной геометрии - понятию, введенному самим Мандельбротом. В частности, он поведал миру об объектах, названных им фракталами, избрав для этого весьма необычную форму изложения. Книга Бенуа Мандельброта «Фрактальная геометрия природы» [1] - общепризнанный стандартный справочник по фракталам, содержащий как элементарные понятия, так и необычайно широкий круг новых и отнюдь не элементарных идей, находящихся сейчас в центре внимания тех, кто занимается геометрией фракталов. Синтетические фрактальные пейзажи выглядят настолько правдоподобно, что большинство людей принимают их за естественные. Появление в последние годы компьютеров и компьютерной графики привело к

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

исследованию нетрадиционных геометрических объектов во многих областях естественных наук.

Мандельброт написал огромное количество научных работ, посвященных геометрии явлений, наблюдаемых во многих областях человеческой деятельности. Он исследовал фрактальную геометрию изменений цен и распределений заработной платы, статистики ошибок при вызовах на телефонных станциях, частот слов в печатных текстах, различных математических объектов и многого другого. Мандельброт написал три книги о фрактальной геометрии, сделавшие более доступными его специальные работы и вдохновившие многих на применение фрактальной геометрии в области собственных исследований.

Понятие «фракталы» захватило воображение ученых, работающих во многих областях науки, и работы, в которых фракталы обсуждаются с самых разных позиций, появляются теперь почти ежедневно. Книги Мандельброта замечательны в нескольких отношениях. И прежде всего - они междисциплинальны: автор рассматривает геометрию деревьев, русел рек, легких, а также изменения уровней водной поверхности, турбулентность, экономику, частоты появления слов в различных текстах и многое-многое другое. Все эти, казалось бы, разнородные вопросы Мандельброт связывает со своими геометрическими представлениями. В своих книгах он умышленно избегает введений и заключений, тем самым подчеркивая свое глубокое убеждение в том, что по мере расширения работ в области фрактальной геометрии, его идеи позволят все более глубоко постигать самую суть геометрии природы. Он предлагает лишь пробное определение понятия «фрактал» и тут же поспешно заявляет, что предложенное им определение отнюдь не является окончательным! Более того, впоследствии он отказывается от своего определения. В своих книгах Мандельброт пытается убедить читателя в том, что фрактальная геометрия важна для описания природы, но ускользает от читателя, когда тот пытается проследить за деталями аргументации автора. Математические доказательства перемешиваются на страницах книг Мандельброта с анекдотами и историческими сведениями. Совершенно разные вопросы перемешаны в его книгах так, что разделить их практически невозможно. Но, вооружившись терпением, любознательный читатель найдет в книгах Мандельброта необычайно широкий спектр замечательных идей, глубоких замечаний и сможет почерпнуть в них подлинное вдохновение - эти книги поистине замечательны!

Наиболее сильное впечатление производят цветные иллюстрации. На них изображены фрактальная «планета», восходящая над горизонтом своей луны, горы, долины и острова, которых никогда не было. Эти иллюстрации, выполненные Р.Ф. Фоссом, получены с помощью

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

алгоритмов, обеспечивающих фрактальную природу пейзажей. Все пейзажи выглядят очень естественно, по-видимому, фракталы каким-то образом схватывают суть топографии земной поверхности.

Понятия «фрактал» и «фрактальная геометрия», появившиеся в конце 70-х, с середины 80-х прочно вошли в обиход математиков и программистов. Слово фрактал образовано от латинского fractus и в переводе означает «состоящий из фрагментов». Оно было предложено Бенуа Мандельбротом в 1975 году для обозначения нерегулярных, но самоподобных структур, которыми он занимался. В его работах использованы научные результаты трудов ученых, работавших в 1875-1925 годах в той же области (Пуанкаре, Фату, Жюлиа, Кантор, Хаусдорф и другие). Но только в наше время удалось объединить их работы в единую систему.

Внимание, которое привлекают фракталы, видимо, имеет несколько причин. Во-первых, фракталы очень просты при моделировании многих явлений и процессов, которые трудно отличить от естественных. Во-вторых, при фрактальном анализе процессы сложной формы представляются в достаточно простой и наглядной форме, что позволяет получить больше информации о процессе.

В настоящее время, наибольшее применение фракталы нашли в машинной графике и компьютерных системах сжатия информации. Они приходят на помощь, например, когда требуется с помощью нескольких коэффициентов задать линии и поверхности очень сложной формы. С точки зрения машинной графики, фрактальная геометрия незаменима при генерации искусственных облаков, гор, поверхности моря. Фактически найден способ легкого представления сложных неевклидовых объектов, образы которых весьма похожи на природные.

Фракталом, по определению Мандельброта, называется объект, размерность которого не равна его топологической размерности и может принимать нецелочисленные значения. Такая размерность называется размерностью Хаусдорфа-Безиковича или фрактальной размерностью. Многочисленные исследования показывают, что фрактальная геометрия является обобщением евклидовой, имеющей дело с целочисленными топологическими размерностями (0 - точка, 1 - линия, 2 - плоскость, 3 - объем). К фрактальным объектам относятся все природные объекты, например, такие как береговая линия, имеющая размерность 1,52 (береговая линия Норвегии), облака - 2,31, кровеносная система человека - 2,7 и т.п. На данный момент обоснованной физической интерпретации дробной размерности нет, хотя предпринимаются попытки ее создать.

Основным свойством фракталов является самоподобие. В самом простом случае небольшая часть фрактала содержит информацию обо

всем объекте, т.е. вид фракталов практически не меняется при любом увеличении. Определение фрактала, данное Мандельбротом, звучит так: «фракталом называется структура, состоящая из частей, которые в каком-то смысле подобны целому». Процессы, порождающие самоподобные структуры, известны довольно давно. Это процессы с обратной связью, в которых одна и та же операция повторяется снова и снова, при этом результат одной итерации является начальным значением следующей. Но здесь очень важно, чтобы зависимость между результатом и начальным значением была нелинейной. Одним из исследователей фракталов был Гастон Жюлиа, который открыл множество Жюлиа, представляющее собой границу, в различных частях которой встречается одна и та же форма разных масштабов. Он установил, что можно восстановить всю границу по любой ее части. С тех пор в математике и в физике стали широко изучаться самоподобные структуры, в том числе и фракталы.

Все многообразие фракталов делится на геометрические, алгебраические и стохастические.

Геометрические фракталы самые наглядные. В случае, если геометрические фракталы двумерные их получают с помощью некоторой ломаной (или поверхности, если фракталы трехмерные), называемой затравкой или первоначальным генератором. За один шаг алгоритма каждый из отрезков, составляющих ломаную, заменяется на ломаную-генератор в соответствующем масштабе. В результате бесконечного повторения этой процедуры получается геометрический фрактал. На рисунках 1.1-1.6 представлены наиболее известные геометрические фракталы и их первоначальные генераторы.

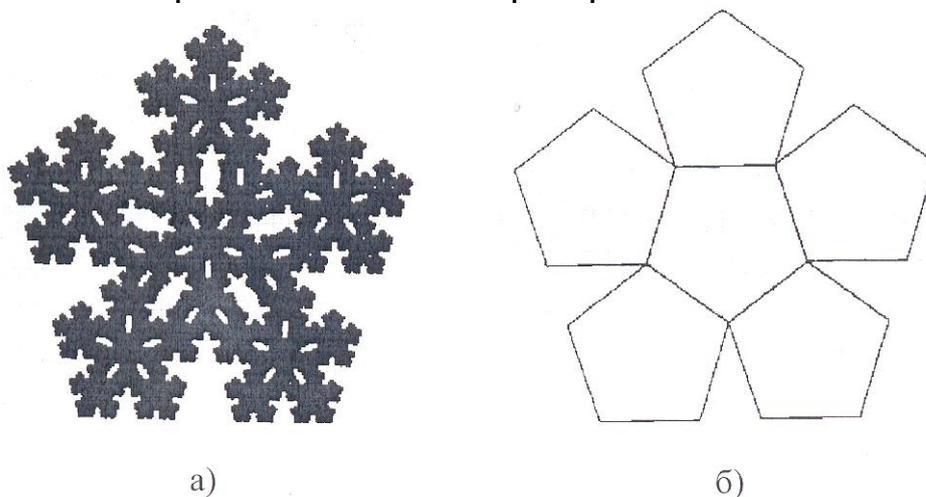


Рис. 1.1. Пятиугольник Дерера (а) и его первоначальный генератор (б)

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

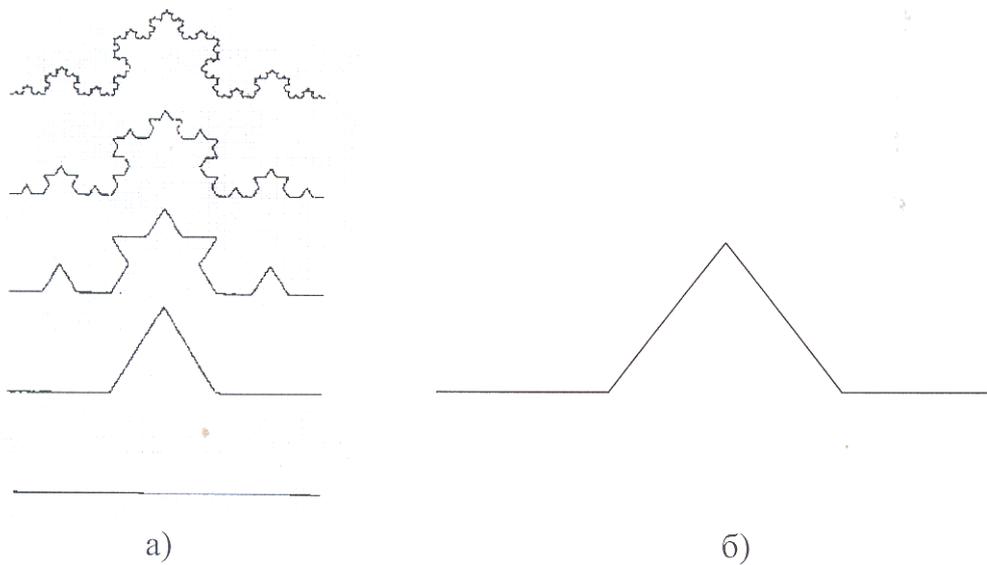
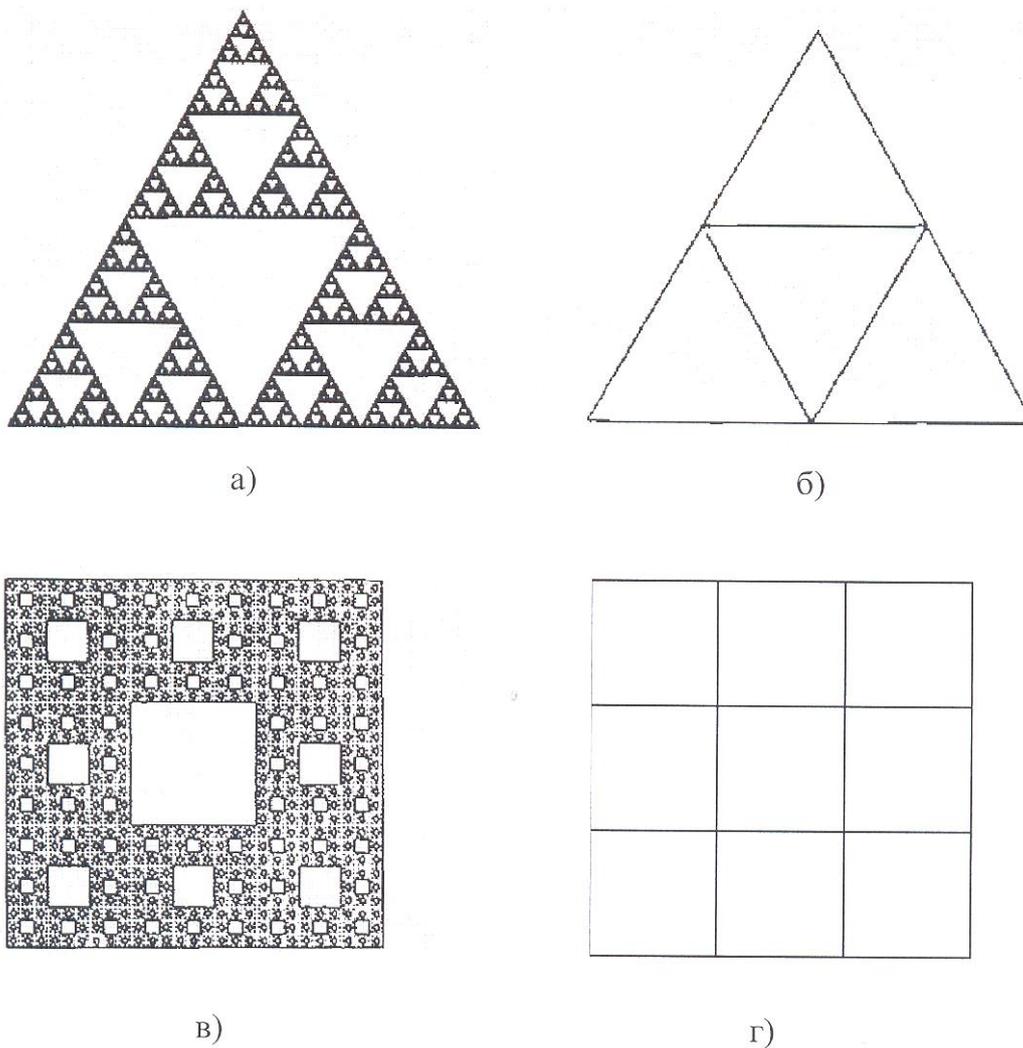
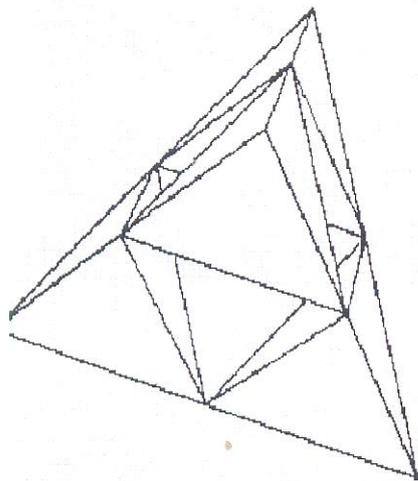


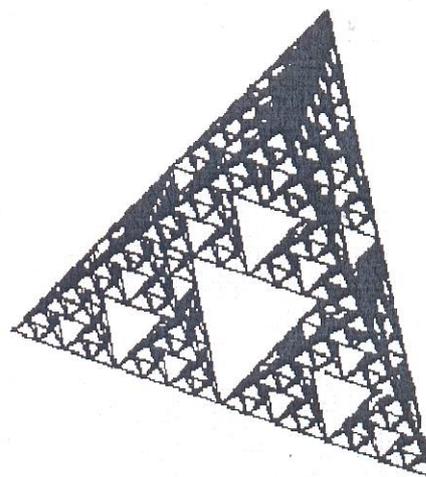
Рис. 1.2. Кривая Коха (а) и ее первоначальный генератор (б)



с. 1.3. Треугольник Серпински (а), его первоначальный генератор (б)  
и квадрат Серпински (в), его первоначальный генератор (г)



а)



б)

Рис. 1.4. Тетраэдр Серпински (б) и его первоначальный генератор (а)

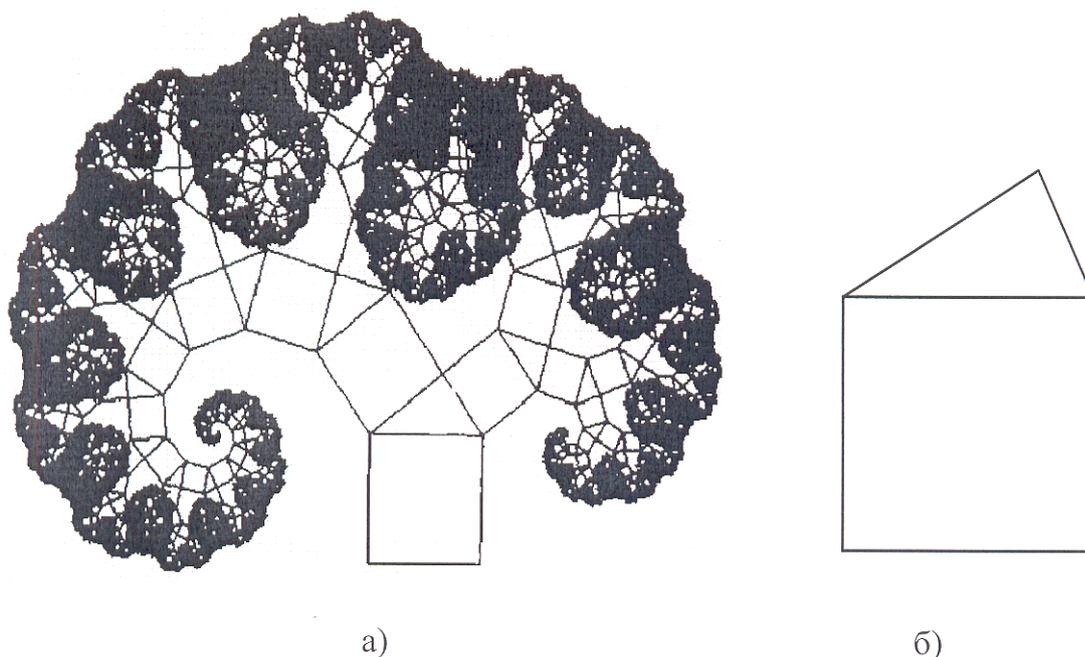


Рис. 1.5. Дерево Пифагора (а) и его первоначальный генератор (б)

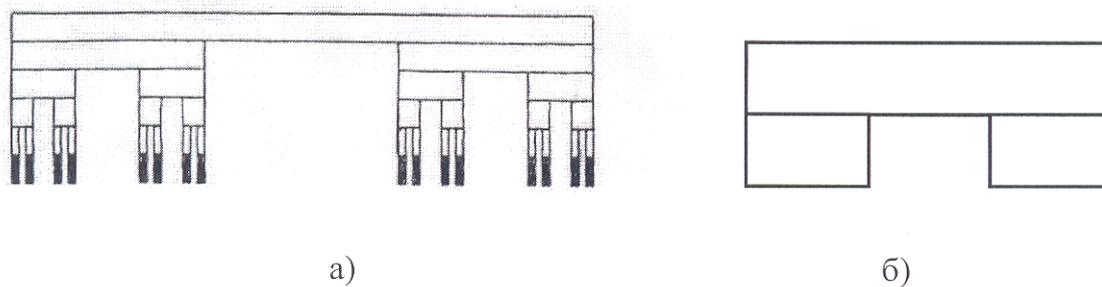


Рис. 1.6. Гребенка Кантора (а) и её первоначальный генератор (б)

Алгебраические фракталы. Это самая крупная группа фракталов. Получают их с помощью нелинейных процессов в  $n$ -мерных пространствах. Наиболее изучены двухмерные процессы. Интерпретируя нелинейный итерационный процесс как дискретную динамическую систему, можно пользоваться терминологией теории этих систем: фазовый портрет, установившийся процесс, аттрактор и т.д. Известно, что нелинейные динамические системы обладают несколькими устойчивыми

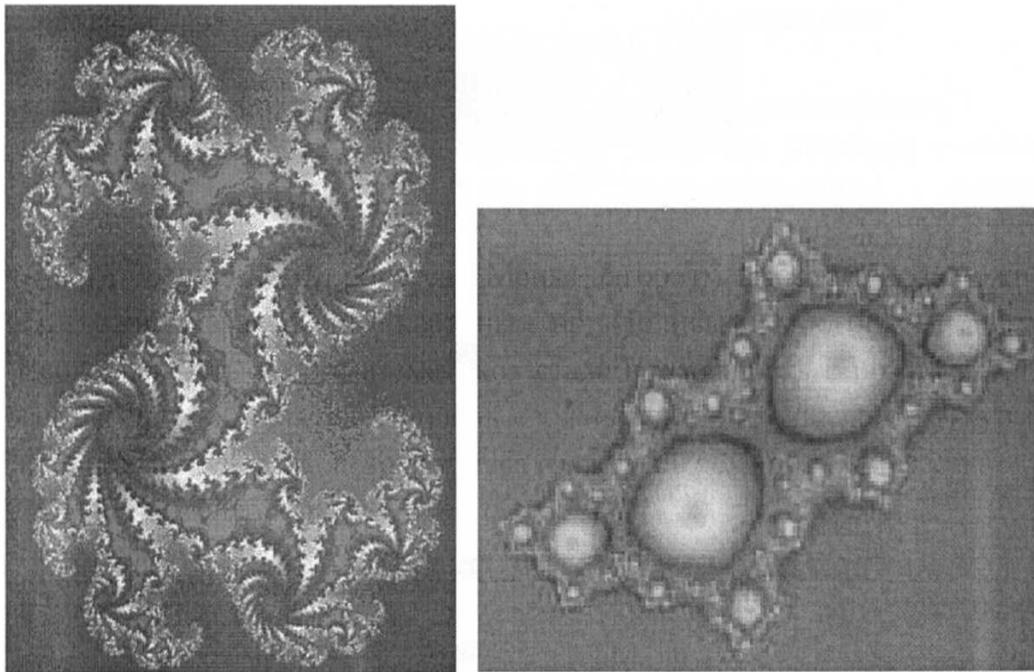


Рис. 1.7.

состояниями. То состояние, в котором оказалась динамическая система после некоторого числа итераций, зависит от ее начального состояния. Поэтому каждое устойчивое состояние (или, как говорят, аттрактор) обладает некоторой областью начальных состояний, из которых система обязательно попадет в рассматриваемые конечные состояния. Таким образом, фазовое пространство системы разбивается на области притяжения аттракторов. Если фазовым является двухмерное пространство, то, окрашивая области притяжения различными цветами, можно получить цветовой фазовый портрет системы (итерационного процесса). Меняя алгоритм выбора цвета, можно получить сложные фрактальные картины с причудливыми многоцветными узорами. Неожиданностью для математиков стала возможность с помощью примитивных алгоритмов порождать очень сложные нетривиальные структуры.

Типичными представителями этого класса фракталов являются множества Жюлиа (рис. 1.7) и множество Мандельброта (Рис. 1.8).

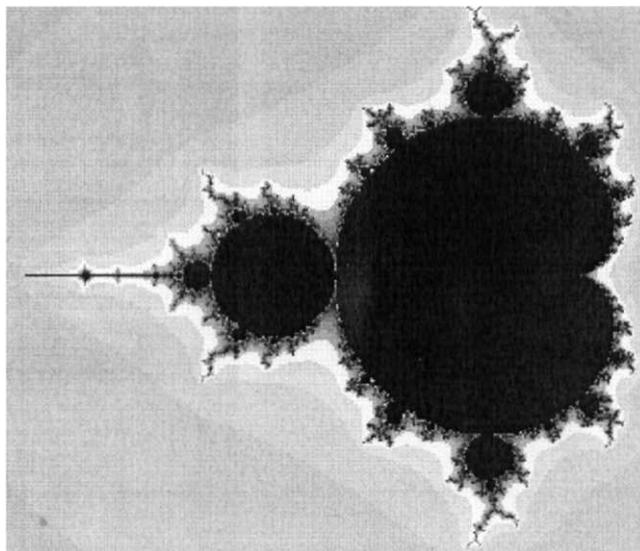


Рис. 1.8. Множество

Стохастические фракталы получаются в том случае, если в итерационном процессе случайным образом меняются какие-либо его параметры. При этом получаются объекты очень похожие на природные: несимметричные деревья, изрезанные береговые линии и т.д. Двумерные стохастические фракталы используются при моделировании рельефа местности и поверхности моря.

Существуют и другие классификации фракталов, например, деление фракталов на детерминированные (алгебраические и геометрические) и недетерминированные (стохастические).

#### *Контрольные вопросы*

1. Кто и когда ввел понятия «фрактал» и «фрактальная геометрия»?
2. Что означает слово «фрактал»?
3. Почему фракталы нашли свое применение в человеческой деятельности?
4. Каково основное свойство фракталов?
5. На какие классы делятся фракталы?
6. Как образуются геометрические фракталы?

7. Что такое первоначальный генератор для геометрических фракталов?
8. Примеры геометрических фракталов.
9. Как образуются алгебраические фракталы?
10. Что такое аттрактор?
11. Примеры алгебраических фракталов.
12. Как образуются стохастические фракталы?
13. Примеры стохастических фракталов.

## 2.2. Фрактальная размерность

Чтобы понять, что такое фрактальная размерность, для примера рассмотрим береговую линию Норвегии (рис. 1.9).

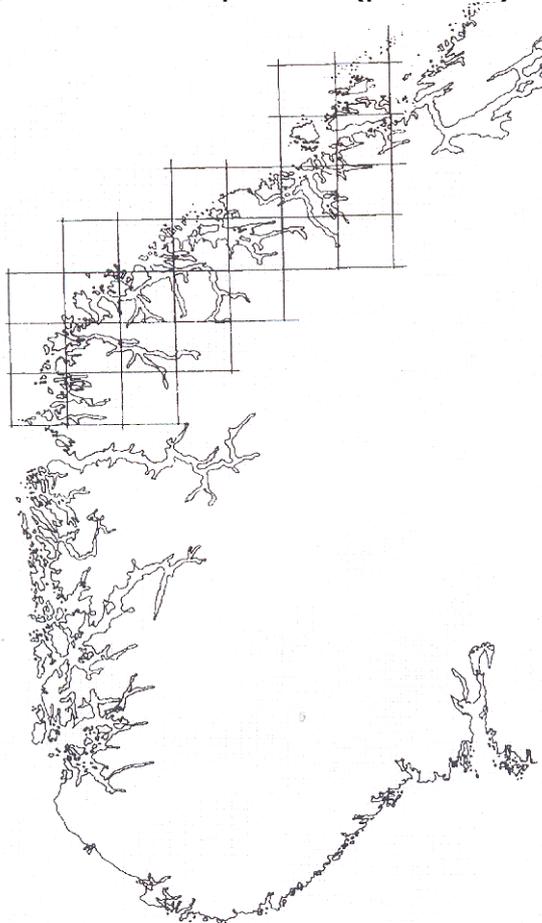


Рис. 1.9. Побережье южной части Норвегии.  
Изображенная сверху квадратная решетка имеет шаг  $\delta \sim 50$  км

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

Какова ее длина? В масштабе карты хорошо видны глубокие фиорды на западном побережье. Идя вдоль берега, то и дело можно встретить скалы, острова, бухты и обрывы, которые похожи друг на друга, даже если они не обозначены на самых подробных картах. Прежде чем ответить на поставленный вопрос, необходимо решить, стоит ли включать в береговую линию острова. Как быть с реками? В каком месте фиорд перестает быть фиордом и где именно он переходит в реку? Ответить на эти вопросы иногда легко, иногда не очень. Но, даже если мы сумеем удовлетворительно ответить на все вопросы такого рода, одна трудность все же остается. Дело в том, что при измерении длины береговой линии, циркулю можно придать раствор, соответствующий  $\delta$  км и сосчитать число шагов  $N(\delta)$ , которые понадобились бы, чтобы пройти по карте из конца в конец все побережье.

В спешке можно было бы выбрать раствор циркуля настолько большим, что не понадобилось бы заботиться даже о самых глубоких фиордах, и принять за длину береговой линии величину  $L = N(\delta) \cdot \delta$ . Если подобная оценка не удовлетворяет, то можно выбрать несколько меньший раствор циркуля  $\delta$  и повторить все сначала. На этот раз в длину береговой линии вошли бы и наиболее глубокие фиорды. Для еще более точного подсчета длины береговой линии понадобятся более точные карты. Ясно, что при решении такого рода вопросов уточнения можно вносить бесконечно. Всякий раз, когда мы будем увеличивать разрешающую способность, длина береговой линии будет разрастаться. Кроме того, при использовании циркуля будут возникать проблемы с островами и реками. Альтернативный способ измерения длины береговой линии состоит в том, чтобы покрыть карту сеткой, как показано в верхней части рисунка 1.9. Пусть квадратные ячейки сетки имеют размеры  $\delta \times \delta$ . Число  $N(\delta)$  таких ячеек, необходимых для покрытия береговой линии на карте, приблизительно равно числу шагов, за которое можно обойти по карте береговую линию циркулем с раствором  $\delta$ . Уменьшение  $\delta$  приводит к увеличению числа ячеек, необходимых для покрытия береговой линии. Если бы береговая линия Норвегии имела вполне определенную длину  $L_N$ , то можно было бы ожидать, что число шагов циркуля или число квадратных ячеек  $N(\delta)$ , необходимых для покрытия береговой линии на карте, будет обратно пропорционально  $\delta$ , а величина  $L(\delta) = N(\delta) \cdot \delta$  при уменьшении  $\delta$  будет стремиться к постоянной  $L_N$ . Однако это не так.

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

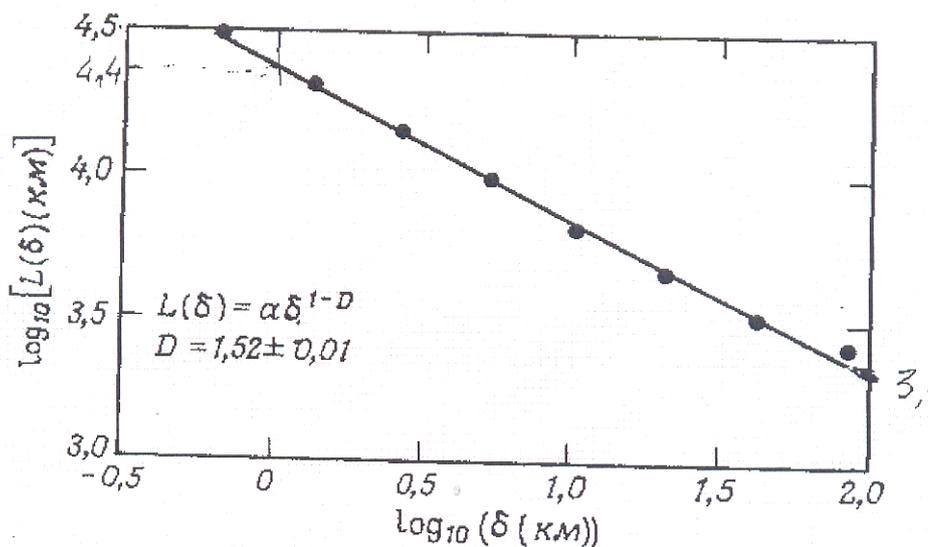


Рис. 1.10. Измеренная длина береговой линии, как функция шага  $\delta$  (км) – длины стороны  $\delta \cdot \delta$  квадратных ячеек, образующих покрытие береговой линии на карте

Прямая на графике в дважды логарифмическом масштабе соответствует зависимости  $L(\delta) = a \cdot \delta^{1-D}$ , где  $D \approx 1,52$ .

Как видно из рисунка 1.10, при уменьшении длины шага  $\delta$ , измеренная длина возрастает. График на этом рисунке выполнен в дважды логарифмическом масштабе и показывает, что при уменьшении  $\delta$  измеренная длина береговой линии отнюдь не стремится к постоянному значению. Наоборот, измеренная длина прекрасно описывается приближенной формулой

$$L(\delta) = a \cdot \delta^{1-D}.$$

Для обычной кривой можно было бы ожидать, что  $a = L_N$  (по крайней мере, при достаточно малых  $\delta$ ) и показатель  $D$  равен единице. Но для береговой линии Норвегии, как видно из рисунка 1.10,  $D \sim 1,52$ . Береговая линия - фрактал с фрактальной размерностью  $D$ .

На рисунке 1.11 воспроизведен график (данные взяты из книги Мандельброта «Чему равна длина береговой линии Британии?»), на котором показана кажущаяся длина береговых линий и сухопутных границ. Все точки выстраиваются (в дважды логарифмическом масштабе) вдоль прямых. Угловым коэффициентом этих прямых равен  $1 - D$  где  $D$  - фрактальная размерность береговой линии (или сухопутной границы). Береговая линия Великобритании имеет  $D \sim 1,3$ . Мандельброт приводит также данные для окружности и находит, что  $D_{\text{окр}} = 1$ .

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

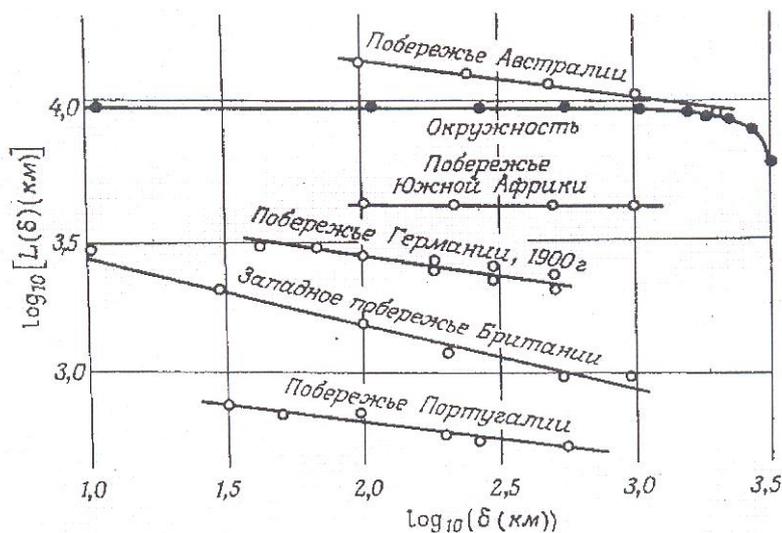


Рис. 1.11. Длина береговых линий как функция выбранного шага  $\delta$  (км)

**Контрольные вопросы:**

1. Что такое размерность объекта?
2. Что такое топологическая размерность?
3. Как определяется фрактальная размерность природных объектов?
4. Чему равна фрактальная и топологическая размерности окружности, круга, квадрата, сферы и шара?
5. Чему равна топологическая размерность береговой линии?

**2.3. Методы определения фрактальных характеристик объектов**

**2.3.1. Метод покрытия сеткой**

Данный метод позволяет определить размерность физических объектов, имеющих геометрические размеры. Эти объекты могут быть как замкнутыми (береговые линии островов, поверхность планет), так и незамкнутыми (часть береговой линии, участок поверхности).

Центральное место в определении размерности Хаусдорфа-Безиковича и, следовательно, фрактальной размерности  $D$  занимает понятие расстояния между точками в пространстве. Как измерить «величину» множества точек в пространстве? Простой способ измерить длину кривых, площадь поверхностей или объем тела состоит в том, чтобы разделить пространство на небольшие отрезки, квадраты или кубы с ребром  $\delta$ , как показано на рисунке 1.12. Вместо кубов можно было бы взять небольшие сферы диаметром  $\delta$ . Если поместить центр малой сферы в какой-нибудь точке множества, то все точки, находящиеся от центра на расстоянии  $r < (1/2)\delta$ , окажутся покрытыми этой сферой. Подсчитывая

число сфер, необходимых для покрытия интересующего нас множества точек, мы получаем меру величины множества.

Кривую можно измерить, определяя число  $N(\delta)$  прямолинейных отрезков длины  $\delta$ , необходимых для того, чтобы покрыть ее (рис. 1.12, а). Разумеется, для обычной кривой  $N(\delta) = L_0 / \delta$ . Длина кривой определяется предельным переходом:

$$L = N(\delta) \delta \xrightarrow{\delta \rightarrow 0} L_0 \delta^0.$$

В пределе при  $\delta \rightarrow 0$ , мера  $L$  становится асимптотически равной длине кривой и не зависит от  $\delta$ .

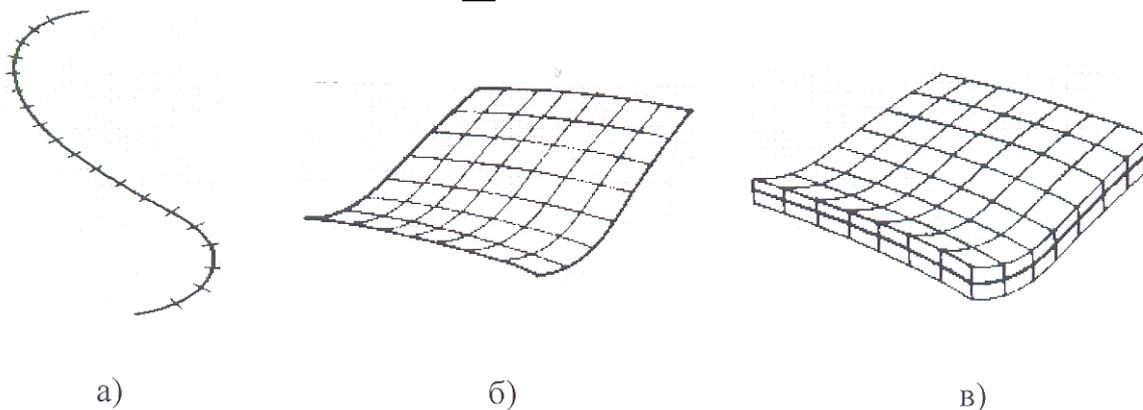


Рис. 1.12. Измерение «величины» кривой (а), поверхности (б) и объема (в)

Поверхность можно измерить, определяя  $N(\delta)$  - число квадратов со стороной  $\delta$ , необходимых для того, чтобы покрыть (рис. 1.12, б). Нормальной мерой такого множества служит площадь  $S$ . При этом

$$S = N(\delta) \delta^2 \xrightarrow{\delta \rightarrow 0} S_0 \delta^0.$$

Как можно увидеть, для обычной поверхности число квадратов, необходимых для ее покрытия, определяется в пределе при  $\delta \rightarrow 0$  выражением  $N(\delta) = S_0 / \delta^2$ , где  $S_0$  - площадь поверхности.

Объем можно измерить, определяя число кубов  $N(\delta)$  с ребром  $\delta$ , необходимых для того, чтобы заполнить этот объем (рис. 1.12, в). Мерой такого множества служит объем  $V$ . При этом:

$$V = N(\delta) \delta^3 \xrightarrow{\delta \rightarrow 0} V_0 \delta^0.$$

В пределе при  $\delta \rightarrow 0$  мера  $V$  становится асимптотически равной объему тела и не зависит от  $\delta$ .

Определив число  $N(\delta)$  для каждого из типов объектов (кривая, поверхность или объемное тело), можно найти его фрактальную размерность. Для этого зависимость  $N = f(\delta)$  строится в двойном логарифмическом масштабе (рис. 1.13) и описывается выражением

$$N(\delta) = a\delta^{-D}.$$

Угловой коэффициент прямой будет являться фрактальной размерностью  $D$ . Так как эта размерность была найдена путем подсчета числа отрезков, клеток или кубов, то ее принято называть клеточной размерностью.

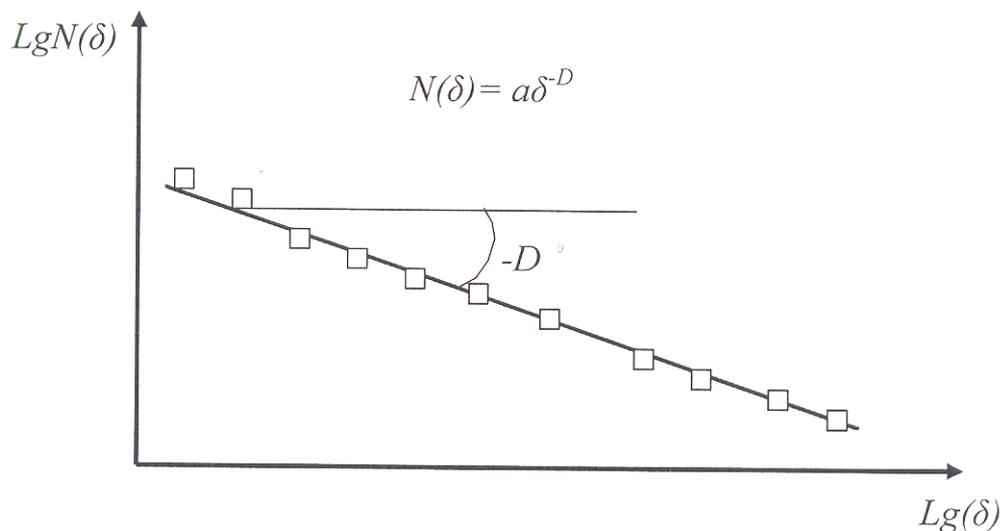


Рис. 1.13. Зависимость числа ячеек  $N(\delta)$ , необходимых для покрытия физического объекта, от размера ячейки  $\delta$

### 2.3.2. Метод Херста (метод нормированного размаха)

Метод основан на статистической обработке той физической величины, которая, по мнению исследователя, наиболее полно отражает исследуемое свойство объекта. Этот метод используется для анализа одномерных временных рядов. Пусть имеется ряд наблюдений  $\{x_1, x_2, \dots, x_n\}$  некоторой величины  $X$ .  $N$  - объем выборки,  $X_{\bar{n}\delta}$  - среднее арифметическое ряда наблюдений:

$$X_{\bar{n}\delta} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i.$$

Примем за  $S$  среднеквадратическое отклонение ряда (СКО):

$$S = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - X_{\bar{n}\delta})^2}.$$

Пусть  $Z$ - накопленное отклонение ряда Хот среднего  $X_{\bar{n}\delta}$  (рис. 1.14):

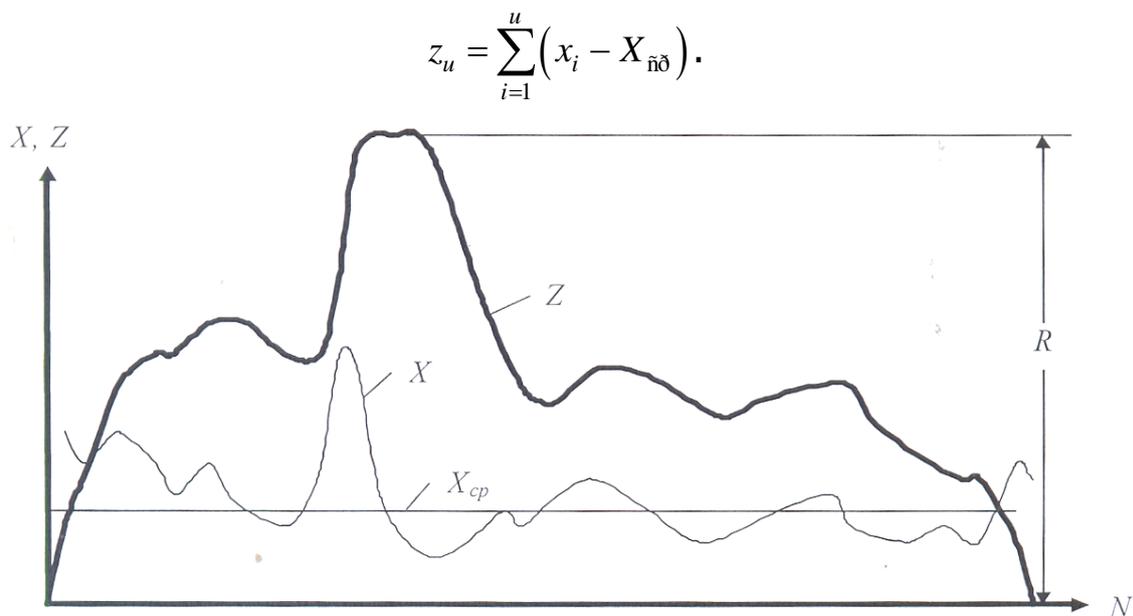


Рис. 1.14. Изменения величины  $X$  (тонкая линия), ее накопленное отклонение  $Z$  (жирная линия) и среднее значение  $X_{cp}$ ; показан размах накопленного отклонения  $R$

Разность между максимальным и минимальным накопленным отклонением  $Z$  назовем размахом накопленного отклонения  $R$  (см. рис. 1.14):

$$R = \max_{1 \leq u \leq N} \{z_u\} - \min_{1 \leq u \leq N} \{z_u\}.$$

На основании этих данных вычисляется параметр Херста  $R/S$  — отношение размаха накопленного отклонения  $R$  к СКО ряда  $S$  — при разных объемах выборки  $N$ . Зависимость  $R/S = f(N)$  описывается теоретической моделью, введенной Мандельбротом, для обобщенного броуновского движения:

$$R/S = (aN)^H, \quad (1.1)$$

где  $a$  — некоторая постоянная для конкретного процесса,  $0 \leq H \leq 1$  — показатель Херста. Фрактальная размерность  $D$  определяется как:

$$D = 2 - H. \quad (1.2)$$

Показатель Херста  $H$  используется также для определения степени долговременной корреляции (статистической зависимости) *между прошлыми приращениями и будущими*. В теории фракталов эта зависимость определяется выражением

$$C = 2^{2H-1} - 1. \quad (1.3)$$

Для нахождения показателя Херста  $H$  зависимость  $R/S = f(N)$  строится в двойном логарифмическом масштабе (рис. 1.15), затем полученные экспериментальные точки аппроксимируются прямой,

угловой коэффициент которой есть  $H$ . Вся область фрактальности ограничена линиями с  $H = 0$  и  $H = 1$ .

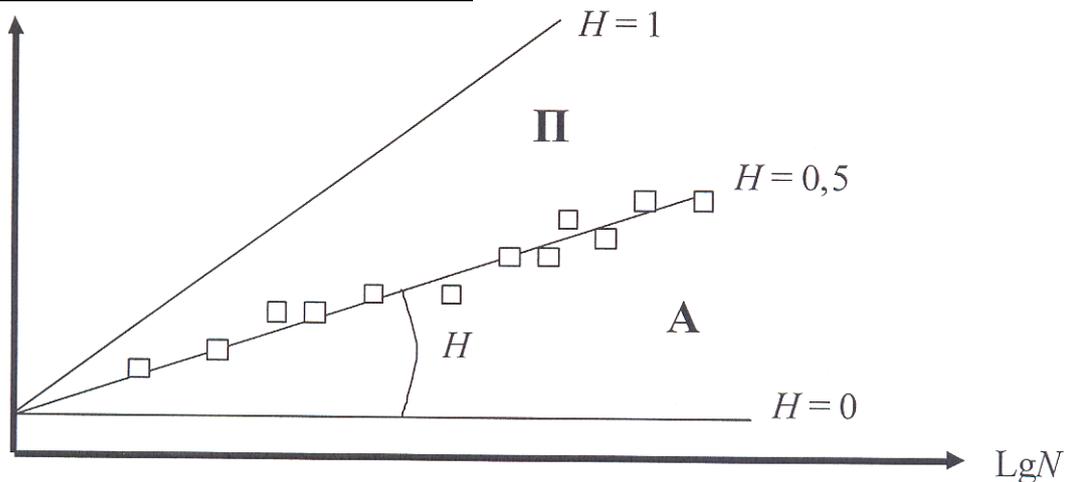


Рис. 1.15. Фрактальная плоскость  $R/S$ -метода.  
Приведены области фрактальности (II – персистентная, A – антиперсистентная и аппроксимируемые экспериментальные точки

Она делится прямой с  $H = 0,5$  на **персистентную** и **антиперсистентную** (на рис. 1.15 области II и A соответственно). Случай  $H = 0,5$  соответствует обычному броуновскому движению, в котором отсутствует долговременная корреляция, т.е.  $C = 0$  (см. формулу (1.3)). Персистентность означает, что, если в течение некоторого времени  $t$  среднее значение процесса имело тенденцию к возрастанию, то в течение последующего интервала той же длительности  $t$  наиболее вероятно сохранение тенденции к возрастанию. И наоборот, если среднее значение процесса в течение некоторого времени  $t$  имеет тенденцию к убыванию, то наиболее вероятно, что в течение последующего интервала той же длительности  $t$  сохранится тенденция к убыванию. Коэффициент долговременной корреляции при  $H > 0,5$  всегда положителен (см. формулу (1.3)), а при  $H < 0,5$  - отрицателен. Поэтому при антиперсистентности после возрастания переменной в течение времени  $t$ , обычно происходит ее убывание в последующий такой же интервал времени, а при убывании - возрастание.

Процессы с  $H = 0$  имеют наибольшую «зашумленность», которая уменьшается при увеличении значения  $H$ . На рисунке 1.16 продемонстрировано это свойство в отношении трех временных рядов с разными показателями Херста  $H = 0,1$  (рис. 1.16,а),  $H = 0,5$  (рис. 1.16,б) и  $H = 0,9$  (рис. 1.16,в).

Недостатки метода: 1. Зависимость  $Lg(R/S) = f(Lg(N))$  нелинейна, поэтому значения  $H$  для одной выборки могут быть разными, и коэффициент  $a$  в выражении (1.1) непостоянен и зависит от  $N$ . Таким образом, модель (1.1)

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

не всегда справедлива. 2. Неспособность метода различать стационарные случайные процессы в зависимости от вида закона распределения плотности вероятности.

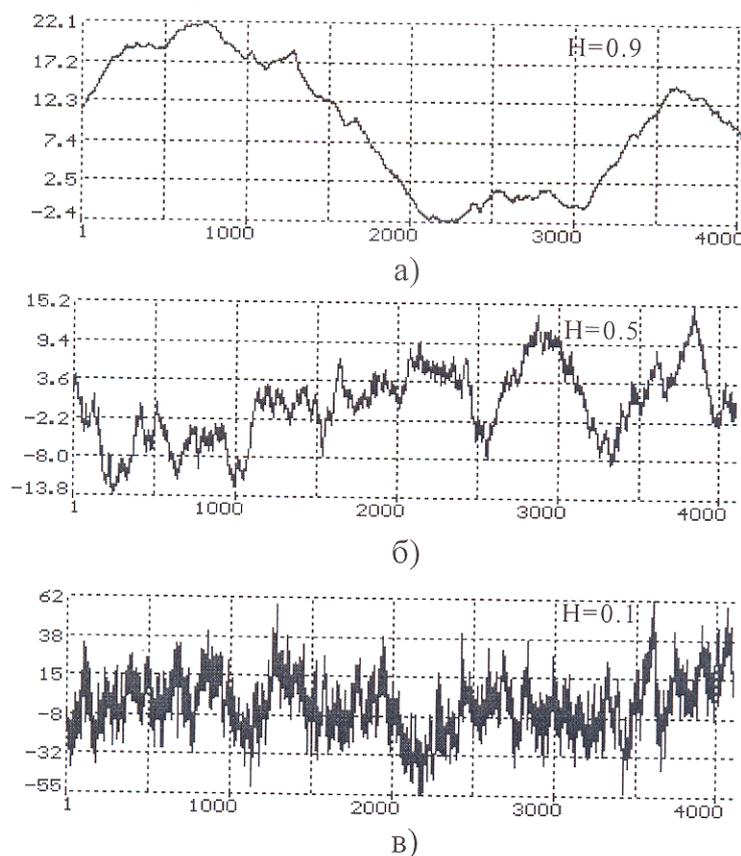


Рис. 1.16. Реализации фрактальных процессов с  $H = 0,9$  (а),  
 $H = 0,5$  (б) и  $H = 0,1$  (в); объем выборки  $N = 4097$

Примеры использования метода Херста для различных естественных процессов приведены на рис. 1.17.

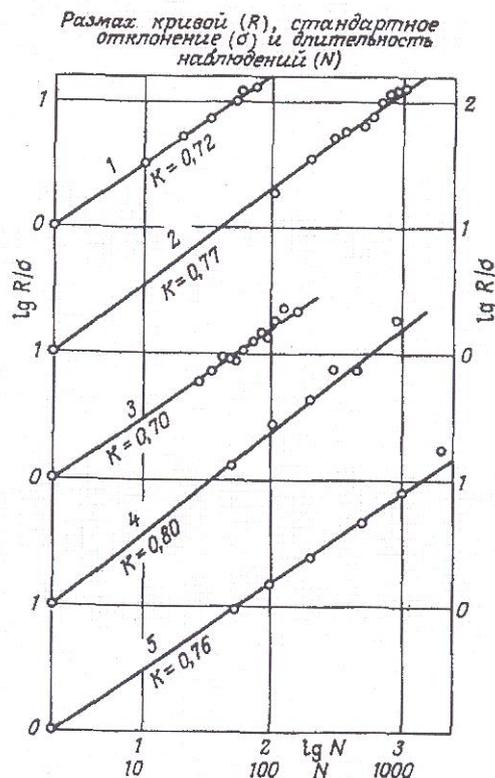


Рис. 1.17. Метод нормированного размаха для различных естественных процессов

По оси абсцисс указана длительность анализируемого периода  $N$  в годах. Приведены данные для следующих объектов: 1 - сток рек ( $N = 0,72$ ); 2 - река Рода ( $N = 0,77$ ); 3 - уровень осадков ( $N = 0,70$ ); 4 - кольца деревьев ( $N = 0,80$ ); 5 - слоистые отложения озера Саки ( $N = 0,76$ ).

### 2.3.3. Метод Барроу

Метод основан на статистической обработке той физической величины, которая наиболее полно отражает исследуемое свойство объекта. Этот метод используется для анализа одномерных временных рядов. Пусть имеется ряд наблюдений  $\{x_1, x_2, \dots, x_n\}$  некоторой величины  $X$  объема выборки  $N$ . Находится средняя дисперсия приращений  $W$  как функция задержки  $\Delta N$ :

$$W(\Delta N) = \frac{1}{N - \Delta N} \sum_{i=1}^{N-\Delta N} (x_{i+\Delta N} - x_i)^2. \quad (1.4)$$

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений

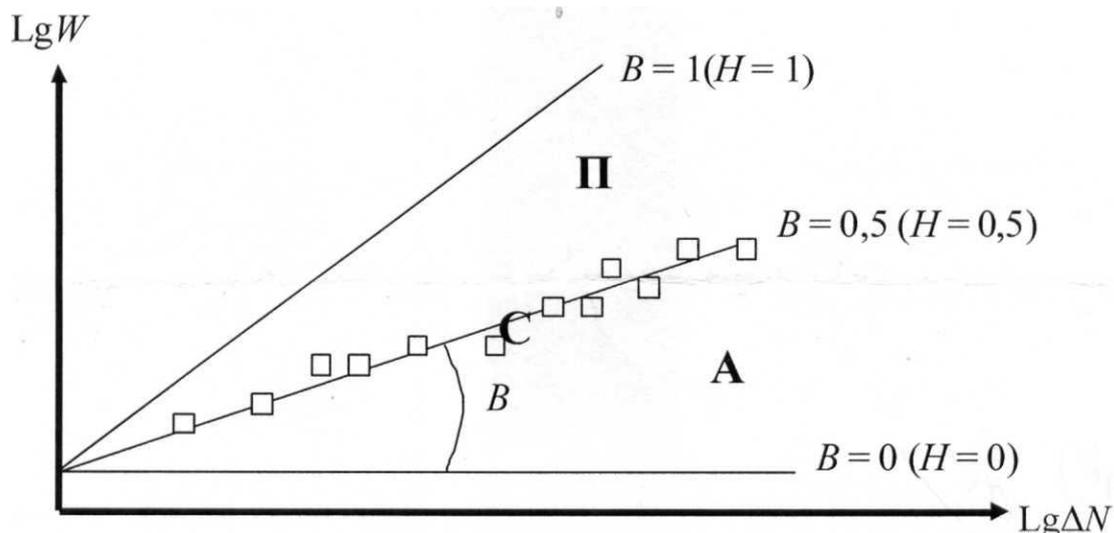


Рис. 1.18. Фрактальная плоскость метода Барроу. Приведены области фрактальности (П - персистентная, А - антиперсистентная, С - стационарная) и аппроксимируемые экспериментальные точки

Зависимость  $W = f(\Delta N)$  описывается теоретической моделью:

$$W = (a \cdot \Delta N)^B, \quad (1.5)$$

где  $a$  - некоторая постоянная для конкретного процесса,  $0 \leq B \leq 1$  - показатель Барроу, который равен показателю Херста  $H$ , т. е.  $B = H$ . Таким образом фрактальная размерность  $D$  определяется как:

$$D = 2 - B. \quad (1.6)$$

Для нахождения показателя Барроу  $B$  зависимость  $W = f(\Delta N)$  строится в двойном логарифмическом масштабе (рис. 1.18), затем полученные экспериментальные точки аппроксимируются прямой, угловой коэффициент которой есть  $B$ . Вся область фрактальности ограничена линиями с  $B = 0$  и  $B = 1$ . Она делится прямой с  $B = 0,5$  на персистентную и антиперсистентную (на рис. 1.18 области П и А соответственно). Случай  $B = 0,5$ , соответствует обычному броуновскому движению, в котором отсутствует долговременная корреляция (на рис. 1.18 область - С).

Недостатки этого метода: 1. Неоднозначность при аппроксимации экспериментальных точек прямой на фрактальной плоскости из-за их нелинейного расположения, что не позволяет достаточно точно и правильно описать зависимость  $W = f(\Delta N)$ . 2. Неспособность метода различать стационарные случайные процессы в зависимости от вида закона распределения плотности вероятности. 3. Высокая вариабельность результатов наблюдения, в результате чего приходится увеличивать количество анализируемых результатов для приемлемых оценок случайной погрешности.

### 2.3.4. Метод фазового портрета

Данный метод предназначен для оценки фрактальной размерности одномерных рядов через корреляционную размерность фазового портрета. Пусть имеется ряд наблюдений  $\{x_1, x_2, \dots, x_n\}$  некоторой величины  $X$ .  $N$  - объем выборки. Путем произвольной, но постоянной задержки  $\tau$  создается двумерный фазовый портрет из  $K = N - \tau$  точек  $y_i(x_i; x_{i+\tau})$  при  $1 \leq i \leq K$ . Затем вычисляются расстояния между каждой парой точек  $y_i$ , по формуле Пифагора:

$$z_i = (y_k, y_j) = \sqrt{(x_k - x_j)^2 + (x_{k+\tau} - x_{j+\tau})^2}. \quad (1.7)$$

Таким образом получился ряд расстояний между точками фазового портрета  $\{z_i\}_i = 1^L$  при  $L = (K-1)K/2$ . После этого находится *корреляционный интеграл*  $C(r)$  для значений  $0 \leq r \leq \max\{z_i\}$ :

$$C(r) = \frac{1}{L^2} \sum_{i=1}^L \theta(r - z_i), \quad (1.8)$$

где  $\theta(x)$  - функция Хевисайда, имеющая значение 0, если аргумент отрицателен и 1 - если положителен.

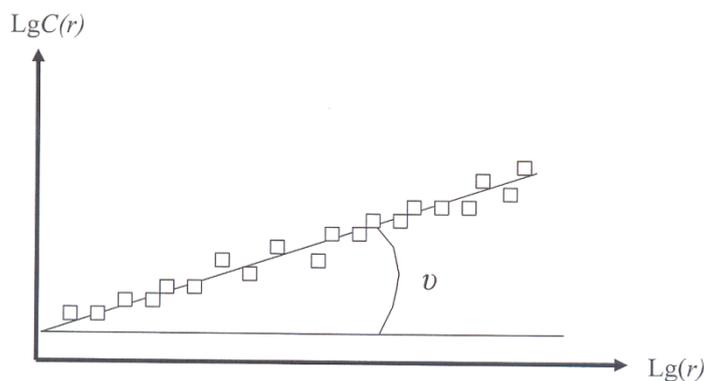


Рис. 1.19. Определение корреляционной размерности  $\nu$  фазового портрета через корреляционный интеграл  $C(r)$

Полученная зависимость  $C = f(r)$  строится в двойном логарифмическом масштабе (рис. 1.19).

Угловой коэффициент  $\nu$  аппроксимирующей прямой есть *корреляционная размерность фазового портрета*, которая является оценкой фрактальной размерности исходного ряда, т.е.  $D = \nu$ .

### 2.3.5. R/R-метод

Метод используется для анализа одномерных временных рядов. Пусть имеется ряд наблюдений  $\{x_1, x_2, \dots, x_n\}$  некоторой величины  $X$ .  $N$  - объем выборки,  $X_{\text{нб}}$  - среднее арифметическое ряда наблюдений

$$X_{\text{нб}} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i.$$

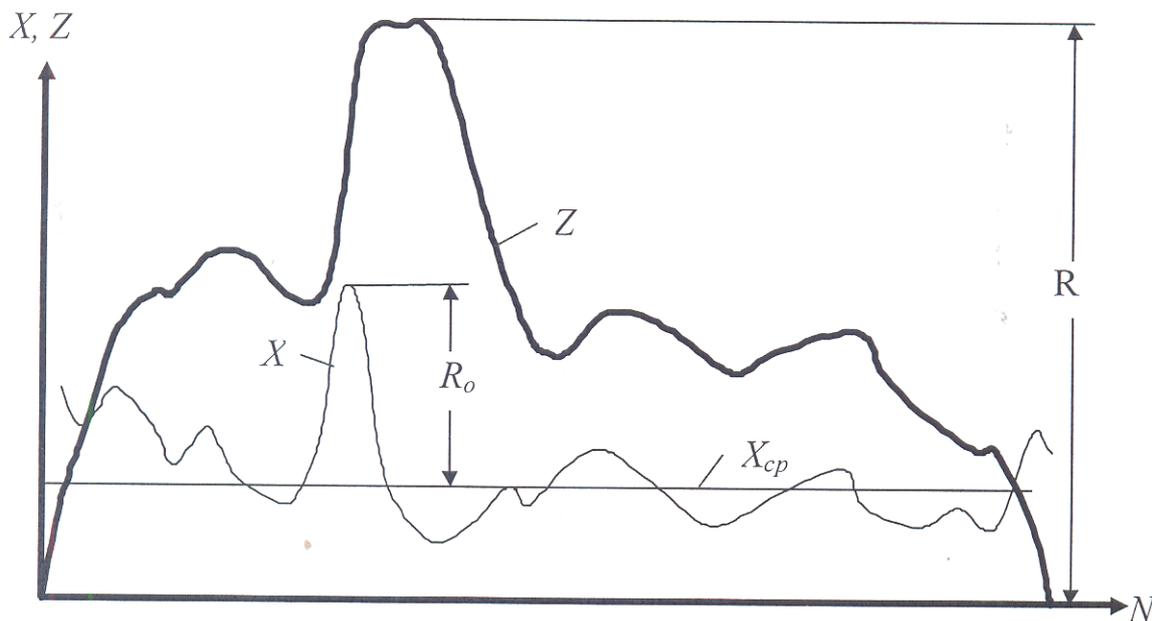


Рис. 1.20. Изменения величины  $X$  (тонкая сплошная линия), ее накопленное отклонение  $Z$  (жирная линия), среднее значение  $X_{cp}$ , показаны размахи отклонения  $R_0$  и накопленного отклонения  $R$

Пусть  $Z$  - *накопленное отклонение* ряда  $X$  от среднего  $X_{\text{нб}}$  (рис. 1.20):

$$z_u = \sum_{i=1}^u (x_i - X_{\text{нб}}).$$

Разность между максимальным и минимальным накопленным отклонением  $Z$  называется *размахом накопленного отклонения*  $R$ :

$$R = \max_{1 \leq u \leq N} \{z_u\} - \min_{1 \leq u \leq N} \{z_u\}.$$

Максимальное отклонение ряда наблюдений  $X$  от среднего значения  $X_{\text{нб}}$  называется *размахом отклонения*  $R_0$ :

$$R_0 = \max_{1 \leq i \leq N} |x_i - X_{\text{нб}}|.$$

На основании этих данных вычисляется параметр  $R/R_0$  - квадрат отношения размаха накопленного отклонения  $R$  к размаху отклонения  $R_0$  ряда - при разных объемах выборки  $N$ :

$$R/R = (R/R_0)^2. \quad (1.9)$$

Зависимость  $R/R=f(N)$  описывается теоретической моделью:

$$R/R = A + BN^C, \quad (1.10)$$

где  $A$ ,  $B$ ,  $C$  - коэффициенты модели, из которых  $B$  и  $C$  являются классифицирующими. Вся область существования фрактальных  $R/R$ -функций (рис. 1.21) делится на трендовую ( $T$ ), стационарную ( $C$ ) и колебательную ( $K$ ).

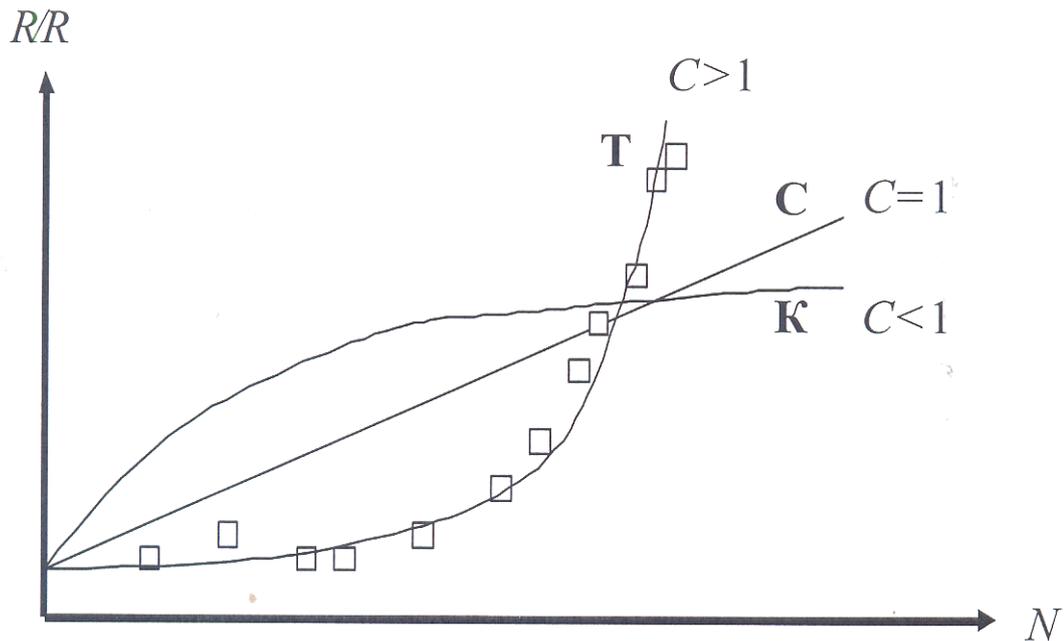


Рис. 1.21. Фрактальная плоскость  $R/R$ -метода; приведены области фрактальности ( $T$  – трендовая,  $C$  – стационарная,  $K$  – колебательная) и аппроксимируемые экспериментальные точки

Управление цифровых образовательных технологий

---

Методика осуществления стандартных и сертификационных испытаний,  
метрологических поверок средств измерений