

# Технические измерения

СКИФ



Кафедра «Автосервис»

Лекционный курс

Автор

Малая Е.В.

Ростов-на-Дону,  
2017

## **Аннотация**

Лекционный курс предназначен для студентов направления 23.03.02 – Технические измерения.

## **Автор**

**Малая Елена Викторовна –**

**к.т.н., доцент**

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Лекция 1 Тема: Техническое законодательство как основа деятельности по стандартизации, метрологии и подтверждению соответствия.....	4
Лекция 2. Тема: Основы технических измерений .....	16
Лекция 3. Тема: Понятие о физической величине.....	22
Лекция 4. Тема: Эталоны и образцовые средства измерений. Средства измерений ..	27
Лекция 5. Тема: Метрологические характеристики средств измерений Погрешности	34
Лекция 6. Тема: Метрологическое обеспечение .....	41
Лекция 7. Тема: Выбор и поверка средств измерений .....	48
Лекция 8. Тема: Измерительные средства для контроля точности размеров .....	56
Лекция 9. Тема: Статистическая обработка результатов измерений.....	68

Технические измерения

Лекция 1

**Тема: Техническое законодательство как основа деятельности по стандартизации, метрологии и подтверждению соответствия**

Учебные вопросы:

1 вопрос. Общая характеристика технического регулирования. Характеристика регулирующих мер.

*2 вопрос. Общая характеристика стандартизации. Объекты стандартизации*

3 вопрос. Сущность стандартизации

4 вопрос. Методы стандартизации

5 вопрос. Органы и службы стандартизации Российской Федерации

*6 вопрос. Международная и региональная стандартизация. Задачи международного сотрудничества в области стандартизации*

*Техническое законодательство* — совокупность правовых норм, регламентирующих требования к техническим объектам: продукции, процессам ее жизненного цикла и контроль (надзор) за соблюдением установленных требований.

Техническое законодательство — один из результатов деятельности по техническому регулированию как сферы государственного регулирования экономики. ФЗ о техническом регулировании является основным источником технического права в России.

Одним из основных условий вступления России в ВТО было соблюдение принципов технического регулирования, установленных в Соглашении по техническим барьерам в торговле, Соглашении по применению санитарных и фитосанитарных мер.

*1 вопрос. Общая характеристика технического регулирования. Характеристика регулирующих мер*

Эффективно работающий мировой рынок это экономическое пространство, в котором свободно перемещаются через границы государств товары, капитал, трудовые ресурсы, информация туда, где для них складываются более выгодные условия. Создание такого рынка возможно, если государство будет осуществлять функцию регулирования в отношении объектов и субъектов.

Безопасность продукции — главный приоритет системы технического регулирования. Если объектом регулирования является продукция, то регулирование заключается в поддержании определенного значения параметров безопасности с помощью технического Регулирование в отношении субъектов — это упорядочение отношений между ними как участниками работ по управлению параметрами объектов.

Техническое регулирование как частный случай управления проявляется прежде всего в принятии государством мер, направленных на устранение технических барьеров. Под *техническим барьером* понимаются различия в требованиях национальных и международных (зарубежных) стандартов, приводящие к дополнительным по сравнению с обычной коммерческой практикой затратам средств и (или) времени для продвижения товаров на соответствующий рынок.

Так, в начале 2003 г. в Нью-Йорке была отозвана из торговых точек партия российского молока "Можайское" и "Милая Мила", так как в продуктах был обнаружен сульфонамид— вещество, способное вызвать у человека аллергическую реакцию. Причина — в различии требования национальных

Технические измерения

стандартов. Хотя российские ГОСТы на пищевые продукты в целом жестче, но тест на сульфонамид ими не был предусмотрен (в связи с этим инцидентом велись переговоры о закупке соответствующего испытательного оборудования).

Приведенный пример иллюстрирует естественный "технический" барьер. Но в практике очень много было искусственно создаваемых технических барьеров для России, не являющейся до последнего времени членом ВТО. Очень часто они возникают из-за отсутствия соглашений о взаимном признании результатов оценки соответствия. Например, к нашей бытовой технике (автомобилям, холодильникам), поступающей на европейский рынок, часто предъявляют по отдельным характеристикам более жесткие требования, чем к продукции других европейских стран, несмотря на наличие сертификатов соответствия, выданных международнопризнанными органами по сертификации и признаваемых в странах ЕС.

Поэтому Россия, как и все другие страны, должна разрабатывать программы по преодолению барьеров в торговле, тем более что реализация данных программ дает огромный экономический эффект.

По данным Экономического комитета Азиатско-Тихоокеанского сотрудничества (АТЭС), разработанные программы по нетарифным барьерам в торговле (стандартизации, оценке соответствия) дают странам АТЭС 0,26% прибыли от фактического валового внутреннего продукта (около 45 млрд долл.), тогда как программа тарифного регулирования— всего лишь 0,14% (почти вдвое меньше).

В Германии эффект от применения мер технического регулирования достигает 1,0% ВВП.

Задача государственного регулирования не ограничивается обеспечением свободного перемещения товаров, как этого требует бизнес. Оно должно быть направлено на предотвращение появления опасных товаров на рынке в соответствии с требованиями граждан и общества (значение безопасности рассмотрено в предыдущей главе).

*Отсюда важнейшей задачей государства является разработка и реализация комплекса мер, обеспечивающих баланс между безопасностью поступающей на рынок продукции и ее свободным перемещением к потребителям (рис. 5).*

Как отмечается государство в рамках технического регулирования должно осуществлять три основные группы регулирующих мер.



Рис. 1. Цели государства в техническом регулировании рынка[30]

*Первая группа* — меры, основанные на законодательстве об ответственности за безопасность поставляемой продукции. Как правило, это законодательство формируется на базе законов о защите прав потребителей. Эта группа мер во многом определяет, насколько жесткими будут меры регулирования, принимаемые правительством по отношению к изготовителям.

Основным принципом рассматриваемой части законодательства должна быть *неотвратимость ответственности* изготовителя, а также той организации в

## Технические измерения

цепи "изготовитель — продавец — потребитель", по вине которой к потребителю поступила опасная продукция произошло искажение информации об ее фактических характеристиках.

*Вторая группа* — регулирующие меры, осуществляемые государством для достижения поставленных им целей в области безопасности продукции.

Средством достижения этих целей являются: 1) технические регламенты (а также стандарты, если они являются доказательной базой выполнения требований ТР); 2) оценка соответствия.

Технический регламент — наиболее жесткая регулирующая мера со стороны государства, когда другие меры регулирования не обеспечивают безопасности граждан и общества. Оценка соответствия (подтверждение соответствия, регистрация, госнадзор и др.) позволяет установить факт соблюдения обязательных требований.

*Третья группа* — меры, направленные на обеспечение качества и конкурентоспособности продукции на основе использования добровольных стандартов и добровольной сертификации, внедрения систем качества и т.д. Эти меры реализуют хозяйствующие субъекты при минимальном вмешательстве государства.

*2 вопрос. Общая характеристика стандартизации. Объекты стандартизации*

Объект стандартизации — продукция, работа, процессы, услуги, подлежащие или подвергшиеся стандартизации.

На рис. 1 показаны объекты стандартизации, охваченные национальным и стандартами.

В сфере стандартизации, кроме объектов технических регламентов, находятся бытовые услуги, которые не связаны с обеспечением безопасности продукции; процессы, которые связаны с нематериальным производством — статистической, банковской, издательской и прочей деятельностью; процессы учета и переработки информации; процессы защитного действия, связанные с охраной природы.

К другим объектам стандартизации относятся документация, климатические и механические факторы среды.

Сфера технического регулирования, представленная ТР, является частью сферы стандартизации. Четкой границы между ними нет, поскольку пока не предложены критерии отнесения процессов "к связанным и не связанным" с производством потенциально опасной продукции. Можно указать на пограничную зону, в которой происходит пересечение сфер действия различных федеральных законов.

Так, национальные стандарты, связанные с измерениями, являются нормативной базой ФЗ об обеспечении единства измерений и частью сферы стандартизации. Но те из них, которые связаны с измерением характеристик безопасности продукции и энергоэффективности продукции, входят в сферу технического регулирования, представленную ТР. Стандарты, регламентирующие измерение качества и количества продукции, находятся вне сферы технического регулирования.

В пограничной области также находится такой объект стандартизации, как безопасность труда. Так, объектами ТР являются средства индивидуальной и коллективной защиты. Но требования к производственным процессам в части обеспечения жизни и здоровья работающих не могут составлять предмет ТР, поскольку они (процессы) не влияют

Технические измерения



Рис. 1. Классификация объектов стандартизации



Рис. 2. Сферы стандартизации и технического регулирования на характеристики продукции.

Требования к этим процессам входят в сферу трудового законодательства РФ. Выше речь шла о национальных стандартах, составляющих сферу стандартизации. Но с учетом свода правил и других документов ФОИВ сфера стандартизации представляется еще более широкой и разнообразной.

Резкое различие сфер стандартизация и техническое регулирование вызывается тем, что система стандартизации направлена на достижение 24 целей согласно основополагающему национальному стандарту из которых только шесть посвящены повышению уровня безопасности .

3 вопрос. Сущность стандартизации

В процессе трудовой деятельности специалисту приходится решать *систематически повторяющиеся задачи*: измерение и учет количества продукции, составление технической и управленческой документации, измерение параметров технологических операций, контроль готовой продукции, упаковывание поставляемой продукции и т.д. Существуют различные варианты решения этих задач. *Цель стандартизации — выявление наиболее правильного и экономичного варианта, т.е. нахождение оптимального решения.* Найденное

Технические измерения

решение дает возможность достичь оптимального упорядочения в определенной области стандартизации. Для превращения этой возможности в действительность необходимо, чтобы найденное решение стало достоянием большого числа предприятий (организаций) и специалистов. Только при всеобщем и многократном использовании этого решения существующих и потенциальных задач возможен экономический эффект от проведенного упорядочения.

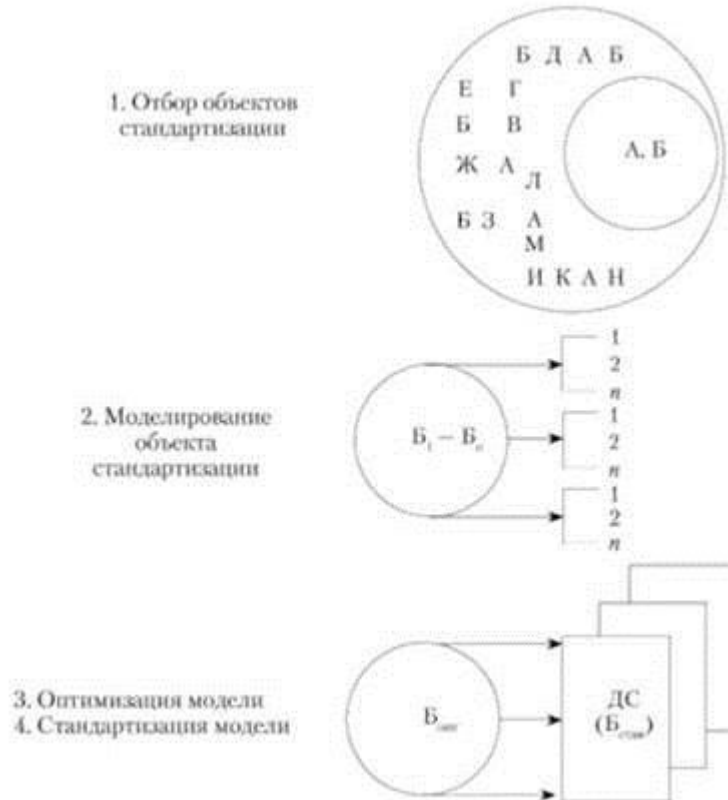


Рис. 3. Механизм стандартизации

На примере модели конкретного объекта рассмотрим механизм стандартизации (рис. 11). Можно выделить следующие четыре этапа работ по стандартизации .

1. Отбор объектов стандартизации.

Существует определенная совокупность объектов и действий с ними: А; Б; В; Г; Д; Ж; З; И; К...

Допустим, в учреждении используется определенный набор типов организационно-распорядительных документов — приказов, докладных записок и т.д. Некоторые из них составляются систематически, другие — в разовом порядке: А; Б; В; Г; Б; Д; А; Ж; Б; З; А; Б; Б...

Объектом стандартизации становятся повторяющиеся объекты — Б и А, в нашем примере — отдельные типы документов.

2. Моделирование объекта стандартизации (например, объекта Б).

Нужно учесть, что процессу стандартизации подвергаются не сами объекты как материальные предметы, а информация о них, отображающая их существенные стороны (признаки, свойства), т.е. абстрактная модель реального объекта. Например, для организационно-распорядительного документа такими признаками являются: состав реквизитов (наименование организации — 1, наименование документа — 2, юридический адрес — 3); оформление реквизитов (форма — 1, содержание — 2, месторасположение — 3); требования (к учету — 1, к содержанию — 2, к корректировке действующего стандарта — 3).

3. Оптимизация модели (Б...).



## Технические измерения

В разных организациях варианты исполнения объекта, т.е. документа Б, могут быть разными: Б,, Б2, Б3, Б5. В частности, возможны разный состав реквизитов, различное их оформление, использование разных бланков и т.д. Задача стандартизаторов — унифицировать документ, отобрав наилучший вариант состава реквизитов, необходимый уровень оформления, оптимальный формат бланка. Оптимальное решение достигается общенаучными методами и методами стандартизации (симплификация, типизация и прочие методы, разобранные в разд. 2). В результате преобразования получается оптимальная модель стандартизируемого объекта.

### 4. Стандартизация модели (Б....).

На заключительном этапе осуществляется собственно стандартизация — разработка нормативного документа в области стандартизации (далее — ДС) на базе унифицированной модели.

Из рассмотренного механизма становится понятна сущность стандартизации как деятельности, направленной на достижение упорядоченности объектов.

*Стандартизация* — деятельность, направленная на достижение оптимальной степени упорядочения в определенной области посредством установления положений для всеобщего и многократного использования в отношении реально существующих или потенциальных задач (2.2).

В России "существуют" две системы стандартизации:

- национальная система, которая действует в общероссийском масштабе;
- локальная система, которая действует в рамках организации (отрасли, компании, объединения, учреждения, предприятия).

### 4 вопрос. Методы стандартизации

Выше была дана характеристика стандартизации как вида деятельности. Но стандартизация — одновременно и комплекс методов, необходимых для установления оптимального решения повторяющихся задач и узаконивания его в качестве норм и правил.

***Метод стандартизации — это прием или совокупность приемов, с помощью которых достигаются цели стандартизации***

Стандартизация базируется на общенаучных и специфических методах. Ниже рассматриваются широко применяемые в работах по стандартизации методы: 1) упорядочение объектов стандартизации; 2) параметрическая стандартизация; 3) унификация продукции; 4) агрегатирование; 5) комплексная стандартизация; 6) опережающая стандартизация.

*Систематизация* объектов стандартизации заключается в научно обоснованном, последовательном классифицировании и ранжировании совокупности конкретных объектов стандартизации. Примером результата работы по систематизации продукции может служить Общероссийский классификатор промышленной и сельскохозяйственной продукции (ОКП), который систематизирует всю товарную продукцию (прежде всего по отраслевой принадлежности) в виде различных классификационных группировок и конкретных наименований продукции.

*Симплификация* — деятельность, заключающаяся в определении таких конкретных объектов, которые признаются нецелесообразными для дальнейшего производства и применения в общественном производстве

## Технические измерения

### *Система стандартизации в Российской Федерации*

Общая характеристика системы и этапы ее реформирования

*Система стандартизации* — совокупность правил выполнения работ по стандартизации, состава ее участников, правил функционирования системы в целом.

Из определения очевидно, что система стандартизации, как и любая управленческая система (система качества, система сертификации), состоит из субъекта и объекта. В роли *субъектов* выступают участники работ по стандартизации, ключевыми из которых являются органы и службы стандартизации, а в качестве *объектов* — документы в области стандартизации (ДС) как носители правил процедур ее осуществления.

Одним из важнейших положений ФЗ о техническом регулировании (1.1) является *установление единой системы документации* по стандартизации: национальных стандартов, общероссийских классификаторов (в том числе правил их разработки и применения), сводов правил, стандартов организаций, стандартов иностранных государств и т.д. (см. подр. 1.2).

На 1 января 2012 г. фонд документов национальной системы стандартизации включал более 25 000 документов

Более точно: ГОСТ — 18200; ГОСТ Р — 5956 документов; правил и рекомендаций — 1004.

Ключевыми документами являются стандарты комплекса "Стандартизация в Российской Федерации". В его составе (на 01.01.13) 16 национальных стандартов (ГОСТ Р), в том числе *основополагающий стандарт ГОСТ Р. 0—2004 (2.6), определяющий основные положения системы стандартизации в стране.*

В крупных странах Европы по объему он примерно такой же: в Германии — 27 179, Великобритании — 22 589, Франции — 26 544 ед. Но фонд НД, действующих в России, не ограничен только национальными стандартами. Надо учесть упомянутые выше нормы федеральных органов исполнительной власти (СанПиНы. СНиПы и пр.)

В перспективе (можно предположить, после 2020 г.) действующая система стандартизации окончательно приобретет форму и содержание, соответствующие идее, заложенной в се организацию, и зарубежной практике. Она будет возглавляться негосударственной организацией. В связи с окончанием формирования фонда ТР национальные стандарты станут документами сугубо добровольного применения.

Изменение статуса системы не означает, что государство не будет участвовать в деятельности национальной системы. Его регулирующая роль заложена в ст. 11—17 ФЗ о техническом регулировании. В частности, она проявляется в регламентировании целей и принципов стандартизации, задач национального органа РФ по стандартизации, правил разработки и утверждения национальных стандартов.

В перспективе функции национального органа по стандартизации предполагается с учетом зарубежного опыта передать негосударственной организации — "некоммерческому партнерству".

В промышленно развитых странах — членах ЕС, прежде всего Великобритании, Германии, Франции, функционируют такие национальные органы по стандартизации, как Британский институт стандартов — BSI; Немецкий институт стандартов — DIN; Французская ассоциация по стандартизации — AFNOR. Все названные зарубежные организации носят некоммерческий характер. Членство в них не ограничено: сюда входят представители государственных

## Технические измерения

организаций и фирм, разработчики и потребители нормативных документов. Например, BS1 сплотила свыше 15 тыс. специалистов, AFNOR— более 3 тыс., DIN — около 2 тыс.

Участие государства в деятельности этих организаций регламентировано соответствующими документами (меморандумом, договором).

5 вопрос. Органы и службы стандартизации Российской Федерации

Органы и службы стандартизации — организации, учреждения, объединения и их подразделения, основной деятельностью которых является осуществление работ по стандартизации или выполнение определенных функций по стандартизации.

Органы по стандартизации — это органы, признанные на определенном уровне, основная функция которых состоит в руководстве работами по стандартизации.

Конституция РФ (п. "р" ст. 71) относит стандарты к вопросам исключительного ведения Российской Федерации. Поскольку ведение стандартов является функцией государства, то ФЗ о техническом регулировании (ст. 14) установлено, что Правительство РФ определяет орган, уполномоченный на исполнение функций национального органа. Уполномоченный орган должен быть федеральным органом исполнительной власти, который действует от имени национального органа. Постановлением Правительства (1.5) установлено, что Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии осуществляет функции национального органа по стандартизации.

Национальный орган по стандартизации осуществляет весь комплекс работ по стандартизации, начиная от разработки национальных стандартов и заканчивая их опубликованием и распространением. Национальный орган по стандартизации участвует в разработке международных и региональных стандартов и представляет Российскую Федерацию в международных организациях, осуществляющих деятельность в области стандартизации.

Росстандарт осуществляет свои функции непосредственно и через свои межрегиональные территориальные управления (МТУ), а также российские службы стандартизации.

В структуру Госстандарта входят:

- Центральное межрегиональное территориальное управление (место расположения центрального аппарата территориального органа — г. Москва);
- Северо-Западное межрегиональное территориальное управление (место расположения центрального аппарата территориального органа — г. Санкт-Петербург);
- Южное межрегиональное территориальное управление (место расположения центрального аппарата территориального органа — г. Ростов-на-Дону);
- Приволжское межрегиональное территориальное управление (место расположения центрального аппарата территориального органа — г. Нижний Новгород);
- Уральское межрегиональное территориальное управление (месторасположения центрального аппарата территориального органа — г. Екатеринбург);
- Сибирское межрегиональное территориальное управление (место расположения центрального аппарата территориального органа — г. Новосибирск);

## Технические измерения

- Дальневосточное межрегиональное территориальное управление (место расположения центрального аппарата территориального органа — г.Хабаровск).

МТУ осуществляют технадзор как в сфере технического регулирования, так и в сфере обеспечения единства измерений.

В сфере технического регулирования МТУ осуществляют надзор за соблюдением требований технических регламентов и обязательных требований национальных стандартов.

Службы стандартизации — специально создаваемые организации и подразделения для проведения работ по стандартизации на определенных уровнях управления — государственном, отраслевом, предприятий (организации).

Российские службы стандартизации — научно-исследовательские институты Росстандарта и технические комитеты по стандартизации.

*Технические комитеты по стандартизации (ТК)* создаются на базе организаций, специализирующихся по определенным видам продукции (услуг) и имеющих в данной области наиболее высокий научно-технический потенциал. *Основная функция ТК — разработка стандартов.* В настоящее время зарегистрировано 354 ТК.

*б вопрос. Международная и региональная стандартизация. Задачи международного сотрудничества в области стандартизации*

Неуклонное расширение международных связей не позволяет стандартизации замыкаться в рамках отдельного государства. Для успешного осуществления торгового, экономического и научно-технического сотрудничества различных стран первостепенное значение имеет международная стандартизация. Необходимость разработки международных стандартов становится все более очевидной, так как различия национальных стандартов на одну и ту же продукцию, предлагаемую на мировом рынке, являются барьером на пути развития международной торговли, тем более что темпы роста международной торговли в три-четыре раза превышают темпы развития национальных экономик. Так, за последние 50 лет объем международной торговли возрос примерно в 18 раз, а совокупный ВВП — только в шесть раз.

По оценкам специалистов, стандарты влияют на 80% объема международной торговли. Как заявила одна европейская компания, оперирующая на рынке США, из-за различий между европейскими и американскими стандартами и соответствующими требованиями к процедуре сертификации она несет потери на уровне 15% своего валового оборота.

Отсутствие единых мировых стандартов приводит к удорожанию продукции. Не случайно международные стандарты сравниваются с ключом, который открывает рынки. Так, 84% компаний и фирм Германии продвигают свои товары на мировой рынок, используя международные и европейские стандарты. Основной задачей международного научно-технического сотрудничества в области стандартизации является *гармонизация*, т.е. согласование национальной системы стандартизации с международной, региональными и прогрессивными национальными системами стандартизации зарубежных стран в целях повышения уровня российских стандартов, качества отечественной продукции и ее конкурентоспособности на мировом рынке.

Международные организации по стандартизации

*Международная стандартизация* — это совокупность организаций по стандартизации и продуктов их деятельности: стандартов, рекомендаций, технических отчетов и другой научно-технической продукции. В области международной стандартизации работают Международная организация по

## Технические измерения

стандартизации (ИСО), Международная электротехническая комиссия (МЭК) и Международный союз электросвязи (МСЭ). Ниже рассматривается деятельность ИСО и МЭК как наиболее крупных международных организаций по стандартизации и дается краткая справка о МСЭ.

*Международная организация по стандартизации ISO (ИСО)* функционирует с 1947 г. Сфера деятельности ИСО охватывает стандартизацию во всех областях, за исключением электроники и электротехники, которые относятся к компетенции МЭК. По состоянию на 1 июля 2010 г. в работе ИСО участвовала 161 страна. СССР был одним из основателей организации. Денежные фонды ИСО состояются из взносов стран-членов, от продажи стандартов и других изданий, пожертвований. Органами ИСО являются Генеральная Ассамблея, Совет ИСО, комитеты Совета, технические комитеты и Центральный секретариат; высший орган ИСО — Генеральная Ассамблея (рис. 4).

В период между сессиями Генеральной Ассамблеи работой организации руководит Совет, в который входят представители национальных организаций по стандартизации. При Совете создано Бюро по техническому управлению, которое руководит техническими комитетами ИСО. Проекты международных стандартов разрабатываются непосредственно рабочими группами, действующими в рамках технических комитетов. В рамках ИСО функционирует более чем 190 технических комитетов.

Технические комитеты (ТК) подразделяются на общетехнические и комитеты, работающие в конкретных областях техники. Общетехнические ТК решают общетехнические и межотраслевые задачи. К ним, например, относятся ТК 12 "Единицы измерений", ТК 19 "Предпочтительные числа", ТК 37 "Терминология". Остальные ТК действуют в конкретных областях техники (ТК 22 "Автомобили", ТК 39 "Станки" и др.). ТК, деятельность которых охватывает целую отрасль (химия, авиационная и космическая техника и др.), организуют подкомитеты (ПК) и рабочие группы (РГ).

Технические измерения



Рис.4 .- Структура ИСО

Руководство 12 "Сравнительные испытания потребительских товаров";  
 Руководство 14 "Информация о товарах для потребителей"; Руководство 36  
 "Разработка стандартных методов измерения эксплуатационных характеристик  
 потребительских товаров".

В зависимости от степени заинтересованности каждый член ИСО определяет статус своего участия в работе каждого ТК. Членство может быть активным и в качестве наблюдателей. Проект международного стандарта (МС) считается принятым, если он одобрен большинством (75%) активных членов ТК.

К началу 2010 г. действовало более 18 тыс. МС ИСО". Из них 75% — основополагающие стандарты и стандарты н методы испытаний.

Актуальной задачей ИСО является совершенствование структуры фонда стандартов. В начале 1990-х гг. преобладали стандарты в области машиностроения (около 30%), химии (около 12,5%). На долю стандартов в

## Технические измерения

области здравоохранения и медицины приходилось всего 3,5%, охраны окружающей среды — 3%. Относительно небольшую долю (около 10,5%) занимали стандарты в области информатики, электроники и информационного обеспечения. В перспективе социальные сферы (защита окружающей среды, здравоохранение), а также информационные технологии должны стать приоритетными в деятельности ИСО.

*Технические требования (75)* представляют собой нормативный документ, по которому достигнут консенсус среди членов ТК (ПК) ИСО. Из всех новых документов они наиболее близки к международным стандартам. В тех случаях, когда ТК решил разработать международный стандарт, но обнаружил, что для этого не имеется достаточного основания (объект еще находится в стадии технической разработки, есть сомнения относительно достижения консенсуса и пр.), комитет может принять этот документ в качестве TS. Примером такого документа может служить ISO/TS 16949 : 2003 "Системы менеджмента качества. Частные требования по применению ИСО 9001 в автомобильной промышленности и организациях, производящих запасные части".

В настоящее время в ИСО действуют около 500 документов этого вида.

*Общедоступные технические требования (PAS)* представляют собой нормативный документ, по которому достигнут консенсус среди экспертов РГ ИСО или МЭК. По существу, это первая версия стандарта. В настоящее время в ИСО действуют (или находятся в разработке) 19 документов этого вида. В М Л К действует 48 документов PAS. Примером является ISO/PAS 17003 : 2004 "Оценка соответствия. Жалобы и апелляции. Принципы и требования".

*Технический отчет (TR)* — это информационный документ, поэтому он не может содержать положений нормативного характера. Этот документ готовится в тех случаях, когда ТК (или ПК) ИСО или МЭК собрали данные, которые, по их мнению, необходимо довести до сведения всех заинтересованных сторон. В ИСО разработано 513 TR, в МЭК — 5. В качестве примера можно привести ISO/TR 10017 :2003 "Руководящие указания по применению статистических методов при внедрении стандарта ИСО 9001 : 2000".

Помимо рассмотренных трех видов документов, в последние годы стали разрабатываться документы вне технических структур международных организаций по стандартизации. Их создание - результат консенсуса участников семинара. К ним относится, например, "Соглашение международного семинара" (International Workshop Agreements - IWA).

## Контрольные вопросы

1. Каковы задачи международного сотрудничества в области стандартизации?
2. Когда была создана Международная организация по стандартизации ISO?
3. Что относится к органам по стандартизации ?
4. Что такое симплификация?
5. Назовите этапы работ по стандартизации .
- 6.Какие меры в рамках технического регулирования должно осуществлять государство ?
7. Что такое безопасность продукции?
8. Что входит в структуру Госстандарта?

## Лекция 2.

### Тема: Основы технических измерений

Учебные вопросы:

- 1 вопрос. Понятие о метрологии
- 2 вопрос. Термины
- 3 вопрос. Классификация измерений
- 4 вопрос. Основные характеристики измерений

1 вопрос. Понятие о метрологии. *Метрология* – наука об измерениях, методах и средствах обеспечения их единства и способах достижения требуемой точности.

*Общую*, которая в свою очередь включает: *теоретическую* – занимается вопросами фундаментальных исследований, созданием системы единиц измерений, физических постоянных, разработкой новых методов измерений;

экспериментальную – занимается вопросами создания эталонов, образцов мер, разработкой новых измерительных приборов, устройств и информационных систем;

*Законодательная* метрология включает комплекс взаимосвязанных и взаимообусловленных общих правил, а также другие вопросы, регламентация и контроль которых необходим со стороны государства для обеспечения единства измерений и единообразия средств измерения (СИ).

Происхождение самого термина «метрология» возводят к двум греческим словам: *metron*, что переводится как «мера», и *logos* – «учение». Бурное развитие метрологии пришлось на конец XX в. Оно неразрывно связано с развитием новых технологий. До этого метрология была лишь описательным научным предметом. Следует отметить и особое участие в создании этой дисциплины Д. И. Менделеева, которому подевалось вплотную заниматься метрологией с 1892 по 1907 гг... когда он руководил этой отраслью российской науки. Таким образом, можно сказать, что метрология изучает:

1) методы и средства для учета продукции по следующим показателям: длине, массе, объему, расходу и мощности;

2) измерения физических величин и технических параметров, а также свойств и состава веществ;

3) измерения для контроля и регулирования технологических процессов.

Выделяют несколько основных направлений метрологии:

1) общая теория измерений;

2) системы единиц физических величин;

3) методы и средства измерений;

4) методы определения точности измерений;

5) основы обеспечения единства измерений, а также основы единообразия средств измерения;

6) эталоны и образцовые средства измерений;

7) методы передачи размеров единиц от образцов средств измерения и от эталонов рабочим средствам измерения. Важным понятием в науке метрологии является единство измерений, под которым подразумевают такие измерения при



## Технические измерения

которых итоговые данные получаются в узаконенных единицах, в то время как погрешности данных измерений получены с заданной вероятностью. Необходимость существования единства измерений вызвана возможностью сопоставления результатов различных измерений, которые были проведены в различных районах, в различные временные отрезки, а также с применением разнообразных методов и средств измерения.

Следует различать также объекты метрологии:

- 1) единицы измерения величин;
- 2) средства измерений;
- 3) методики, используемые для выполнения измерений и т. д.

Метрология включает в себя: во—первых, общие правила, нормы и требования, во—вторых, вопросы, нуждающиеся в государственном регламентировании и контроле. И здесь речь идет о:

- 1) физических величинах, их единицах, а также об их измерениях;
- 2) принципах и методах измерений и о средствах измерительной техники;
- 3) погрешностях средств измерений, методах и средствах обработки

результатов

- измерений с целью исключения погрешностей;
- 4) обеспечении единства измерений, эталонах, образцах;
- 5) государственной метрологической службе;
- 6) методике поверочных схем;
- 7) рабочих средствах измерений.

В связи с этим задачами метрологии становятся: усовершенствование эталонов, разработка новых методов точных измерений, обеспечение единства и необходимой точности измерений.

2 вопрос. Термины

Очень важным фактором правильного понимания дисциплины и науки метрология служат используемые в ней термины и понятия. Надо сказать, что, их правильная формулировка и толкование имеют первостепенное значение, так как восприятие каждого человека индивидуально и многие, даже общепринятые термины, понятия и определения он трактует по—своему, используя свой жизненный опыт и следуя своим инстинктам, своему жизненному кредо. А для метрологии очень важно толковать термины однозначно для всех, поскольку такой подход дает возможность оптимально и целиком понимать какое—либо жизненное явление. Для этого был создан специальный стандарт на терминологию, утвержденный на государственном уровне. Поскольку Россия на сегодняшний момент воспринимает себя частью мировой экономической системы, постоянно идет работа над унификацией терминов и понятий, создается международный стандарт. Это, безусловно, помогает облегчить процесс взаимовыгодного сотрудничества с высокоразвитыми зарубежными странами и партнерами. Итак, в метрологии используются следующие величины и их определения:

- 1) физическая величина, представляющая собой общее свойство в отношении качества большого количества физических объектов, но индивидуальное для каждого в смысле количественного выражения;
- 2) единица физической величины, что подразумевает под собой физическую величину, которой по условию присвоено числовое значение, равное единице;
- 3) измерение физических величин, под которым имеется в виду количественная и качественная оценка физического объекта с помощью средств измерения;

Технические измерения

4) средство измерения, представляющее собой техническое средство, имеющее нормированные метрологические характеристики. К ним относятся измерительный прибор, мера, измерительная система, измерительный преобразователь, совокупность измерительных систем;

5) измерительный прибор представляет собой средство измерений, вырабатывающее информационный сигнал в такой форме, которая была бы понятна для непосредственного восприятия наблюдателем;

6) мера – также средство измерений, воспроизводящее физическую величину заданного размера. Например, если прибор аттестован как средство измерений, его шкала с оцифрованными отметками является мерой;

7) измерительная система, воспринимаемая как совокупность средств измерений, которые соединяются друг с другом посредством каналов передачи информации для выполнения одной или нескольких функций;

8) измерительный преобразователь – также средство измерений, которое производит информационный измерительный сигнал в форме, удобной для хранения, просмотра и трансляции по каналам связи, но не доступной для непосредственного восприятия;

9) принцип измерений как совокупность физических явлений, на которых базируются измерения;

10) метод измерений как совокупность приемов и принципов использования технических средств измерений;

11) методика измерений как совокупность методов и правил, разработанных метрологическими научно—исследовательскими организациями, утвержденных в законодательном порядке;

12) погрешность измерений, представляющую собой незначительное различие между истинными значениями физической величины и значениями, полученными в результате измерения;

13) основная единица измерения, понимаемая как единица измерения, имеющая эталон, который официально утвержден;

14) производная единица как единица измерения, связанная с основными единицами

на основе математических моделей через энергетические соотношения, не имеющая эталона;

15) эталон, который имеет предназначение для хранения и воспроизведения единицы физической величины, для трансляции ее габаритных параметров нижестоящим по поверочной схеме средствам измерения. Существует понятие «первичный эталон», под которым понимается средство измерений, обладающее наивысшей в стране точностью. Есть понятие «эталон сравнений», трактуемое как средство для связи эталонов межгосударственных служб. И есть понятие «эталон— копия» как средство измерений для передачи размеров единиц образцовым средствам;

16) образцовое средство, под которым понимается средство измерений, предназначенное только для трансляции габаритов единиц рабочим средствам измерений;

17) рабочее средство, понимаемое как «средство измерений для оценки физического явления»;

18) точность измерений, трактуемая как числовое значение физической величины, обратное погрешности, определяет классификацию образцовых средств измерений. По трансляции по каналам связи, но не доступной для непосредственного восприятия;

## Технические измерения

3 вопрос. Классификация измерений

Классификация средств измерений может проводиться по следующим критериям.

По характеристике точности измерения делятся на равноточные и неравноточные.

По показателю точности измерений средства измерения можно разделить на: наивысшие, высокие, средние, низкие.

По реализации процедуры измерения средства измерения бывают *элементарными* и *комплексными*. Элементарные предназначены для реализации отдельных операций прямого измерения (это меры, устройства сравнения и измерительные преобразователи; каждое из них в отдельности не может произвести операцию измерения).

Комплексные средства измерений предназначены для реализации всей процедуры измерения (это измерительные приборы, измерительные установки и измерительные системы)

По отношению к измеряемой физической величине средства измерений подразделяются на основные (ср-ва изм. той ФВ, значение которой необходимо получить в соответствии с измерительной задачей) и вспомогательные (ср-ва изм. той ФВ, влияние которой на основное ср-во изм. или объект изм. необходимо учесть для получения результатов требуемой точности). По роли, выполняемой в системе обеспечения единства измерений, средства измерений подразделяются на *метрологические* и *рабочие*.

Метрологические – предназначены для воспроизведения и (или) хранения единицы или передачи размера единицы рабочим средствам измерений.

Рабочие – предназначены для измерений, не связанных с передачей размера единиц.

По уровню автоматизации – неавтоматические, автоматизированные (производящие в автоматическом режиме одну или часть измерительной операции) и автоматические (производящие в автоматическом режиме измерения и все операции, связанные с обработкой их результатов, регистрацией, передачей данных или выработкой управляющих сигналов).

По уровню стандартизации – на стандартизованные (т.е. изготовленные в соответствии с требованиями соответствующего государственного или иного стандарта) и нестандартизованные (или уникальные, т.е. применяемые для решения специфических измерительных задач в специальных направлениях науки и техники).

Метрологические измерения – это измерения, выполняемые с использованием эталонов.

По способу представления результата измерения делятся на абсолютные и относительные.

Абсолютные измерения – это измерения, которые выполняются посредством прямого, непосредственного измерения основной величины и (или) применения физической константы.

Относительные измерения – это измерения, при которых вычисляется отношение однородных величин, причем числитель является сравниваемой величиной, а знаменатель – базой сравнения (единицей). Результат измерения будет зависеть от того, какая величина принимается за базу сравнения.

По методам получения результатов измерения делятся на прямые, косвенные, совокупные и совместные.

## Технические измерения

Прямые измерения – это измерения, выполняемые при помощи мер, т. е. измеряемая величина сопоставляется непосредственно с ее мерой. Примером прямых измерений является измерение величины угла (мера – транспортир).

Косвенные измерения – это измерения, при которых значение измеряемой величины вычисляется при помощи значений, полученных посредством прямых измерений, и некоторой известной зависимости между данными значениями и измеряемой величиной.

Совокупные измерения – это измерения, результатом которых является решение некоторой системы уравнений, которая составлена из уравнений, полученных вследствие измерения возможных сочетаний измеряемых величин.

Совместные измерения – это измерения, в ходе которых измеряется минимум две неоднородные физические величины с целью установления существующей между ними зависимости.

Любое измерение заключается в сравнении путем физического эксперимента данной величины с некоторым ее значением, принятым за единицу сравнения, с так называемой *мерой*.

Получаемая при измерениях ФВ информация называется *измерительной*. Измерять можно лишь свойства реально существующих объектов познания, отражаемые физическими величинами. Измерение основывается на экспериментальных процедурах. Никакие теоретические рассуждения или расчеты сами по себе не могут классифицироваться как измерение. Количественные и качественные проявления любого свойства отражаются множествами, которые образуют *шкалы измерения*.

Шкала физической величины – упорядоченная последовательность значений физической величины, принятая по результатам точных измерений.

Различают 4 типа шкал: *шкала наименований*, *шкала порядка*, *шкала интервалов* и *шкала отношений*.

Шкала наименований – основана на приписывании объекту цифр (или знаков), играющих роль простых имен. Это приписывание служит для нумерации предметов только с целью их идентификации или для нумерации. Это то же, что и наименование, поэтому с цифрами такой шкалы нельзя производить никаких арифметических действий.

Шкала порядка предполагает упорядочение объектов относительно какого-либо определенного их свойства, т.е. расположение их в порядке возрастания или убывания данного свойства. Полученный таким образом упорядоченный ряд называют ранжированным, а саму процедуру – ранжированием. По шкале порядка сравнивают однородные объекты, у которых значения интересующих свойств неизвестны. Т.о. ранжированный ряд может дать ответы на вопросы типа «больше-меньше», «лучше-хуже» и т.д. Назвать процедуру оценивания свойств объекта по шкале порядка измерением можно только с большой натяжкой. Результаты оценивания по шкале порядка тоже не могут подвергаться никаким арифметическим действиям. Небольшое усовершенствование такой шкалы, тем не менее, позволяет применить ее для численной оценки величин, если отсутствует единица величины. Расположив объекты в порядке возрастания того или иного свойства, некоторые точки ранжированного ряда фиксируют в качестве реперных (отправных). Совокупность реперных точек образует своего рода «лестницу» -

## Технические измерения

шкалу возможных проявлений соответствующего свойства (натуральную шкалу). Реперным точкам можно поставить в соответствие цифры – баллы, таким образом, появляется возможность «измерения» данного свойства в баллах. Например, для измерения скорости ветра в 1805 году Бофортом была предложена натуральная шкала скорости ветра в баллах, которая использовалась до 1964 года, когда международным соглашением был принят ее перевод в м/с. По натуральным шкалам до сих пор оценивают интенсивность землетрясений, морское волнение, твердость минералов и др. Основным недостатком натуральных шкал является полное отсутствие уверенности в том, что интервалы между выбранными реперными точками являются равновеликими, а следовательно, по такой шкале невозможно выделить единицу измерения и оценить погрешность полученной оценки.

Шкала интервалов отличается от натуральной тем, что для ее построения определяют единицу ФВ. На шкале интервалов откладывают разность значений ФВ, сами же значения остаются неизвестными. Например, шкалы температур. Деление шкалы интервалов на равные части – градации – устанавливает единицу физической величины, что позволяет не только выразить результат измерения в числовой мере, но и оценить погрешность измерения.

Результаты измерений по шкале интервалов можно складывать друг с другом, или вычитать друг из друга, т.е. определять, на сколько одно значение больше другого. Определить по шкале интервалов, во сколько раз одно значение величины больше или меньше другого нельзя, поскольку на этой шкале не определено начало отсчета физической величины. В то же время, это можно сделать в отношении интервалов, например, разность температур в 25 градусов в 5 раз больше разности температур в 5 градусов. Шкала отношений – это интервальная шкала с естественным началом. Например, если за начало температурной шкалы принять абсолютный ноль, то по такой шкале можно определять не только на сколько одно значение больше или меньше другого, но и во сколько раз:  $T_1/T_2 = n$ .

В общем случае, при сравнении между собой двух величин  $X$  по такому правилу значения  $n$ , расположенные в порядке возрастания или убывания, образуют шкалу отношений. Она охватывает интервал значений  $n$  от 0 до  $\infty$  и, в отличие от шкалы интервалов, не содержит отрицательных значений. Шкала отношений является наиболее совершенной и информативной. Результаты измерений по шкале отношений можно складывать, вычитать, перемножать или делить. Из описания различных типов шкал следует, что определению измерения соответствуют только процедуры определения разностей величин по шкале интервалов или определение величины по шкале отношений. Измерения как экспериментальные процедуры классифицируются по разным признакам.

По реализации процедуры измерения средства измерений бывают *элементарными* и *комплексными*. Элементарные предназначены для реализации отдельных операций прямого измерения (это меры, устройства сравнения и измерительные преобразователи; каждое из них в отдельности не может произвести операцию измерения). Комплексные средства измерений предназначены для реализации всей процедуры измерения (это измерительные приборы, измерительные установки и измерительные системы) По отношению к измеряемой физической величине средства измерений

## Технические измерения

подразделяются на основные (ср-ва изм. той ФВ, значение которой необходимо получить в соответствии с измерительной задачей) и вспомогательные (ср-ва изм. той ФВ, влияние которой на основное ср-во изм. или объект изм. необходимо учесть для получения результатов требуемой точности).

### 4. Основные характеристики измерений

Выделяют следующие основные характеристики измерений:

- 1) метод, которым проводятся измерения;
- 2) принцип измерений;
- 3) погрешность измерений;
- 4) точность измерений;
- 5) правильность измерений;
- 6) достоверность измерений.

Метод измерений – это способ или комплекс способов, посредством которых производится измерение данной величины, т. е. сравнение измеряемой величины с ее мерой согласно принятому принципу измерения.

Существует несколько критериев классификации методов измерений.

1. По способам получения искомого значения измеряемой величины выделяют:

а) прямой метод (осуществляется при помощи прямых, непосредственных измерений);

б) косвенный метод.

2. По приемам измерения выделяют:

а) контактный метод измерения;

б) бесконтактный метод измерения

При бесконтактном методе измерения измерительный прибор не контактирует непосредственно с измеряемым объектом. Контактный метод измерения основан на непосредственном контакте какой-либо части измерительного прибора с измеряемым объектом.

## Контрольные вопросы

1. Что такое контактный метод измерения?
2. Что такое метод измерений ?
3. Назовите основные характеристики измерений.
4. Что такое измерительный прибор?
5. Сколько существует типов шкал?
6. По каким критериям проводится Классификация средств измерений?
7. Что такое измерительный прибор?
9. Что такое метрология, какие вопросы она решает ?

## Лекция 3.

### Тема: Понятие о физической величине

Учебные вопросы:

1. Понятие о физической величине.
2. История развития системы единиц физических величин.
3. Физические величины и измерения

1 вопрос. Понятие о физической величине. Физическая величина является понятием как минимум двух наук: физики и метрологии. По определению

## Технические измерения

физическая величина представляет собой некое свойство объекта, процесса, общее для целого ряда объектов по качественным параметрам, отличающееся, однако, в количественном отношении (индивидуальная для каждого объекта).

Классическим примером иллюстрации этого определения служит тот факт, что, обладая собственной массой и температурой, все тела имеют индивидуальные числовые значения этих параметров. Соответственно размер физической величины считается ее количественным наполнением, содержанием, а в свою очередь значение физической величины представляет собой числовую оценку ее размеров. В связи с этим существует понятие однородной физической величины, когда она является носителем аналогичного свойства в качественном смысле. Таким образом, получение информации о значениях физической величины как некоего числа принятых для нее единиц и есть главная задача измерений. И, соответственно, физическая величина, которой по определению присвоено условное значение, равное единице, есть единица физической величины. Вообще же все значения физических величин традиционно делят на: истинные и действительные. Первые представляет собой значения, идеальным образом отражающие в качественном и количественном отношении соответствующие свойства объекта, а вторые – значения, найденные экспериментальным путем и настолько приближенные к истине, что могут быть приняты вместо нее. Однако этим классификация физических величин не исчерпывается. Есть целый ряд классификаций, созданных по различным признакам

Основными из них является деления на:

1) активные и пассивные физические величины – при делении по отношению к сигналам измерительной информации. Причем первые (активные) в данном случае представляют собой величины, которые без использования вспомогательных источников энергии имеют вероятность быть преобразованными в сигнал измерительной информации. А вторые (пассивные) представляют собой такие величины, для измерения которых нужно использовать вспомогательные источники энергии, создающие сигнал измерительной информации;

2) аддитивные (или экстенсивные) и неаддитивные (или интенсивные) физические величины – при делении по признаку аддитивности. Считается, что первые (аддитивные) величины измеряются по частям, кроме того, их можно точно воспроизводить с помощью многозначной меры, основанной на суммировании размеров отдельных мер. А вторые (неаддитивные) величины прямо не измеряются, так как они преобразуются в непосредственное измерение величины или измерение путем косвенных измерений.

2 вопрос. История развития системы единиц физических величин. В 1791 г. Национальным собранием Франции была принята первая в истории система единиц физических величин. Она представляла собой метрическую систему мер. В нее входили: единицы длин, площадей, объемов, вместимостей и веса. А в их основу были положены две общеизвестные ныне единицы: метр и килограмм. Ряд исследователей считают, что, строго говоря, эта первая система не является системой единиц в современном понимании. И лишь в 1832 г. немецким математиком К. Гауссом была разработана и опубликована новейшая методика построения системы единиц, представляющая собой в данном контексте некую совокупность основных и производных единиц. В основу своей методики ученый заложил три основные независимые друг от друга величины: массу, длину, время. А в качестве основных единиц измерения данных величин математик взял миллиграмм, миллиметр и секунду, поскольку все остальные единицы измерения

## Технические измерения

можно с легкостью вычислить с помощью минимальных. К. Гаусс считал свою систему единиц абсолютной системой. С развитием цивилизации и научно—технического прогресса возникли еще ряд систем единиц физических величин, основанием для которых служит принцип системы Гаусса. Все эти системы построены как метрические, однако их отличиями служат различные основные единицы. Так, на современном этапе развития выделяют следующие основные системы единиц физических величин:

1) система СГС (1881 г.) или Система единиц физических величин СГС, основными единицами которых являются следующие: сантиметр (см) – представленный в виде единицы длины, грамм (г) – в виде единицы массы, а также секунда (с) – в виде единицы времени;

2) система МКГСС (конец XIX в.), использующая первоначально килограмм как единицу веса, а впоследствии как единицу силы, что вызвало создание системы единиц физических величин, основными единицами которой стали три физических единицы: метр как единица длины, килограмм—сила как единица силы и секунда как единица времени;

3) система МКСА (1901 г.), основы которой были созданы итальянским ученым Дж.Джорджи, который предложил в качестве единиц системы МКСА метр, килограмм, секунду и ампер.

На сегодняшний день в мировой науке существует неисчислимое количество всевозможных систем единиц физических величин, а также немало так называемых внесистемных единиц. Это, конечно, приводит к определенным неудобствам при вычислениях, вынуждая прибегать к пересчету при переводе физических величин из одной системы единиц в другую. Сложилась ситуация, при которой возникла серьезная необходимость унификации единиц измерения. Требовалось создать такую систему единиц физических величин, которая подходила бы для большинства различных отраслей области измерений. Причем в роли главного акцента должен был звучать принцип когерентности, подразумевающий под собой, что единица коэффициента пропорциональности равна в уравнениях связи между физическими величинами.

Подобный проект был создан в 1954 г. комиссией по разработке единой Международной системы единиц. Он носил название «проект Международной системы единиц» и был в конце концов утвержден Генеральной конференцией по мерам и весам. Таким образом, система, основанная на семи основных единицах, стала называться Международной системой единиц, или сокращенно СИ, что происходит от аббревиатуры французского наименования «*Systeme International\**» (SI). Международная система единиц, или сокращенно СИ, содержит семь основных, две дополнительных, а также несколько внесистемных, логарифмических единиц измерения.

Решениями Генеральной конференции по мерам и весам приняты такие определения основных единиц измерения физических величин:

1) метр считается длиной пути, который проходит свет в вакууме за  $1/299\,792\,458$  долю секунды;

2) килограмм считается приравненным к существующему международному прототипу килограмма;

3) секунда равна  $919\,2631\,770$  периодам излучения, соответствующего тому переходу, который происходит между двумя так называемыми сверхтонкими уровнями основного состояния атома Cs133;

4) ампер считается мерой той силы неизменяющегося тока, вызывающего на каждом участке проводника длиной 1 м силу взаимодействия при условии



## Технические измерения

прохождения по двум прямолинейным параллельным проводникам, обладающим такими показателями, как ничтожно малая площадь кругового сечения и бесконечная длина, а также расположение на расстоянии в 1 м друг от друга в условиях вакуума;

5) кельвин равен  $1/273,16$  части термодинамической температуры, так называемой тройной точки воды;

6) моль равен количеству вещества системы, в которую входит такое же количество структурных элементов, что и в атомы в  $C_{12}$  массой 0,012 кг.

Кроме того, Международная система единиц содержит две достаточно важные дополнительные единицы, необходимые для измерения плоского и телесного углов. Так, единица плоского угла – это радиан, или сокращенно рад, представляющий собой угол между двух радиусов окружности, длина дуги между которыми равняется радиусу окружности. Если речь идет о градусах, то радиан равен  $57^{\circ}17'48''$ . А стерadian, или ср, принимаемый за единицу телесного угла, представляет собой, соответственно, телесный угол, расположение вершины которого фиксируется в центре сферы, а площадь, вырезаемая данным углом на поверхности сферы, равна площади квадрата, сторона которого равна длине радиуса сферы. Другие дополнительные единицы СИ используются для формирования единиц угловой скорости, а также углового ускорения и т. д. Радиан и стерadian используются для теоретических построений и расчетов, поскольку большая часть значимых для практики значений углов в радианах выражаются трансцендентными числами. К внесистемным единицам относятся следующие:

- 1) за логарифмическую единицу принята десятая часть бела, децибел (дБ);
- 2) диоптрия – сила света для оптических приборов;
- 3) реактивная мощность – Вар (ВА);
- 4) астрономическая единица (а. е.) – 149,6 млн км;
- 5) световой год, под которым понимается такое расстояние, которое луч света проходит за 1 год;
- 6) вместимость – литр;
- 7) площадь – гектар (га).

Кроме того, логарифмические единицы традиционно делят на абсолютные и относительные. Первые абсолютные логарифмические единицы – это десятичный логарифм соотношения физической величины и нормированного значения. Относительная логарифмическая единица образуется как десятичный логарифм отношения любых двух однородных величин. Существуют также единицы, вообще не входящие в СИ. Это в первую очередь такие единицы, как градус и минута. Все остальные единицы считаются производными, которые согласно Международной системе единиц образуются с помощью самых простейших уравнений с использованием величин, числовые коэффициенты которых приравнены к единице. Если в уравнении числовой коэффициент равен единице, производная единица называется когерентной.

3 вопрос. Физические величины и измерения

Объектом измерения для метрологии, как правило, являются физические величины.

Физические величины используются для характеристики различных объектов, явлений и процессов. Разделяют основные и производные от основных величины. Семь основных и две дополнительных физических величины установлены в Международной системе единиц. Это длина, масса, время, термодинамическая

Технические измерения

температура, количество вещества, сила света и сила электрического тока, дополнительные единицы – это радиан и стерадиан.

У физических величин есть качественные и количественные характеристики.

Качественное различие физических величин отражается в их размерности. Обозначение размерности установлено международным стандартом ИСО, им является символ  $\text{dim}^*$ .

Таким образом, размерность длины, массы и времени:

$$\text{dim}^*l = L,$$

$$\text{dim}^*m = M,$$

$$\text{dim}^*t = T.$$

Для производной величины размерность выражается посредством размерности основных величин и степенного одночлена:

$$\text{dim}^*Y = L^k \times M^l \times T^m,$$

где  $k, l, m$  – показатели степени размерности основных величин.

Показатель степени размерности может принимать различные значения и разные знаки, может быть как целым, так и дробным, может принимать значение ноль. Если при определении размерности производной величины все показатели степени размерности равны нулю, то основание степени, соответственно, принимает значение единицы, таким образом, величина является безразмерной.

Размерность производной величины может также определяться как отношение одноименных величин, тогда величина является относительной. Размерность относительной величины может также быть логарифмической.

Количественная характеристика объекта измерения – это его размер, полученный в результате измерения. Самый элементарный способ получить сведения о размере определенной величины объекта измерения – это сравнить его с другим объектом.

Результатом такого сравнения не будет точная количественная характеристика, оно позволит лишь выяснить, какой из объектов больше (меньше) по размеру. Сравняться могут не только два, но и большее число размеров. Если размеры объектов измерения расположить по возрастанию или по убыванию, то получится шкала порядка. Процесс сортировки и расположения размеров по возрастанию или по убыванию по шкале порядка называется ранжированием. Для удобства измерений определенные точки на шкале порядка фиксируются и называются опорными, или реперными точками. Фиксированным точкам шкалы порядка могут ставиться в соответствие цифры, которые часто называют баллами.

В этом плане преимущество есть у шкалы интервалов. Шкалой интервалов является, например, шкала измерения времени. Она поделена на большие интервалы – годы, большие интервалы поделены на меньшие – сутки. Если при определении размерности производной величины все показатели степени размерности равны нулю, то основание степени, соответственно, принимает значение единицы, таким образом, величина является безразмерной.

Размерность производной величины может также определяться как отношение одноименных величин, тогда величина является относительной. Размерность относительной величины может также быть логарифмической.

У реперных шкал порядка есть существенный недостаток: неопределенная величина интервалов между фиксированными реперными точками.

Недостаток шкалы интервалов заключается в том, что с ее помощью нельзя определить, во сколько раз данный размер больше другого, потому что на шкале интервалов зафиксирован только масштаб, а начало отсчета не фиксировано и может устанавливаться произвольно.

## Технические измерения

Самым оптимальным вариантом является шкала отношений. Шкалой отношений является, например, шкала температуры Кельвина. На данной шкале есть фиксированное начало отсчета – абсолютный ноль (температура, при которой прекращается тепловое движение молекул). Основное преимущество шкалы отношений состоит в том, что с ее помощью можно определить, во сколько раз один размер больше или меньше другого.

Размер объекта измерения может быть представлен в разных видах. Это зависит от того, на какие интервалы разбита шкала, с помощью которой измеряется данный размер.

Например, время движения может быть представлено в следующих видах:  $T = 1 \text{ ч} = 60 \text{ мин} = 3600 \text{ с}$ . Это значения измеряемой величины. 1, 60, 3600 – это числовые значения данной величины. данной величины.

### Контрольные вопросы

1. Что такое истинные значения физических величин?
2. Что такое действительные значения физических величин?
3. Что такое активные и пассивные физические величины?
4. Что такое аддитивные (или экстенсивные) физические величины?
5. Что такое неаддитивные (или интенсивные) физические величины ?
6. Когда была принята первая в истории система единиц физических величин?
7. Что относится к основным единицам измерения физических величин?
8. Что относится к внесистемным единицам измерения физических величин?
9. Что относится к качественным характеристикам единиц измерения физических величин?
10. Что относится к количественным характеристикам единиц измерения физических величин?
11. Что такое реперные шкалы?

## Лекция 4.

### Тема: Эталоны и образцовые средства измерений. Средства измерений

Учебные вопросы:

1. Типы эталонов.
2. Средства измерений и их характеристики.
3. Классификация средств измерения.

1 вопрос. Все вопросы, связанные с хранением, применением и созданием эталонов, а также контроль за их состоянием, решаются по единым правилам, установленным ГОСТ «ГСИ. Эталоны единиц физических величин. Основные положения» и ГОСТ «ГСИ. Эталоны единиц физических величин. Порядок разработки и утверждения, регистрации, хранения и применения».

Эталоны – это средства измерения с высокой степенью точности, применяющиеся в метрологических исследованиях для передачи сведений о размере единицы. Более точные средства измерения передают сведения о размере единицы и так далее, таким образом образуется своеобразная цепочка, в каждом следующем звене которой точность этих сведений чуть меньше, чем в предыдущем.

## Технические измерения

Классифицируются эталоны по принципу подчиненности. По этому параметру эталоны бывают первичные и вторичные.

Первичный эталон должен служить целям обеспечения воспроизведения, хранения единицы и передачи размеров с максимальной точностью, которую можно получить в данной сфере измерений. В свою очередь, первичные могут быть специальными первичными эталонами, которые предназначены для воспроизведения единицы в условиях, когда непосредственная передача размера единицы с необходимой достоверностью практически не может быть осуществлена например для малых и больших напряжений, СВЧ и ВЧ. Их утверждают в виде государственных эталонов.

Поскольку налицо особая значимость государственных эталонов, на любой государственный эталон утверждается ГОСТ. Другой задачей этого утверждения становится придание данным эталонам силы закона. На Государственный комитет по стандартам возложена обязанность создавать, утверждать, хранить и применять государственные эталоны.

Вторичный эталон воспроизводит единицу при особых условиях, заменяя при этих условиях первичный эталон. Он создается и утверждается для целей обеспечения минимального износа государственного эталона. Вторичные эталоны могут делиться по признаку назначения. Так, выделяют:

1) эталоны—копии, предназначенные для передачи размеров единиц рабочим эталонам;

2) эталоны—сравнения, предназначенных для проверки невредимости государственного эталона, а также для целей его заменяя при условии его порчи или утраты;

3) эталоны—свидетели, предназначенные для сличения эталонов, которые по ряду различных причин не подлежат непосредственному сличению друг с другом;

4) рабочие эталоны, которые воспроизводят единицу от вторичных эталонов и служат для передачи размера эталону более низкого разряда. Вторичные эталоны создают, утверждают, хранят и применяют министерства и ведомства.

Существует также понятие «эталон единицы», под которым подразумевают одно средство или комплекс средств измерений, направленных на воспроизведение и хранение единицы для последующей трансляции ее размера нижестоящим средствам измерений, выполненных по особой спецификации и официально утвержденных в установленном порядке в качестве эталона. Есть два способа воспроизведения единиц по признаку зависимости от технико—экономических требований:

1) централизованный способ – с помощью единого для целой страны или же группы стран государственного эталона. Централизованно воспроизводятся все основные единицы и большая часть производных;

2) децентрализованный способ воспроизведения – применим к производным единицам, сведения о размере которых не передаются непосредственным сравнением с эталоном.

Трансляция размера может происходить разными методами поверки. Как правило, передача размера осуществляется известными методами измерений. С одной стороны, существует определенный недостаток передачи размера ступенчатым способом, который подразумевает, что порой происходит потеря точности. С другой стороны, есть здесь и свои положительные моменты, которые подразумевают, что данная многоступенчатость помогает оберегать эталоны и передавать размер единицы всем рабочим средствам измерения. Существует также понятие «образцовые средства измерений», которые используются для

## Технические измерения

закономерной трансляции размеров единиц в процессе поверки средств измерения и используются лишь в подразделениях метрологической службы. Разряд образцового средства измерения определяется в ходе измерений метрологической аттестации одним из органов Государственного комитета по стандартам. При необходимости особо точные рабочие средства измерения в вышеуказанном порядке могут быть аттестованы на обусловленный период как образцовые средства измерения. И наоборот, образцовые средства измерения, не прошедшие очередную аттестацию по разным причинам, используются как рабочие средства измерения.

2 вопрос. Средства измерений и их характеристики

В научной литературе средства технических измерений делят на три большие группы. Это: меры, калибры и универсальные средства измерения, к которым относятся измерительные приборы, контрольно—измерительные приборы (КИП), и системы.

1. Мера представляет собой такое средство измерений, которое предназначается для воспроизведения физической величины положенного размера. К мерам относятся плоскопараллельные меры длины (плитка) и угловые меры.

2. Калибры представляют собой некие устройства, предназначение которых заключается в использовании для контролирования и поиска в нужных границах размеров, взаиморасположения поверхностей и формы деталей. Как правило, они подразделяются на: гладкие предельные калибры (скобы и пробки), а также резьбовые калибры, к которым относятся резьбовые кольца или скобы, резьбовые пробки и т. п.

3. Измерительный прибор, представленный в виде устройства, вырабатывающего сигнал измерительной информации в форме, понятной для восприятия наблюдателей.

4. Измерительная система, понимаемая как некая совокупность средств измерений и неких вспомогательных устройств, которые соединяются между собой каналами связи. Она предназначена для производства сигналов информации измерений в некой форме, которая подходит для автоматической обработки, а также для трансляции и применения в автоматических системах управления.

5. Универсальные средства измерения, предназначение которых находится в использовании для определения действительных размеров. Любое универсальное измерительное средство характеризуется назначением, принципом действия, т. е. физическим принципом, положенным в основу его построения, особенностями конструкции и метрологическими характеристиками.

При контрольном измерении угловых и линейных показателей применяют прямые измерения, реже встречаются относительные, косвенные или совокупные измерения. В научной литературе среди прямых методов измерений выделяют, как правило, следующие:

1) метод непосредственной оценки, представляющий собой такой метод, при котором значение величины определяют по отсчетному устройству измерительного прибора;

2) метод сравнения с мерой, под которым понимается метод, при котором данную величину возможно сравнить с величиной, воспроизводимой мерой;

3) метод дополнения, под которым обычно подразумевается метод, когда значение полученной величины дополняется мерой этой же величины с тем, чтобы на используемый прибор для сравнения действовала их сумма, равная заранее заданному значению;

## Технические измерения

4) дифференциальный метод, который характеризуется измерением разности между данной величиной и известной величиной, воспроизводимой мерой. Метод дает результат с достаточно высоким показателем точности при применении грубых средств измерения;

5) нулевой метод, который, по сути, аналогичен дифференциальному, но разность между данной величиной и мерой сводится к нулю. Причем нулевой метод обладает определенным преимуществом, поскольку мера может быть во много раз меньше измеряемой величины;

6) метод замещения, представляющий собой сравнительный метод с мерой, в которой измеряемую величину заменяют известной величиной, которая воспроизводится мерой. Вспомним о том, что существуют и нестандартизованные методы. В эту группу, как правило, включают следующие:

1) метод противопоставления, подразумевающий под собой такой метод, при котором данная величина, а также величина, воспроизводимая мерой, в одно и то же время действуют на прибор сравнения;

2) метод совпадений, характеризующийся как метод, при котором разность между сравниваемыми величинами измеряют, используя совпадение меток на шкалах или периодических сигналов.

### 3 вопрос. Классификация средств измерения

Средство измерения (СИ) – это техническое средство или совокупность средств, применяющееся для осуществления измерений и обладающее нормированными метрологическими характеристиками. При помощи средств измерения физическая величина может быть не только обнаружена, но и измерена.

Средства измерения классифицируются по следующим критериям:

- 1) по способам конструктивной реализации;
- 2) по метрологическому назначению.

По способам конструктивной реализации средства измерения делятся на:

- 1) меры величины;
- 2) измерительные преобразователи;
- 3) измерительные приборы;
- 4) измерительные установки;
- 5) измерительные системы.

Меры величины – это средства измерения определенного фиксированного размера, многократно используемые для измерения. Выделяют:

- 1) однозначные меры;
- 2) многозначные меры;
- 3) наборы мер.

Некоторое количество мер, технически представляющее собой единое устройство, в рамках которого возможно по—разному комбинировать имеющиеся меры, называют магазином мер.

Объект измерения сравнивается с мерой посредством компараторов (технических приспособлений). Например, компаратором являются рычажные весы.

К однозначным мерам принадлежат стандартные образцы (СО). Различают два вида стандартных образцов:

- 1) стандартные образцы состава;
- 2) стандартные образцы свойств.

## Технические измерения

Стандартный образец состава или материала – это образец с фиксированными значениями величин, количественно отражающих содержание в веществе или материале всех его составных частей.

Стандартный образец свойств вещества или материала – это образец с фиксированными значениями величин, отражающих свойства вещества или материала (физические, биологические и др.).

Каждый стандартный образец в обязательном порядке должен пройти метрологическую аттестацию в органах метрологической службы, прежде чем начнет использоваться.

Стандартные образцы могут применяться на разных уровнях и в разных сферах.

Выделяют:

- 1) межгосударственные СО;
- 2) государственные СО;
- 3) отраслевые СО;
- 4) СО организации (предприятия).

Измерительные преобразователи (ИП) – это средства измерения, выражающие измеряемую величину через другую величину или преобразующие ее в сигнал измерительной информации, который в дальнейшем можно обрабатывать, преобразовывать и хранить. Измерительные преобразователи могут преобразовывать измеряемую величину по—разному. Выделяют:

- 1) аналоговые преобразователи (АП);
- 2) цифроаналоговые преобразователи (ЦАП);
- 3) аналого—цифровые преобразователи (АЦП). Измерительные преобразователи (АЦП). Измерительные преобразователи могут занимать различные позиции в цепи измерения. Выделяют:

1) первичные измерительные преобразователи, которые непосредственно контактируют с объектом измерения;

2) промежуточные измерительные преобразователи, которые располагаются после первичных преобразователей. Первичный измерительный преобразователь технически обособлен, от него поступают в измерительную цепь сигналы, содержащие измерительную информацию. Первичный измерительный преобразователь является датчиком. Конструктивно датчик может быть расположен довольно далеко от следующего промежуточного средства измерения, которое должно принимать его сигналы.

Обязательными свойствами измерительного преобразователя являются нормированные метрологические свойства и входение в цепь измерения.

Измерительный прибор – это средство измерения, посредством которого получается значение физической величины, принадлежащее фиксированному диапазону. В конструкции прибора обычно присутствует устройство, преобразующее измеряемую величину с ее индикациями в оптимально удобную для понимания форму.

Для вывода измерительной информации в конструкции прибора используется, например, шкала со стрелкой или цифруоказатель, посредством которых и осуществляется регистрация значения измеряемой величины. В некоторых случаях измерительный прибор синхронизируют с компьютером, и тогда вывод измерительной информации производится на дисплей.

В соответствии с методом определения значения измеряемой величины выделяют:

- 1) измерительные приборы прямого действия;

## Технические измерения

2) измерительные приборы сравнения.

Измерительные приборы прямого действия – это приборы, посредством которых можно получить значение измеряемой величины непосредственно на отсчетном устройстве.

Измерительный прибор сравнения – это прибор, посредством которого значение измеряемой величины получается при помощи сравнения с известной величиной, соответствующей ее мере.

Измерительные приборы могут осуществлять индикацию измеряемой величины по—разному. Выделяют:

- 1) показывающие измерительные приборы;
- 2) регистрирующие измерительные приборы.

Разница между ними в том, что с помощью показывающего измерительного прибора можно только считывать значения измеряемой величины, а конструкция регистрирующего измерительного прибора позволяет еще и фиксировать результаты измерения, например посредством диаграммы или нанесения на какой—либо носитель информации.

Отсчетное устройство – конструктивно обособленная часть средства измерений, которая предназначена для отсчета показаний. Отсчетное устройство может быть представлено шкалой, указателем, дисплеем и др. Отсчетные устройства делятся на:

- 1) шкальные отсчетные устройства;
- 2) цифровые отсчетные устройства;
- 3) регистрирующие отсчетные устройства. Шкальные отсчетные устройства

включают в себя шкалу и указатель.

Шкала – это система отметок и соответствующих им последовательных числовых значений измеряемой величины. Главные характеристики шкалы:

- 1) количество делений на шкале;
- 2) длина деления;
- 3) цена деления;
- 4) диапазон показаний;
- 5) диапазон измерений;
- 6) пределы измерений.

Деление шкалы – это расстояние от одной отметки шкалы до соседней отметки.

Длина деления – это расстояние от одной осевой до следующей по воображаемой линии, которая проходит через центры самых маленьких отметок данной шкалы.

Цена деления шкалы – это разность между значениями двух соседних значений на данной шкале.

Диапазон показаний шкалы – это область значений шкалы, нижней границей которой является начальное значение данной шкалы, а верхней – конечное значение данной шкалы.

Диапазон измерений – это область значений величин в пределах которой установлена нормированная предельно допустимая погрешность.

Пределы измерений – это минимальное и максимальное значение диапазона измерений

Практически равномерная шкала – это шкала, у которой цены делений разнятся не больше чем на 13 % и которая обладает фиксированной ценой деления.



## Технические измерения

Существенно неравномерная шкала – это шкала, у которой деления сужаются и для делений которой значение выходного сигнала является половиной суммы пределов диапазона измерений.

Выделяют следующие виды шкал измерительных приборов:

- 1) односторонняя шкала;
- 2) двусторонняя шкала;
- 3) симметричная шкала;
- 4) безнулевая шкала.

Односторонняя шкала – это шкала, у которой ноль располагается в начале.

Двусторонняя шкала – это шкала, у которой ноль располагается не в начале шкалы.

Симметричная шкала – это шкала, у которой ноль располагается в центре.

Измерительная установка – это средство измерения, представляющее собой комплекс мер, ИП, измерительных приборов и прочее, выполняющих схожие функции, используемые для измерения фиксированного количества физических величин и собранные в одном месте. В случае, если измерительная установка используется для испытаний изделий, она является испытательным стендом.

Измерительная система – это средство измерения, представляющее собой объединение мер, ИП, измерительных приборов и прочее, выполняющих схожие функции, находящихся в разных частях определенного пространства и предназначенных для измерения определенного числа физических величин в данном пространстве.

По метрологическому назначению средства измерения делятся на:

- 1) рабочие средства измерения;
- 2) эталоны.

Рабочие средства измерения (РСИ) – это средства измерения, используемые для осуществления технических измерений. Рабочие средства измерения могут использоваться в разных условиях. Выделяют:

- 1) лабораторные средства измерения, которые применяются при проведении научных исследований;
- 2) производственные средства измерения, которые применяются при осуществлении контроля над протеканием различных технологических процессов и качеством продукции;
- 3) полевые средства измерения, которые применяются в процессе эксплуатации самолетов, автомобилей и других технических устройств.

К каждому отдельному виду рабочих средств измерения предъявляются определенные требования. Требования к лабораторным рабочим средствам измерения – это высокая степень точности и чувствительности, к производственным РСИ – высокая степень устойчивости к вибрациям, ударам, перепадам температуры, к полевым РСИ – устойчивость и исправная работа в различных температурных условиях, устойчивость к высокому уровню влажности.

Сведения о размере единицы передаются во время проверки средств измерения. Проверка средств измерения осуществляется с целью утверждения их пригодности.

## Контрольные вопросы

1. Что такое первичный эталон?
2. По каким признакам назначения делятся вторичные эталоны?
3. Что такое эталон единицы?
4. Что такое мера?

## Технические измерения

5. Что такое калибр?
6. Что такое измерительный прибор?
7. Что такое измерительная система?
8. Какие бывают прямые методы измерений?
9. Что такое измерительный преобразователь? Какие они бывают?
10. Как классифицируются отсчетные устройства?
11. Какие виды шкал существуют?
12. Что такое рабочие средства измерения, как они подразделяются?

### Лекция 5.

## Тема: Метрологические характеристики средств измерений Погрешности

Учебные вопросы:

1. Метрологические свойства средств измерений.
2. Погрешность измерений.
3. Виды погрешностей
4. Качество измерительных приборов

1вопрос. Метрологические свойства средств измерений. Метрологические свойства средств измерения – это свойства, оказывающие непосредственное влияние на результаты проводимых этими средствами измерений и на погрешность этих измерений.

Количественно—метрологические свойства характеризуются показателям и метрологических свойств, которые являются их метрологическими характеристиками. Утвержденные НД метрологические характеристики являются нормируемым и метрологическими характеристиками Метрологические свойства средств измерения подразделяются на:

- 1) свойства, устанавливающие сферу применения средств измерения;
- 2) свойства, определяющие прецизионность и правильность полученных результатов измерения.

Свойства, устанавливающие сферу применения средств измерения, определяются следующими метрологическими характеристиками:

- 1) диапазоном измерений;
- 2) порогом чувствительности.

Диапазон измерений – это диапазон значений величины, в котором нормированы предельные значения погрешностей. Нижнюю и верхнюю (правую и левую) границу измерений называют нижним и верхним пределом измерений.

Порог чувствительности – это минимальное значение измеряемой величины, способное стать причиной заметного искажения получаемого сигнала.

Свойства, определяющие прецизионность и правильность полученных результатов измерения, определяются следующими метрологическими характеристиками:

- 1) правильность результатов;
- 2) прецизионность результатов.

Точность результатов, полученных некими средствами измерения, определяется их погрешностью.

Погрешность средств измерения – это разность между результатом измерения величины и настоящим (действительным) значением этой величины.

## Технические измерения

Для рабочего средства измерения настоящим (действительным) значением измеряемой величины считается показание рабочего эталона более низкого разряда. Таким образом, базой сравнения является значение, показанное средством измерения, стоящим выше в поверочной схеме, чем проверяемое средство измерения.

Значения метрологических характеристик регламентируются соответствующими стандартами средств измерения. Причем метрологические характеристики нормируются отдельно для нормальных и рабочих условий применения средств измерения.

Нормальные условия применения – это условия, в которых изменениями метрологических характеристик, обусловленными воздействием внешних факторов (внешние магнитные поля, влажность, температура), можно пренебречь. Рабочие условия – это условия, в которых изменение влияющих величин имеет более широкий диапазон.

2 вопрос. Погрешность измерений. В практике использования измерений очень важным показателем становится их точность, которая представляет собой ту степень близости итогов измерения к некоторому действительному значению, которая используется для качественного сравнения измерительных операций. А в качестве количественной оценки, как правило, используется погрешность измерений. Причем чем погрешность меньше, тем считается выше точность.

Согласно закону теории погрешностей, если необходимо повысить точность результата (при исключенной систематической погрешности) в 2 раза, то число измерений необходимо увеличить в 4 раза; если требуется увеличить точность в 3 раза, то число измерений увеличивают в 9 раз и т. д. Процесс оценки погрешности измерений считается одним из важнейших мероприятий в вопросе обеспечения единства измерений. Естественно, что факторов, оказывающих влияние на точность измерения, существует огромное множество.

Следовательно, любая классификация погрешностей измерения достаточно условна, поскольку нередко в зависимости от условий измерительного процесса погрешности могут проявляться в различных группах. При этом согласно принципу зависимости от формы данные выражения погрешности измерения могут быть: абсолютными, относительными и приведенными.

Кроме того, по признаку зависимости от характера проявления, причин возникновения и возможностей устранения погрешности измерений могут быть составляющими. При этом различают следующие составляющие погрешности: систематические и случайные.

Систематическая составляющая остается постоянной или меняется при следующих измерениях того же самого параметра.

Случайная составляющая изменяется при повторных измерениях того же самого параметра случайным образом. Обе составляющие погрешности измерения (и случайная, и систематическая) проявляются одновременно. Причем значение случайной погрешности не известно заранее, поскольку оно может возникать из— за целого ряда не уточненных факторов. Данный вид погрешности нельзя исключить полностью, однако их влияние можно несколько уменьшить, обрабатывая результаты измерений.

Систематическая погрешность, и в этом ее особенность, если сравнивать ее со случайной погрешностью, которая выявляется вне зависимости от своих источников, рассматривается по составляющим в связи с источниками возникновения.

## Технические измерения

Составляющие погрешности могут также делиться на: методическую, инструментальную и субъективную. Субъективные систематические погрешности связаны с индивидуальными особенностями оператора. Такая погрешность может возникать из—за ошибок в отсчете показаний или неопытности оператора. В основном же систематические погрешности возникают из—за методической и инструментальной составляющих. Методическая составляющая погрешности определяется несовершенством метода измерения, приемами использования СИ, некорректностью расчетных формул и округления результатов. Инструментальная составляющая появляется из—за собственной погрешности СИ, определяемой классом точности, влиянием СИ на итог и разрешающей способности СИ. Есть также такое понятие, как «грубые погрешности или промахи», которые могут появляться из—за ошибочных действий оператора, неисправности СИ или непредвиденных изменений ситуации измерений. Такие погрешности, как правило, обнаруживаются в процессе рассмотрения результатов измерений с помощью специальных критериев. Важным элементом данной классификации является профилактика погрешности, понимаемая как наиболее рациональный способ снижения погрешности, заключается в устранении влияния какого—либо фактора.

3 вопрос. Виды погрешностей

Выделяют следующие виды погрешностей:

- 1) абсолютная погрешность;
- 2) относительная погрешность;
- 3) приведенная погрешность;
- 4) основная погрешность;
- 5) дополнительная погрешность;
- 6) систематическая погрешность;
- 7) случайная погрешность;
- 8) инструментальная погрешность;
- 9) методическая погрешность;
- 10) личная погрешность;
- 11) статическая погрешность;
- 12) динамическая погрешность.

Погрешности измерений классифицируются по следующим признакам.

По способу математического выражения погрешности делятся на абсолютные погрешности и относительные погрешности.

По взаимодействию изменений во времени и входной величины погрешности делятся на статические погрешности и динамические погрешности.

По характеру появления погрешности делятся на систематические погрешности и случайные погрешности.

По характеру зависимости погрешности от влияющих величин погрешности делятся на основные и дополнительные.

По характеру зависимости погрешности от входной величины погрешности делятся на аддитивные и мультипликативные.

Абсолютная погрешность – это значение, вычисляемое как разность между значением величины, полученным в процессе измерений, и настоящим (действительным) значением данной величины.

Абсолютная погрешность вычисляется по следующей формуле:

$$\Delta Q_n = Q_n - Q_0,$$

где  $\Delta Q_n$  – абсолютная погрешность;

$Q_n$  – значение некой величины, полученное в процессе измерения;

## Технические измерения

Абсолютная погрешность меры – это значение, вычисляемое как разность между числом, являющимся номинальным значением меры, и настоящим (действительным) значением воспроизводимой мерой величины.

Относительная погрешность – это число, отражающее степень точности измерения.

Относительная погрешность выражается в процентах.

Приведенная погрешность – это значение, вычисляемое как отношение значения абсолютной погрешности к нормирующему значению.

Нормирующее значение определяется следующим образом:

1) для средств измерений, для которых утверждено номинальное значение, это номинальное значение принимается за нормирующее значение;

2) для средств измерений, у которых нулевое значение располагается на краю шкалы измерения или вне шкалы, нормирующее значение принимается равным конечному значению из диапазона измерений. Исключением являются средства измерений с существенно неравномерной шкалой измерения;

3) для средств измерений, у которых нулевая отметка располагается внутри диапазона измерений, нормирующее значение принимается равным сумме конечных численных значений диапазона измерений;

4) для средств измерения (измерительных приборов), у которых шкала неравномерна, нормирующее значение принимается равным целой длине шкалы измерения или длине той ее части, которая соответствует диапазону измерения.

Погрешность измерения включает в себя инструментальную погрешность, методическую погрешность и погрешность отсчитывания. Причем погрешность отсчитывания возникает по причине неточности определения долей деления шкалы измерения.

Нормирующее значение определяется следующим образом:

1) для средств измерений, для которых утверждено номинальное значение, это номинальное значение принимается за нормирующее значение;

2) для средств измерений, у которых нулевое значение располагается на краю шкалы

измерения или вне шкалы, нормирующее значение принимается равным конечному значению из диапазона измерений. Исключением являются средства измерений с существенно неравномерной шкалой измерения;

3) для средств измерений, у которых нулевая отметка располагается внутри диапазона измерений, нормирующее значение принимается равным сумме конечных численных значений диапазона измерений;

4) для средств измерения (измерительных приборов), у которых шкала неравномерна, нормирующее значение принимается равным целой длине шкалы измерения или длине той ее части, которая соответствует диапазону измерения.

Погрешность измерения включает в себя инструментальную погрешность, методическую погрешность и погрешность отсчитывания. Причем погрешность отсчитывания возникает по причине неточности определения долей деления шкалы измерения.

Инструментальная погрешность – это погрешность, возникающая из— за допущенных в процессе изготовления функциональных частей средств измерения ошибок.

Методическая погрешность – это погрешность, возникающая по следующим причинам:

1) неточность построения модели физического процесса, на котором базируется средство измерения;

## Технические измерения

2) неверное применение средств измерений.

Субъективная погрешность – это погрешность возникающая из—за низкой степени квалификации оператора средства измерений, а также из—за погрешности зрительных органов человека, т. е. причиной возникновения субъективной погрешности является человеческий фактор.

Погрешности по взаимодействию изменений во времени и входной величины делятся на статические и динамические погрешности.

Статическая погрешность – это погрешность, которая возникает в процессе измерения постоянной (не изменяющейся во времени) величины.

Динамическая погрешность – это погрешность, численное значение которой вычисляется как разность между погрешностью, возникающей при измерении непостоянной (переменной во времени) величины, и статической погрешностью (погрешностью значения измеряемой величины в определенный момент времени).

По характеру зависимости погрешности от влияющих величин погрешности делятся на основные и дополнительные.

Основная погрешность – это погрешность, полученная в нормальных условиях эксплуатации средства измерений (при нормальных значениях влияющих величин).

Дополнительная погрешность – это погрешность, которая возникает в условиях несоответствия значений влияющих величин их нормальным значениям, или если влияющая величина переходит границы области нормальных значений.

Нормальные условия – это условия, в которых все значения влияющих величин являются нормальными либо не выходят за границы области нормальных значений.

Рабочие условия – это условия, в которых изменение влияющих величин имеет более широкий диапазон (значения влияющих не выходят за границы рабочей области значений).

Рабочая область значений влияющей величины – это область значений, в которой проводится нормирование значений дополнительной погрешности.

По характеру зависимости погрешности от входной величины погрешности делятся на аддитивные и мультипликативные.

Аддитивная погрешность – это погрешность, возникающая по причине суммирования численных значений и не зависящая от значения измеряемой величины, взятого по модулю (абсолютного).

Мультипликативная погрешность – это погрешность, изменяющаяся вместе с изменением значений величины, подвергающейся измерениям. Надо заметить, что значение абсолютной аддитивной погрешности не связано со значением измеряемой величины и чувствительностью средства измерений. Абсолютные аддитивные погрешности неизменны на всем диапазоне измерений.

Значение абсолютной аддитивной погрешности определяет минимальное значение величины, которое может быть измерено средством измерений.

Значения мультипликативных погрешностей изменяются пропорционально изменениям значений измеряемой величины. Значения мультипликативных погрешностей также пропорциональны чувствительности средства измерений. Мультипликативная погрешность возникает из—за воздействия влияющих величин на параметрические характеристики элементов прибора.

Погрешности, которые могут возникнуть в процессе измерений, классифицируют по характеру появления. Выделяют:

- 1) систематические погрешности;
- 2) случайные погрешности.

## Технические измерения

В процессе измерения могут также появиться грубые погрешности и промахи.

Систематическая погрешность – это составная часть всей погрешности результата измерения, не изменяющаяся или изменяющаяся закономерно при многократных измерениях одной и той же величины. Обычно систематическую погрешность пытаются исключить возможными способами (например, применением методов измерения, снижающих вероятность ее возникновения), если же систематическую погрешность невозможно исключить, то ее просчитывают до начала измерений и в результат измерения вносятся соответствующие поправки. В процессе нормирования систематической погрешности определяются границы ее допустимых значений. Систематическая погрешность определяет правильность измерений средств измерения (метрологическое свойство).

Систематические погрешности в ряде случаев можно определить экспериментальным путем. Результат измерений тогда можно уточнить посредством введения поправки.

Способы исключения систематических погрешностей делятся на четыре вида:

1) ликвидация причин и источников погрешностей до начала проведения измерений;

2) устранение погрешностей в процессе уже начатого измерения способами замещения, компенсации погрешностей по знаку, противопоставлениям, симметричных наблюдений;

3) корректировка результатов измерения посредством внесения поправки (устранение погрешности путем вычислений);

4) определение пределов систематической погрешности в случае, если ее нельзя устранить.

Ликвидация причин и источников погрешностей до начала проведения измерений. Данный способ является самым оптимальным вариантом, так как его использование упрощает дальнейший ход измерений (нет необходимости исключать погрешности в процессе уже начатого измерения или вносить поправки в полученный результат).

Для устранения систематических погрешностей в процессе уже начатого измерения применяются различные способы:

Способ введения поправок базируется на знании систематической погрешности и действующих закономерностей ее изменения. При использовании данного способа в результат измерения, полученный с систематическими погрешностями, вносят поправки, по величине равные этим погрешностям, но обратные по знаку.

Способ замещения состоит в том, что измеряемая величина заменяется мерой, помещенной в те же самые условия, в которых находился объект измерения. Способ замещения применяется при измерении следующих электрических параметров: сопротивления, емкости и индуктивности.

Способ компенсации погрешности по знаку состоит в том, что измерения выполняются два раза таким образом, чтобы погрешность, неизвестная по величине, включалась в результаты измерений с противоположным знаком.

Способ противопоставления похож на способ компенсации по знаку. Данный способ состоит в том, что измерения выполняют два раза таким образом, чтобы источник погрешности при первом измерении противоположным образом действовал на результат второго измерения.

Случайная погрешность – это составная часть погрешности результата измерения, изменяющаяся случайно, незакономерно при проведении повторных

## Технические измерения

измерений одной и той же величины. Появление случайной погрешности нельзя предвидеть и предугадать.

Случайную погрешность невозможно полностью устранить, она всегда в некоторой степени искажает конечные результаты измерений. Но можно сделать результат измерения более точным за счет проведения повторных измерений. Причиной случайной погрешности может стать, например, случайное изменение внешних факторов, воздействующих на процесс измерения. Случайная погрешность при проведении многократных измерений с достаточно большой степенью точности приводит к рассеянию результатов.

Промахи и грубые погрешности – это погрешности, намного превышающие предполагаемые в данных условиях проведения измерений систематические и случайные погрешности. Промахи и грубые погрешности могут появляться из—за грубых ошибок в процессе проведения измерения, технической неисправности средства измерения, неожиданного изменения внешних условий.

### 3 вопрос. Качество измерительных приборов

Качество измерительного прибора – это уровень соответствия прибора своему прямому предназначению. Следовательно, качество измерительного прибора определяется тем, насколько при использовании измерительного прибора достигается цель измерения.

Главная цель измерения – это получение достоверных и точных сведений об объекте измерений.

Для того чтобы определить качество прибора, необходимо рассмотреть следующие его характеристики:

- 1) постоянную прибора;
- 2) чувствительность прибора;
- 3) порог чувствительности измерительного прибора;
- 4) точность измерительного прибора.

Постоянная прибора – это некоторое число, умножаемое на отсчет с целью получения искомого значения измеряемой величины, т. е. показания прибора. Постоянная прибора в некоторых случаях устанавливается как цена деления шкалы, которая представляет собой значение измеряемой величины, соответствующее одному делению.

Чувствительность прибора – это число, в числителе которого стоит величина линейного или углового перемещения указателя (если речь идет о цифровом измерительном приборе, то в числителе будет изменение численного значения, а в знаменателе – изменение измеряемой величины, которое вызвало данное перемещение (или изменение численного значения)).

Порог чувствительности измерительного прибора – число, являющееся минимальным значением измеряемой величины, которое может зафиксировать прибор.

Точность измерительного прибора – это характеристика, выражающая степень соответствия результатов измерения настоящему значению измеряемой величины.

Точность измерительного прибора определяется посредством установления нижнего и верхнего пределов максимально возможной погрешности.

Практикуется подразделение приборов на классы точности, основанное на величине допустимой погрешности.

Класс точности средств измерений – это обобщающая характеристика средств измерений, которая определяется границами основных и дополнительных допускаемых погрешностей и другими, определяющими точность



## Технические измерения

характеристиками Классы точности определенного вида средств измерений утверждаются в нормативной документации.

Причем для каждого отдельного класса точности утверждаются определенные требования к метрологическим характеристикам Объединение установленных метрологических характеристик определяет степень точности средства измерений, принадлежащего к данному классу точности.

Класс точности средства измерений определяется в процессе его разработки. Так как в процессе эксплуатации метрологические характеристики как правило ухудшаются, можно по результатам проведенной калибровки (поверки) средства измерений понижать его класс точности.

### Контрольные вопросы

1. На какие свойства подразделяются метрологические средства измерения ?
2. По какой формуле вычисляется погрешность средств измерения?
3. Какие существуют виды погрешностей?
4. Что такое инструментальная погрешность?
5. Что такое методическая погрешность?
6. Как делятся погрешности по характеру зависимости от влияющих величин погрешности ?
7. Как определить качество прибора? Какие характеристики необходимо рассмотреть?
8. Что такое чувствительность прибора?
9. Что такое класс точности средств измерений?
10. Что такое порог чувствительности измерительного прибора?

## Лекция 6.

### Тема: Метрологическое обеспечение

Учебные вопросы:

1. Процессы метрологического обеспечения.
2. Функции Государственных научных метрологических центров.
3. Измерительная система.

1 вопрос. Процессы метрологического обеспечения. Метрологическое обеспечение, или сокращенно МО, представляет собой такое установление и использование научных и организационных основ, а также ряда технических средств, норм и правил, нужных для соблюдения принципа единства и требуемой точности измерений. На сегодняшний день развитие МО движется в направлении перехода от существовавшей узкой задачи обеспечения единства и требуемой точности измерений к новой задаче обеспечения качества измерений. Смысл понятия «метрологическое обеспечение» расшифровывается по отношению к измерениям (испытанию, контролю) в целом. Однако данный термин применим и в виде понятия «метрологическое обеспечение технологического процесса (производства, организации)», которое подразумевает МО измерений (испытаний или контроля) в данном процессе, производстве, организации. Объектом МО можно считать все стадии жизненного цикла (ЖЦ) изделия (продукции) или услуги, где жизненный цикл воспринимается как некая совокупность последовательных взаимосвязанных процессов создания и изменения состояния продукции от формулирования исходных требований к ней до окончания

## Технические измерения

эксплуатации или потребления. Нередко на этапе разработки продукции для достижения высокого качества изделия производится выбор контролируемых параметров, норм точности, допусков, средств измерения, контроля и испытания. А в процессе разработки МО желательно использовать системный подход, при котором указанное обеспечение рассматривается как некая совокупности взаимосвязанных процессов, объединенных одной целью. Этой целью является достижение

В научной литературе выделяют, как правило, целый ряд подобных процессов:

1) установление номенклатуры измеряемых параметров, а также наиболее подходящих норм точности при контроле качества продукции и управлении процессами;

2) технико—экономическое обоснование и выбор СИ, испытаний и контроля и установление их рациональной номенклатуры;

3) стандартизация, унификация и агрегатирование используемой контрольно— измерительной техники;

4) разработка, внедрение и аттестация современных методик выполнения измерения, испытаний и контроля (МВИ);

5) поверка, метрологическая аттестация и калибровки КИО или контрольно— измерительного, а также испытательного оборудования, применяемого на предприятии;

6) контроль за производством, состоянием, применением и ремонтом КИО, а также за точным следованием правил метрологии и норм на предприятии;

7) участие в процессе создания и внедрения стандартов предприятия;

8) внедрение международных, государственных, отраслевых стандартов, а также иных нормативных документов Госстандарта;

9) проведение метрологической экспертизы проектов конструкторской, технологической и нормативной документации;

10) проведение анализа состояния измерений, разработка на его основе и проведение различных мероприятий по улучшению МО;

11) подготовка работников соответствующих служб и подразделений предприятия к выполнению контрольно—измерительных операций.

Организация и проведение всех мероприятий МО является прерогативой метрологических служб. В основе метрологического обеспечения лежат четыре пласта.

Это научная, организационная, нормативная и техническая основы. Особое внимание хотелось бы обратить на организационные основы метрологического обеспечения. К организационным службам метрологического обеспечения относят Государственную метрологическую службу и Ведомственную метрологическую службу.

Государственная метрологическая служба, или сокращенно ГМС несет ответственность за обеспечение метрологических измерений в России на межотраслевом уровне, а также проводит контрольные и надзорные мероприятия в области метрологии. В состав ГМС входят:

1) государственные научные метрологические центры (ГНМЦ), метрологические научно—исследовательские институты, отвечающие согласно законодательной базе за вопросы применения, хранения и создания государственных эталонов и разработку нормативных актов по вопросам поддержания единства измерений в закреплённом виде измерений;

## Технические измерения

2) органы ГМС на территории республик, входящих в состав РФ, органы автономных областей, органы автономных округов, областей, краев, городов Москвы и Санкт—Петербурга.

Основная деятельность органов ГМС направлена на обеспечение единства измерений в стране. Она включает создание государственных и вторичных эталонов, разработку систем передачи размеров единиц ФВ рабочим СИ, государственный надзор за состоянием, применением, производством, ремонтом СИ, метрологическую экспертизу документации и важнейших видов продукции, методическое руководство МС юридических лиц. Руководство ГМС осуществляет Госстандарт Ведомственная метрологическая служба, которая согласно положениям Закона «Об обеспечении единства измерений» может быть создана на предприятии для обеспечения МО Во главе ее должен находиться представитель администрации, обладающий соответствующими знаниями и полномочиями При проведении мероприятий в сферах, предусмотренных ст 13 указанного Закона, создание метрологической службы является обязательным. В числе подобных сфер деятельности можно назвать:

1) здравоохранение, ветеринария, охрана окружающей среды, поддержание безопасности труда;

2) торговые операции и взаиморасчеты между продавцами и покупателями, в которые включаются, как правило, операции с использованием игровых автоматов и других устройств;

3) государственные учетные операции;

4) оборона государства;

5) геодезические и гидрометеорологические работы;

6) банковские, таможенные, налоговые и почтовые операции;

7) производство продукции, поставляемой по контрактам для нужд государства в согласии с законодательной базой РФ;

8) контролирование и испытания качества продукции для обеспечения соответствия обязательным требованиям государственных стандартов РФ;

9) сертификация товаров и услуг в обязательном порядке;

10) измерения, проводимые по поручению ряда госорганов: суда, арбитража, прокуратуры, государственных органов управления РФ;

11) регистрационная деятельность, связанная с национальными или международными рекордами в сфере спорта. Метрологическая служба государственного органа управления подразумевает в своем составе следующие компоненты:

1) структурные подразделения главного метролога в составе центрального аппарата госоргана;

2) головные и базовые организации метрологических служб в отраслях и подотраслях, назначаемые органом управления;

3) метрологическая служба предприятий, объединений, организаций и учреждений.

2 вопрос. Функции Государственных научных метрологических центров. Другим важнейшим разделом МО являются его научные и методические основы. Так, основным компонентом данных основ становятся Государственные научные метрологические центры (ГНМЦ), которые создаются из состава находящихся в ведении Госстандарта предприятий и организаций или их структурных подразделений, выполняющих различные операции по вопросам создания, хранения, улучшения, применения и хранения госэталонов единиц величин, а, кроме того, разрабатывающих нормативные правила для целей обеспечения

## Технические измерения

единства измерений, имея в своем составе высококвалифицированные кадры. Присвоение какому—либо предприятию статуса ГНМЦ, как правило, не влияет на форму его собственности и организационно—правовые формы, а означает лишь причисление их к группе объектов, обладающих особенными формами господдержки. Основными функциями ГНМЦ являются следующие:

- 1) создание, совершенствование, применение и хранение госэталонов единиц величин;
- 2) проведение прикладных и фундаментальных научно—исследовательских и конструкторских разработок в сфере метрологии, в число которых можно включить и создание различных опытно—экспериментальных установок, исходных мер и шкал для обеспечения единства измерений;
- 3) передача от госэталонов исходных данных о размерах единиц величин;
- 4) проведение государственных испытаний средств измерений;
- 5) разработка оборудования, требующегося для ГМС;
- 6) разработка и совершенствование нормативных, организационных, экономических и научных основ деятельности, направленной на обеспечение единства измерений в зависимости от специализации;
- 7) взаимодействие с метрологической службой федеральных органов исполнительной власти, организаций и предприятий, обладающих статусом юридического лица;
- 8) обеспечение информацией по поводу единства измерений предприятий и организаций
- 9) организация различных мероприятий, связанных с деятельностью ГСВЧ, ГСССД и ГССО;
- 10) проведение экспертизы разделов МО федеральных и иных программ;
- 11) организация метрологической экспертизы и измерений по просьбе ряда государственных органов: суда, арбитража, прокуратуры или федеральных органов исполнительной власти;
- 12) подготовка и переподготовка высококвалифицированных кадров;
- 13) участие в сопоставлении госэталонов с эталонами национальными, наличествующими в ряду зарубежных государств, а также участие в разработке международных норм и правил.

Деятельность ГНМЦ регламентируется Постановлением Правительства Российской Федерации от 12.02.94 г. № 100. Важным компонентом основы МО являются, как было сказано выше, методические инструкции и руководящие документы, под которыми подразумеваются нормативные документы методического содержания, разрабатываются организациями, подведомственными Госстандарту Российской Федерации. Так, в сфере научных и методических основ метрологического обеспечения Госстандарт России организует:

- 1) проведение научно—исследовательских мероприятий и опытно—конструкторских работ в закрепленных областях деятельности, а также устанавливает правила проведения работ по метрологии, стандартизации, аккредитации и сертификации, а также по госконтролю и надзору в подведомственных областях, осуществляет методическое руководство этими работами;
- 2) осуществляет методическое руководство обучением в областях метрологии, сертификации и стандартизации, устанавливает требования к степени квалификации и компетентности персонала. Организует подготовку, переподготовку и повышение квалификации специалистов.

## Технические измерения

Метрологическое обеспечение – это утверждение и использование научно—технических и организационных основ, технических приборов, норм и стандартов с целью обеспечения единства и установленной точности измерений. Метрологическое обеспечение в своем научном аспекте базируется на метрологии.

Можно выделить следующие цели метрологического обеспечения:

- 1) достижение более высокого качества продукции;
  - 2) обеспечение наибольшей эффективности системы учета;
  - 3) обеспечение профилактических мероприятий, диагностики и лечения;
  - 4) обеспечение эффективного управления производством;
  - 5) обеспечение высокого уровня эффективности научных работ и экспериментов;
  - 6) обеспечение более высокой степени автоматизации в сфере управления транспортом;
  - 7) обеспечение эффективного функционирования системы нормирования и контроля условий труда и быта;
  - 8) повышение качества экологического надзора;
  - 9) улучшение качества и повешение надежности связи;
  - 10) обеспечение эффективной системы оценивания различных природных ресурсов.
- Метрологическое обеспечение технических устройств – это совокупность научно—технических средств, организационных мероприятий и мероприятий, проводимых соответствующими учреждениями с целью достижения единства и требуемой точности измерений, а также установленных характеристик технических приборов.

2 вопрос. Измерительная система. Измерительная система – средство измерения, представляющее собой объединение мер, ИП, измерительных приборов и другое, выполняющих схожие функции, находящихся в разных частях определенного пространства и предназначенных для измерения определенного числа физических величин в данном пространстве.

Измерительные системы используются для:

- 1) технической характеристики объекта измерений, получаемой путем проведения измерительных преобразований некоторого количества динамически изменяющихся во времени и распределенных в пространстве величин;
- 2) автоматизированной обработки полученных результатов измерений;
- 3) фиксации полученных результатов измерений и результатов их автоматизированной обработки;
- 4) перевода данных в выходные сигналы системы. Метрологическое обеспечение измерительных систем подразумевает:
  - 1) определение и нормирование метрологических характеристик для измерительных каналов;
  - 2) проверку технической документации на соответствие метрологическим характеристикам;
  - 3) проведение испытаний измерительных систем для установления типа, к которому они принадлежат;
  - 4) проведение испытаний для определения соответствия измерительной системы установленному типу;
  - 5) проведение сертификации измерительных систем;
  - 6) проведение калибровки (проверки) измерительных систем;
  - 7) обеспечение метрологического контроля над производством и использованием измерительных систем.

## Технические измерения

Измерительный канал измерительной системы – это часть измерительной системы, технически или функционально обособленная, предназначенная для выполнения определенной завершающейся функции (например, для восприятия измеряемой величины или для получения числа или кода, являющегося результатом измерений этой величины).

Разделяют:

- 1) простые измерительные каналы;
- 2) сложные измерительные каналы.

Простой измерительный канал – это канал, в котором используется прямой метод измерений, реализующийся посредством упорядоченных измерительных преобразований.

В сложном измерительном канале выделяют первичную часть и вторичную часть. В первичной части сложный измерительный канал является объединением некоторого числа простых измерительных каналов. Сигналы с выхода простых измерительных каналов первичной части применяются для косвенных, совокупных или совместных измерений или для получения пропорционального результату измерений сигнала во вторичной части.

Измерительный компонент измерительной системы – это средство измерений, обладающее отдельно нормированными метрологическими характеристиками. Примером измерительного компонента измерительной системы может послужить измерительный прибор. К измерительным компонентам измерительной системы принадлежат также аналоговые вычислительные устройства (устройства, выполняющие измерительные преобразования). Аналоговые вычислительные устройства принадлежат к группе устройств с одним или несколькими вводами.

Измерительные компоненты измерительных систем бывают следующих видов.

Связующий компонент – это технический прибор или элемент окружающей среды, применяющиеся в целях обмена сигналами, содержащими сведения об измеряемой величине, между компонентами измерительной системы с минимально возможными искажениями. Примером связующего компонента может послужить телефонная линия, высоковольтная линия электропередачи, переходные устройства.

Вычислительный компонент – это цифровое устройство (часть цифрового устройства), предназначенное для выполнения вычислений, с установленным программным обеспечением. Вычислительный компонент применяется для вычисления результатов измерений (прямых, косвенных, совместных, совокупных), которые представляют собой число или соответствующий код, вычисления производятся по итогам первичных преобразований в измерительной системе. Вычислительный компонент выполняет также логические операции и координирование работы измерительной системы.

Комплексный компонент – это составная часть измерительной системы, представляющая собой технически или территориально объединенную совокупность компонентов. Комплексный компонент завершает измерительные преобразования, а также вычислительные и логические операции, которые утверждены в принятом алгоритме обработки результатов измерений для других целей.

Вспомогательный компонент – это технический прибор, предназначенный для обеспечения нормального функционирования измерительной системы, но не принимающий участия в процессе измерительных преобразований.

## Технические измерения

Согласно соответствующим ГОСТам метрологические характеристики измерительной системы должны быть в обязательном порядке нормированы для каждого измерительного канала, входящего в измерительную систему, а также для комплексных и измерительных компонентов измерительной системы.

Как правило, изготовитель измерительной системы определяет общие нормы на метрологические характеристики измерительных каналов измерительной системы.

Нормированные метрологические характеристики измерительных каналов измерительной системы призваны:

1) обеспечивать определение погрешности измерений с помощью измерительных каналов в рабочих условиях;

2) обеспечивать эффективный контроль над соответствием измерительного канала измерительной системы нормированным метрологическим характеристикам в процессе испытаний измерительной системы. В случае, если определение или контроль над метрологическими характеристиками измерительного канала измерительной системы не могут осуществляться экспериментальным путем для всего измерительного канала, нормирование метрологических характеристик проводится для составных частей измерительного канала. Причем, объединение этих частей должно представлять собой целый измерительный канал. Нормировать характеристики погрешности в качестве метрологических характеристик измерительного канала измерительной системы можно как при нормальных условиях использования измерительных компонентов, так и при рабочих условиях, для которых характерно такое сочетание влияющих факторов, при котором модуль численного значения характеристик погрешности измерительного канала имеет максимально возможное значение. Для большей эффективности для промежуточных сочетаний влияющих факторов также нормируются характеристики погрешностей измерительного канала. Данные характеристики погрешности измерительных каналов измерительной системы необходимо проверять посредством их расчета по метрологическим характеристикам компонентов измерительной системы, представляющих собой в целом измерительный канал. Причем рассчитанные значения характеристик погрешности измерительных каналов могут и не проверяться экспериментальным путем. Но тем не менее в обязательном порядке должен осуществляться контроль метрологических характеристик для всех составных частей (компонентов) измерительной системы, нормы которых являются исходными данными в расчёте.

### Контрольные вопросы

1. Что представляет собой метрологическое обеспечение ?
2. Какие мероприятия проводятся для достижения требуемого качества измерений?
3. В чём заключается функция Государственной метрологической службы?
4. В чём заключается функция Государственного научного метрологического центра?
5. Что такое измерительная система?
6. Что такое измерительный канал измерительной системы?
7. В чём разница между простым и сложным измерительным каналом?
8. Что такое измерительный компонент измерительной системы?
9. Каких видов бывают измерительные компоненты измерительных систем?

10. В чём заключается суть нормированных метрологических характеристик измерительных каналов измерительной системы?

## Лекция 7.

### Тема: Выбор и поверка средств измерений

Учебные вопросы:

1. Критерии выбора средств измерения.
2. Методы определения и учета погрешностей
3. Поверка и калибровка средств измерений.
4. Обработка и представление результатов измерения.
5. Правовые основы метрологического обеспечения.

1 вопрос. Критерии выбора средств измерения. При выборе средств измерений в первую очередь должно учитываться допустимое значение погрешности для данного измерения, установленное в соответствующих нормативных документах.

В случае, если допустимая погрешность не предусмотрена в соответствующих нормативных документах, предельно допустимая погрешность измерения должна быть регламентирована в технической документации на изделие.

При выборе средств измерения должны также учитываться:

- 1) допустимые отклонения;
- 2) методы проведения измерений и способы контроля. Главным критерием выбора средств измерений является соответствие средств измерения требованиям достоверности измерений, получения настоящих (действительных) значений измеряемых величин с заданной точностью при минимальных временных и материальных затратах.

Для оптимального выбора средств измерений необходимо обладать следующими исходными данными:

- 1) номинальным значением измеряемой величины;
- 2) величиной разности между максимальным и минимальным значением измеряемой величины, регламентируемой в нормативной документации;
- 3) сведениями об условиях проведения измерений.

Если необходимо выбрать измерительную систему, руководствуясь критерием точности, то ее погрешность должна вычисляться как сумма погрешностей всех элементов системы (мер, измерительных приборов, измерительных преобразователей), в соответствии с установленным для каждой системы законом.

Предварительный выбор средств измерений производится в соответствии с критерием точности, а при окончательном выборе средств измерений должны учитываться следующие требования:

- 1) к рабочей области значений величин, оказывающих влияние на процесс измерения;
- 2) к габаритам средства измерений;
- 3) к массе средства измерений;
- 4) к конструкции средства измерений.

При выборе средств измерений необходимо учитывать предпочтительность стандартизированных средств измерений.

- 2 вопрос. Методы определения и учета погрешностей



## Технические измерения

Методы определения и учета погрешностей измерений используются для того, чтобы:

- 1) на основании результатов измерений получить настоящее (действительное) значение измеряемой величины;
- 2) определить точность полученных результатов, т. е. степень их соответствия настоящему (действительному) значению.

В процессе определения и учета погрешностей оцениваются:

- 1) математическое ожидание;
- 2) среднеквадратическое отклонение.

Точечная оценка параметра (математического ожидания или среднеквадратического отклонения) – это оценка параметра, которая может быть выражена одним числом.

Точечная оценка является функцией от экспериментальных данных и, следовательно, сама должна быть случайной величиной, распределенной по закону, зависящему от закона распределения для значений исходной случайной величины. Закон распределения значений точечной оценки будет зависеть также от оцениваемого параметра и от числа испытаний (экспериментов).

Точечная оценка бывает следующих видов:

- 1) несмещенная точечная оценка;
- 2) эффективная точечная оценка;
- 3) состоятельная точечная оценка.

Несмещенная точечная оценка – это оценка параметра погрешности, математическое ожидание которой равно этому параметру.

Эффективная точечная оценка – это точечная оценка, дисперсия которой меньше, чем дисперсия другой какой угодно оценки этого параметра.

Состоятельная точечная оценка – это оценка, которая при увеличении числа испытаний стремится к значению параметра, подвергающегося оценке.

Основные методы определения оценок:

- 1) метод максимального правдоподобия (метод Фишера);
- 2) метод наименьших квадратов.

1. Метод максимального правдоподобия основывается на идее, что сведения о действительном значении измеряемой величины и рассеивании результатов измерений, полученные путем многократных наблюдений, содержатся в ряде наблюдений.

Метод максимального правдоподобия состоит в поиске оценок, при которых функция правдоподобия проходит через свой максимум.

Оценки максимального правдоподобия – это оценки средне квадратического отклонения и оценки истинного значения.

Если случайные погрешности распределены по нормальному закону распределения, то оценка максимального правдоподобия для истинного значения представляет собой среднее арифметическое результатов наблюдений, а оценка дисперсии является средним арифметическим квадратов отклонений значений от математического ожидания.

Преимущества оценок максимального правдоподобия заключается в том, что данные оценки:

- 1) несмещенные асимптотически;
- 2) асимптотически эффективные;
- 3) асимптотически распределены по нормальному закону.

2. Метод наименьших квадратов состоит в том, что из определенного класса оценок берут ту оценку, у которой минимальная дисперсия (самую эффективную).

## Технические измерения

Из всех линейных оценок действительного значения, где присутствуют некоторые постоянные, только среднее арифметическое сводит к наименьшему значению дисперсии. В связи с этим при условии распределения значений случайных погрешностей по нормальному закону распределения оценки, полученные с использованием метода наименьших квадратов, идентичны оценкам максимального правдоподобия. Оценка параметров с помощью интервалов проводится посредством нахождения доверительных интервалов, в пределах которых с заданными вероятностями располагаются действительные значения оцениваемых параметров.

Доверительная граница случайного отклонения – это число, представляющее собой длину доверительного интервала, разделенную пополам.

При достаточно большом количестве испытаний доверительный интервал существенно уменьшается. Если увеличивается число испытаний, то допустимо увеличить число доверительных интервалов.

Обнаружение грубых погрешностей Грубые погрешности – это погрешности, намного превышающие предполагаемые в данных условиях проведения измерений систематические и случайные погрешности. Промахи и грубые погрешности могут появляться из—за грубых ошибок в процессе проведения измерения, технической неисправности средства измерения, неожиданного изменения внешних условий. Для того чтобы исключить грубые погрешности, рекомендуется до начала измерений приблизительно определить значение измеряемой величины.

В случае, если при проведении измерений выясняется, что результат отдельного наблюдения сильно отличается от других полученных результатов, нужно обязательно установить причины такого отличия. Результаты, полученные с резким отличием, можно отбросить и повторно измерить данную величину. Однако в некоторых случаях отбрасывание таких результатов может вызвать ощутимое искажение рассеивания ряда измерений. В связи с этим рекомендуется не отбрасывать необдуманно отличающиеся результаты, а дополнять их результатами повторных измерений.

Если необходимо исключить грубые погрешности в процессе обработки полученных результатов, когда уже нельзя скорректировать условия проведения измерений и провести повторные измерения, то применяются статистические методы. Общий метод проверки статистических гипотез позволяет выяснить, присутствует ли в данном результате измерений грубая погрешность.

4 вопрос. Обработка и представление результатов измерения Обычно измерения являются однократными. При обычных условиях их точности вполне достаточно. Результат однократного измерения представляется в следующем виде:

$$Q_i = Y_i + \Omega_i,$$

где  $Y_i$  – значение  $i$  – го показания;

$\Omega_i$  – поправка.

Погрешность результата однократного измерения определяется при утверждении метода проведения измерений.

В процессе обработки результатов измерений используются различные виды закона распределения (нормальный закон распределения, равномерный закон распределения корреляционный закон распределения) измеряемой величины (в данном случае она рассматривается как случайная).

Обработка результатов прямых равноточных измерений Прямые измерения – это измерения, посредством которых непосредственно получается значение

## Технические измерения

измеряемой величины. Равноточными или равнорассеянными называют прямые, взаимно независимые измерения определенной величины, причем результаты этих измерений могут быть рассмотрены как случайные и распределенные по одному закону распределения.

Обычно при обработке результатов прямых равноточных измерений предполагается, что результаты и погрешности измерений распределены по нормальному закону распределения.

После снятия расчетов вычисляется значение математического ожидания. Затем, если систематическая погрешность определена, ее значение вычитают из вычисленного значения математического ожидания. Потом вычисляется значение среднеквадратического отклонения значений измеряемой величины от математического ожидания. Алгоритм обработки результатов многократных равноточных измерений

Если известна систематическая погрешность, то ее необходимо исключить из результатов измерений.

Вычислить математическое ожидание результатов измерений. В качестве математического ожидания обычно берется среднее арифметическое значений.

Установить величину случайной погрешности (отклонения от среднего арифметического) результата однократного измерения.

Вычислить дисперсию случайной погрешности. Вычислить среднеквадратическое отклонение результата измерения.

Проверить предположение, что результаты измерений распределены по нормальному закону.

Найти значение доверительного интервала и доверительной погрешности.

Определить значение энтропийной погрешности и энтропийного коэффициента.

Вопрос. Поверка и калибровка средств измерений.

Калибровка средств измерений – это комплекс действий и операций, определяющих и подтверждающих настоящие (действительные) значения метрологических характеристик и (или) пригодность средств измерений, не подвергающихся государственному метрологическому контролю.

Пригодность средства измерений – это характеристика, определяющаяся соответствием метрологических характеристик средства измерения утвержденным (в нормативных документах, либо заказчиком) техническим требованиям. Калибровочная лаборатория определяет пригодность средства измерений. Калибровка сменила поверку и метрологическую аттестацию средств измерений, которые проводились только органами государственной метрологической службы.

Калибровка, в отличие от поверки и метрологической аттестации средств измерений, может осуществляться любой метрологической службой при условии, что у нее есть возможность обеспечить соответствующие условия для проведения калибровки.

Калибровка осуществляется на добровольной основе и может быть проведена даже метрологической службой предприятия. Но тем не менее метрологическая служба предприятия обязана выполнять определенные требования. Основное требование к метрологической службе – обеспечение соответствия рабочего средства измерений государственному эталону, т. е. калибровка входит в состав национальной системы обеспечения единства измерений.

Выделяют четыре метода поверки (калибровки) средств измерений:

1) метод непосредственного сравнения с эталоном;

## Технические измерения

- 2) метод сличения при помощи компьютера;
- 3) метод прямых измерений величины;
- 4) метод косвенных измерений величины.

Метод непосредственного сличения с эталоном средства измерений, подвергаемого калибровке, с соответствующим эталоном определенного разряда практикуется для различных средств измерений в таких сферах, как электрические измерения, магнитные измерения, определение напряжения, частоты и силы тока. Данный метод базируется на осуществлении измерений одной и той же физической величины калибруемым (поверяемым) прибором и эталонным прибором одновременно. Погрешность калибруемого (поверяемого) прибора вычисляется как разность показаний калибруемого прибора и эталонного прибора (т. е. показания эталонного прибора принимаются за настоящее значение измеряемой физической величины).

Преимущества метода непосредственного сличения с эталоном:

- 1) простота;
- 2) наглядность;
- 3) возможность автоматической калибровки (поверки);
- 4) возможность проведения калибровки с помощью ограниченного количества приборов и оборудования.

Метод сличения с помощью компьютера осуществляется с использованием компаратора – специального прибора, посредством которого проводится сравнение показаний калибруемого (поверяемого) средства измерений и показаний эталонного средства измерений. Необходимость использования компаратора обуславливается невозможностью провести непосредственное сравнение показаний средств измерений, измеряющих одну и ту же физическую величину. Компаратором может быть средство измерения, одинаково воспринимающее сигналы эталонного средства измерения и калибруемого (поверяемого) прибора. Преимущество данного метода в последовательности во времени сравнения величин.

Метод прямых измерений величины используется в случаях, когда есть возможность провести сравнение калибруемого средства измерения с эталонным в установленных пределах измерений. Метод прямых измерений базируется на том же принципе, что и метод непосредственного сличения. Различие между этими методами состоит в том, что при помощи метода прямых измерений осуществляется сравнение на всех числовых отметках каждого диапазона (поддиапазона).

Метод косвенных измерений используется в случаях, когда настоящие (действительные) значения измеряемых физических величин невозможно получить посредством прямых измерений или когда косвенные измерения выше по точности, чем прямые измерения. При использовании данного метода для получения искомого значения сначала ищут значения величин, связанных с искомой величиной известной функциональной зависимостью. А затем на основании этой зависимости находится расчетным путем искомое значение. Метод косвенных измерений, как правило, используется в установках автоматизированной калибровки (поверки).

Для того чтобы передача размеров единиц измерений рабочим приборам от эталонов единиц измерений осуществлялась без больших погрешностей, составляются и применяются поверочные схемы.

Поверочные схемы – это нормативный документ, в котором утверждается соподчинение средств измерений, принимающих участие в процессе передачи

## Технические измерения

размера единицы измерений физической величины от эталона к рабочим средствам измерений посредством определенных методов и с указанием погрешности. Поверочные схемы утверждают метрологическое подчинение государственного эталона, разрядных эталонов и средств измерений.

Поверочные схемы разделяют на:

- 1) государственные поверочные схемы;
- 2) ведомственные поверочные схемы;
- 3) локальные поверочные схемы.

Государственные поверочные схемы устанавливаются и действуют для всех средств измерений определенного вида, использующихся в пределах страны.

Ведомственные поверочные схемы устанавливаются и действуют на средства измерений данной физической величины, подлежащие ведомственной поверке. Ведомственные поверочные схемы не должны вступать в противоречие с государственными поверочными схемами, если они установлены для средств измерений одних и тех же физических величин. Ведомственные поверочные схемы могут быть установлены при отсутствии государственной поверочной схемы. В ведомственных поверочных схемах возможно непосредственно указывать определенные типы средств измерений.

Локальные поверочные схемы используются метрологическими службами министерств и действуют также и для средств измерений предприятий, им подчиненных. Локальная поверочная схема может распространяться на средства измерений, использующиеся на определенном предприятии. Локальные поверочные схемы в обязательном порядке должны отвечать требованиям соподчиненности, утвержденным государственной поверочной схемой. Составлением государственных поверочных схем занимаются научно—исследовательские институты Госстандарта Российской Федерации. Научно—исследовательские институты Госстандарта являются обладателями государственных эталонов.

Ведомственные поверочные схемы и локальные поверочные схемы представляются в виде чертежей.

Государственные поверочные схемы устанавливаются Госстандартом РФ, а локальные поверочные схемы – метрологическими службами либо руководителями предприятий. В поверочной схеме утверждается порядок передачи размера единиц измерений одной или нескольких физических величин от государственных эталонов рабочим средствам измерений. Поверочная схема должна содержать по меньшей мере две ступени передачи размера единиц измерений.

На чертежах, представляющих поверочную схему, должны присутствовать:

- 1) наименования средств измерений;
- 2) наименования методов поверки;
- 3) номинальные значения физических величин;
- 4) диапазоны номинальных значений физических величин;
- 5) допустимые значения погрешностей средств измерений;
- 6) допустимые значения погрешностей методов поверки.

5 вопрос Правовые основы метрологического обеспечения. Основные положения Закона РФ «Об обеспечении единства измерений»

Единство измерений – это характеристика измерительного процесса, означающая, что результаты измерений выражаются в установленных и принятых в законодательном порядке единицах измерений и оценка точности измерений имеет надлежащую доверительную вероятность.

## Технические измерения

Главные принципы единства измерений:

- 1) определение физических величин с обязательным использованием государственных эталонов;
- 2) использование утвержденных в законодательном порядке средств измерений, подвергнутых государственному контролю и с размерами единиц измерения, переданными непосредственно от государственных эталонов;
- 3) использование только утвержденных в законодательном порядке единиц измерения физических величин;
- 4) обеспечение обязательного систематического контроля над характеристиками эксплуатируемых средств измерений в определенные промежутки времени;
- 5) обеспечение необходимой гарантированной точности измерений при применении калиброванных (поверенных) средств измерений и установленных методик выполнения измерений;
- 6) использование полученных результатов измерений при обязательном условии оценки погрешности данных результатов с установленной вероятностью;
- 7) обеспечение контроля над соответствием средств измерений метрологическим правилам и характеристикам;
- 8) обеспечение государственного и ведомственного надзора за средствами измерений.

Закон РФ «Об обеспечении единства измерений» был принят в 1993 г. До принятия данного Закона нормы в области метрологии не были регламентированы законодательно

На момент принятия в Законе присутствовало много новшеств начиная от утвержденной терминологии и заканчивая лицензированием метрологической деятельности в стране В Законе были четко разграничены обязанности государственного метрологического контроля и государственного метрологического надзора, установлены новые правила калибровки, введено понятие добровольной сертификации средств измерений.

Основные положения.

Прежде всего цели закона состоят в следующем:

- 1) осуществление защиты законных прав и интересов граждан Российской Федерации, правопорядка и экономики РФ от возможных негативных последствий, вызванных недостоверными и неточными результатами измерений;
- 2) помощь в развитии науке, технике и экономике посредством регламентирования использования государственных эталонов единиц величин и применения результатов измерений, обладающих гарантированной точностью. Результаты измерений должны быть выражены в установленных в стране единицах измерения;
- 3) способствование развитию и укреплению международных и межфирменных отношений и связей;
- 4) регламентирование требований к изготовлению, выпуску, использованию, ремонту, продаже и импорту средств измерений, производимых юридическими и физическими лицами;
- 5) интеграция системы измерений Российской Федерации в мировую практику.

Сферы приложения Закона: торговля; здравоохранение; защита окружающей среды; экономическая и внешнеэкономическая деятельность; некоторые сферы производства, связанные с калибровкой (поверкой) средств измерений метрологическими службами, принадлежащими юридическим лицам,

## Технические измерения

проводимой с применением эталонов, соподчиненных государственным эталонам единиц величин.

В Законе законодательно утверждены основные понятия:

- 1) единство измерений;
- 2) средство измерений;
- 3) эталон единицы величины;
- 4) государственный эталон единицы величины;
- 5) нормативные документы по обеспечению единства измерений;
- 6) метрологическая служба;
- 7) метрологический контроль;
- 8) метрологический надзор;
- 9) калибровка средств измерений;
- 10) сертификат о калибровке.

Все определения, утвержденные в Законе, базируются на официальной терминологии Международной организации законодательной метрологии (МОЗМ).

В основных статьях закона регламентируется:

- 1) структура организации государственных органов управления обеспечением единства измерений;
- 2) нормативные документы, обеспечивающие единство измерений;
- 3) установленные единицы измерения физических величин и государственные эталоны единиц величин;
- 4) средства измерений;
- 5) методы измерений.

Закон утверждает Государственную метрологическую службу и другие службы, занимающиеся обеспечением единства измерений, метрологические службы государственных органов управления и формы осуществления государственного метрологического контроля и надзора.

В Законе содержатся статьи, регламентирующие калибровку (поверку) средств измерений и их сертификацию.

В Законе определяются виды ответственности за нарушения Закона. В Законе утверждается состав и полномочия Государственной метрологической службы.

В соответствии с Законом создан институт лицензирования метрологической деятельности с целью защиты законных прав потребителей. Правом выдачи лицензии обладают только органы Государственной метрологической службы.

Установлены новые виды государственного метрологического надзора:

- 1) за количеством отчуждаемых товаров;
- 2) за количеством товаров в упаковке в процессе их расфасовки и продажи.

В соответствии с положениями Закона увеличивается область распространения государственного метрологического контроля. В нее добавились банковские операции, почтовые операции, налоговые операции, таможенные операции, обязательная сертификация продукции.

В соответствии с Законом вводится основанная на добровольном принципе Система сертификации средств измерений, осуществляющая проверку средств измерений на соответствие метрологическим правилам и требованиям российской системы калибровки средств измерений.

## Учебные вопросы

1. Что учитывается при выборе средств измерения?
2. Как производится предварительный выбор средств измерений?

## Технические измерения

3. Для чего используют методы определения и учета погрешностей измерений?
4. Какие бывают виды точечных оценок?
5. Какие бывают поверочные схемы?
6. Что такое калибровка средств измерений?
7. Что должно присутствовать на чертежах, представляющих поверочную схему?
8. Какие бывают виды проверок ?
9. Какие основные понятия утверждены в Законе РФ «Об обеспечении единства измерений»?

## Лекция 8.

### Тема: Измерительные средства для контроля точности размеров

Учебные вопросы:

1. Средства измерения на производстве.
2. Назначение и обозначение параметров шероховатости деталей машин.
3. Допуски формы и расположения поверхностей деталей.

1 вопрос. Средства измерения на производстве. В распоряжении современных промышленных предприятий находится достаточно большое количество различных измерительных средств, позволяющих с достаточно высокой степенью точности проводить контроль размеров деталей на любом этапе их «жизненного» пути, обеспечивая при этом тот или иной метод взаимозаменяемости.

Под измерением понимают нахождение значений физической величины опытным путем с помощью специально для этого предназначенных технических средств. Основное уравнение измерения имеет вид

$$Q = q \cdot U,$$

где  $Q$  – значение физической величины;

$q$  – числовое значение физической величины в принятых единицах;

$U$  – единица физической величины.

Единица физической величины – физическая величина фиксированного размера, принятая по согласованию в качестве основы для количественного оценивания физических величин той же природы. Измерения проводят как с целью установления действительных размеров изделий и соответствия их требованиям чертежа, так и для проверки точности технологической системы и подналадки ее для предупреждения появления брака.

Технические средства, имеющие нормированные метрологические свойства, называются средствами измерения. К ним относятся следующие:

Эталоны единиц физических величин – средства измерений или комплексы средств измерений, официально утвержденные эталонами для воспроизведения единиц физических величин с наивысшей достижимой точностью, и их хранение (например, комплекс средств измерений для воспроизведения метра через длину световой волны). Примером точности эталонов может служить государственный эталон времени, погрешность которого за 30 тыс. лет не будет превышать 1 с.



## Технические измерения

Меры – средства измерений, предназначенные для воспроизведения физической величины заданного размера. К мерам относятся плоскопараллельные концевые меры длины, гири, конденсаторы постоянной емкости и др.

Образцовые средства измерений – это меры, измерительные приборы или преобразователи, утвержденные в качестве образцовых. Они служат для контроля нижестоящих по поверочной схеме измерительных средств; в то же время их периодически проверяют по эталонам. Точность образцовых средств измерения имеет большое значение для обеспечения единства измерений и соблюдения принципов взаимозаменяемости на любом промышленном предприятии.

Рабочие средства измерений – это меры, устройства или приборы, применяемые для измерений, не связанных с передачей единицы физической величины (например, концевая мера длины, используемая для контроля размеров изделий или для наладки станков). Для этих целей в распоряжении центральных заводских лабораторий (ЦЗЛ) предприятий машино- и приборостроения в обязательном порядке имеются меры длины и угловые меры.

Меры длины по конструктивным признакам делят на штриховые и концевые. Штриховые меры длины используют в качестве эталонов, образцовых и рабочих штриховых мер, в виде шкал измерительных приборов, а также в инструментах, предназначенных для грубых измерений (измерительные линейки, рулетки и др.).

Плоскопараллельные концевые меры составляют основу современных линейных измерений в машиностроении. Они представляют собой бруски из закаленной стали или твердого сплава, имеющие форму прямоугольных параллелепипедов. Две противоположные измерительные поверхности каждой концевой меры весьма точно обрабатывают путем шлифования и доводки. Вследствие этого концевые меры обладают способностью притираться (сцепляться) при их наведении друг на друга.

Концевые меры выпускают комплектами, которые позволяют составлять наборы из числа мер не более 4-х с дискретностью 1 мкм.

Угловые меры выполняют в виде призм; они предназначены для хранения и передачи плоского угла, для поверки и градуировки угломерных приборов и угловых шаблонов, а также для контроля углов изделий. Угловые меры выпускают в виде отдельных мер или комплектных наборов, позволяющих составить любой угол с градацией в 1°, 10', 1',30" и др.

Текущий контроль размеров деталей на рабочих местах в ходе выполнения технологических операций осуществляется с помощью следующих измерительных средств:

1. Измерительные инструменты: штангенциркули, предназначенные для измерения наружных и внутренних размеров; штангенглубиномеры, служащие для контроля глубины отверстий и пазов; штангенрейсмусы и микрометрические измерительные инструменты. Штангенрейсмусы предназначены для разметочных работ и определения высот деталей. Микрометрические измерительные инструменты (микрометры) основаны на использовании винтовой пары (винт – гайка), которая преобразовывает вращательное движение микрогайки в поступательное перемещение винта (измерительного наконечника). Цена деления таких инструментов – 0,01 мм.

2. Механические измерительные приборы – к ним относятся приборы с зубчатой передачей – индикаторы часового типа. Погрешность измерения индикаторов часового типа от  $2\pm$  до  $\pm 10$  мкм.

3. Оптико-механические приборы характеризуются сочетанием механических передаточных механизмов с оптическим устройством. К ним относятся: оптиметры

Технические измерения

(горизонтальные и вертикальные), длинномеры, различные измерительные машины для контроля сложных корпусных деталей, точных измерений больших длин, расстояний между осями отверстий и в других случаях; интерферометры – действие этих приборов основано на использовании явления интерференции световых волн, имеют цену деления от 0,05 до 0,2 мкм; различные проекторы, дающие на экране увеличенное изображение контролируемой детали.

Все эти универсальные измерительные приборы используют в измерительных лабораториях (например, ЦЗЛ) и в цехах непосредственно на рабочих местах.

Годность деталей наиболее часто проверяют предельными калибрами. Калибрами проверяют размеры гладких цилиндрических, конусных, резьбовых и шлицевых деталей, глубины и высоты выступов, а также расположение поверхностей и другие параметры. Комплект рабочих предельных калибров для контроля размеров гладких цилиндрических деталей состоит из проходного калибра ПР (им контролируют предельный размер, соответствующий максимуму материала проверяемого объекта, рис.), и непроходного калибра НЕ (им контролируют предельный размер, соответствующий минимуму материала проверяемого объекта).

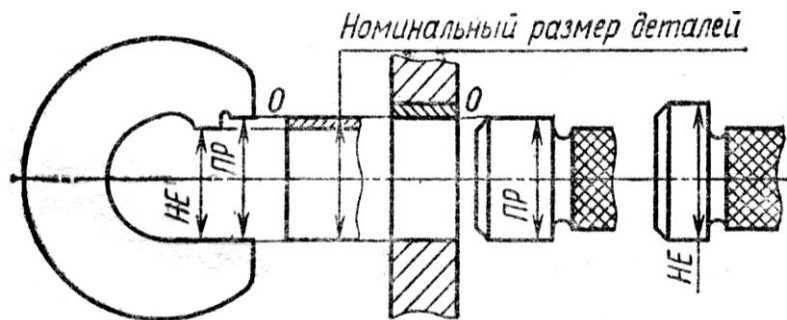


Рисунок 1 - Схема для выбора номинальных размеров предельных гладких калибров

С помощью предельных калибров определяют не числовое значение контролируемых параметров, а годность детали, т. е. выясняют, выходит ли контролируемый параметр за нижний или верхний предел, или находится между двумя допустимыми пределами. Деталь считают годной, если проходной калибр (проходная сторона калибра) под действием собственного веса или усилия, примерно равного ему, проходит, а непроходной калибр (непроходная сторона) не проходит по контролируемой поверхности детали. В этом случае действительный размер детали находится между заданными предельными размерами. Если проходной калибр не проходит, то деталь является исправимым браком. Если непроходной калибр проходит, то деталь считается неисправимым браком и ее размер находится вне поля допуска. Таким образом, изделие считают годным, когда погрешности размера, формы и расположения поверхностей находятся в поле допуска.

## Технические измерения

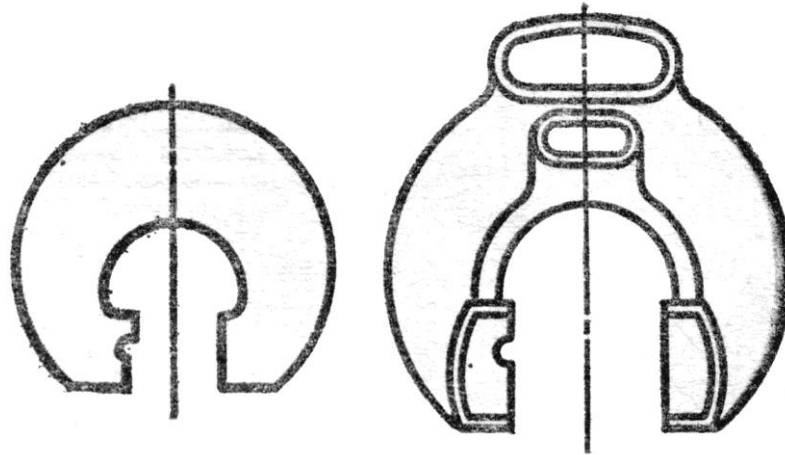
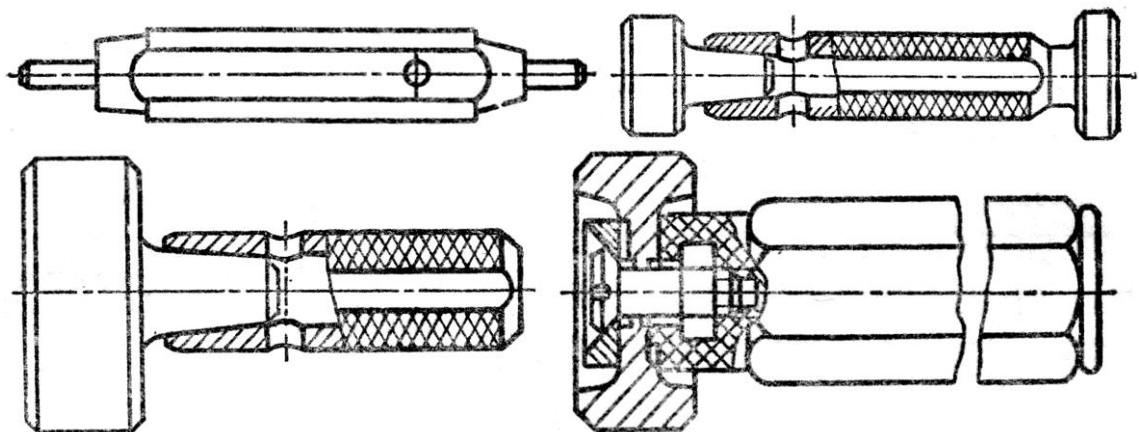


Рисунок 2 - Односторонние двухпредельные скобы для контроля валов

На практике в машино- и приборостроении для контроля предельных размеров деталей используют различные типы калибров, основные типы которых приведены на рис.: пробка двухсторонняя цельная (а); пробка двухсторонняя со вставками (б); пробка проходная (непроходная) со вставками (в); пробка штамповочная проходная (непроходная) с насадками (г); пробка проходная (непроходная) неполная штамповочная (д); пробка проходная (непроходная) неполная (е); пробка односторонняя листовая (ж); шайба полная (з); шайба неполная (и).

Для проходных калибров, которые в процессе контроля изнашиваются, кроме допуска на изготовление, предусматривается допуск на износ. Различают калибры рабочие, приемочные (изношенные рабочие) и контрольные (контркалибры). Расчет калибров состоит в определении их исполнительных размеров. При этом при расчете рабочих калибров пробку по отношению к контролируемому отверстию детали рассматривают как основной вал, а скобу по отношению к контролируемому размеру вала – как основное отверстие.



Технические измерения

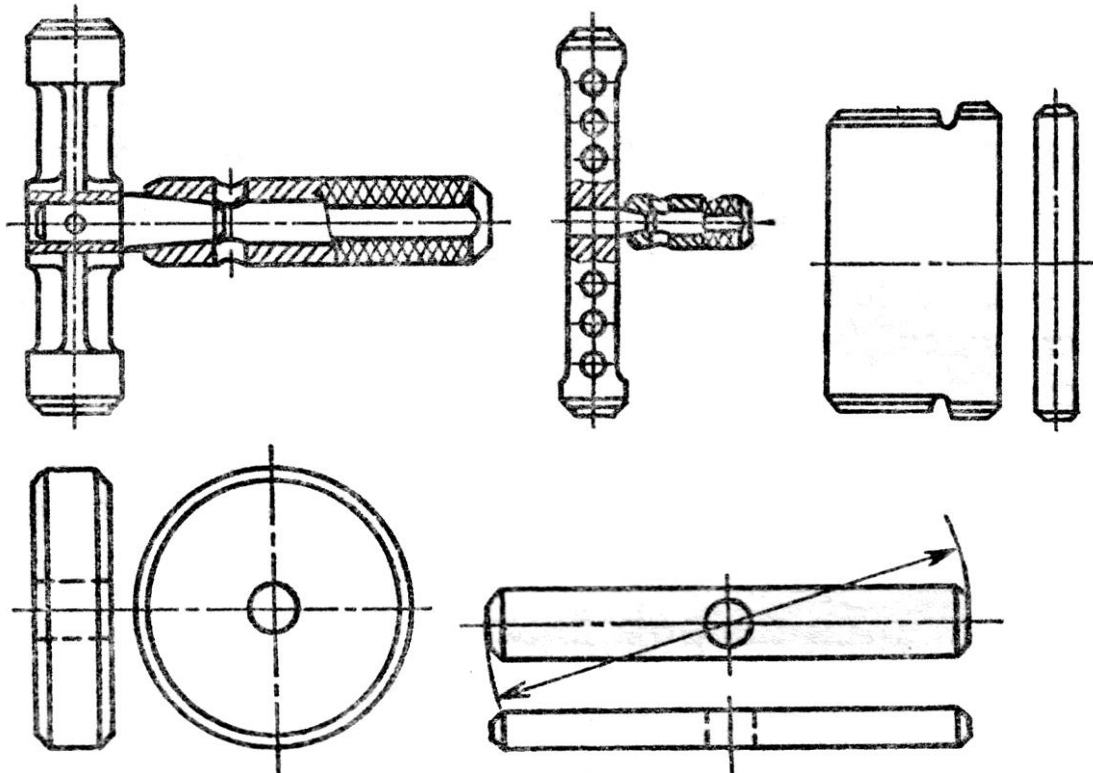


Рис. 3 Основные типы калибров-пробок для контроля отверстий

2 вопрос. Назначение и обозначение параметров шероховатости деталей машин.

Важную роль в осуществлении взаимозаменяемости имеет шероховатость поверхностей, погрешности формы и расположения их, полученные в результате обработки деталей машин. Под шероховатостью поверхности понимают совокупность микронеровностей высотой в диапазоне  $10^2 \dots 10^3$  мкм с шагом меньшим, чем базовая длина  $l$ , используемая для ее измерения.

Базовой длиной  $l$  называют длину базовой линии, используемой для выявления микронеровностей, характеризующих шероховатость обработанной поверхности, и для количественного определения ее параметров. Срез, иллюстрирующий шероховатость обработанной поверхности при его многократном горизонтальном и вертикальном увеличении, представлен на рис.4. Для измерения шероховатости используются приборы в основном двух видов: бесконтактные, например оптические, и контактные щуповые. Щуповые делятся на профилометры, непосредственно показывающие значение измеренных параметров, и профилографы, записывающие профили микронеровностей поверхности (профилограммы). Профилограммы записываются в направлении наибольшего значения шероховатости. В частности, для поверхности, изображенной на рис., запись шероховатости показана в направлении оси X (рис.).

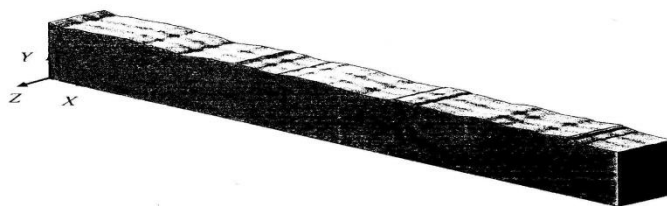


Рисунок 4 - Срез, иллюстрирующий шероховатость обработанной поверхности, при его многократном увеличении.

Так как высота неровностей профиля шероховатости измеряется в мкм, а их шаг – в мм, то профилограммы записываются с различным горизонтальным и вертикальным увеличением (рис.7). При этом истинный профиль шероховатости приобретает искаженный вид (рис.5). Если установить одинаковое горизонтальное и вертикальное увеличение, то для записи потребуется несколько метров профилограммной ленты. Такие профилограммные данные неудобны в использовании, обработке, приводят к увеличению расхода профилограммной ленты, а поэтому на практике не применяются.



Рисунок 5 - Истинный профиль шероховатости поверхности при его многократном увеличении

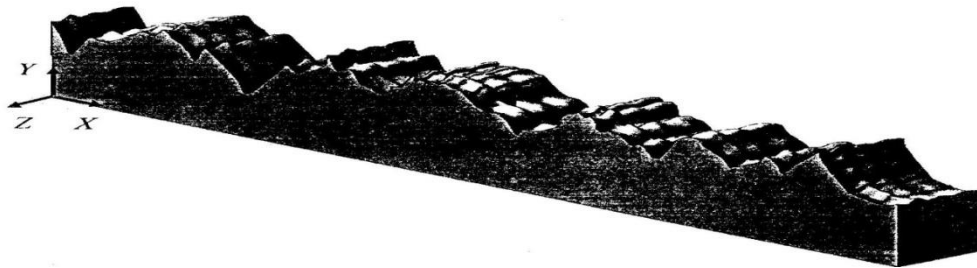


Рисунок 6 - Изометрическое изображение шероховатости, полученное при различном горизонтальном и вертикальном увеличении

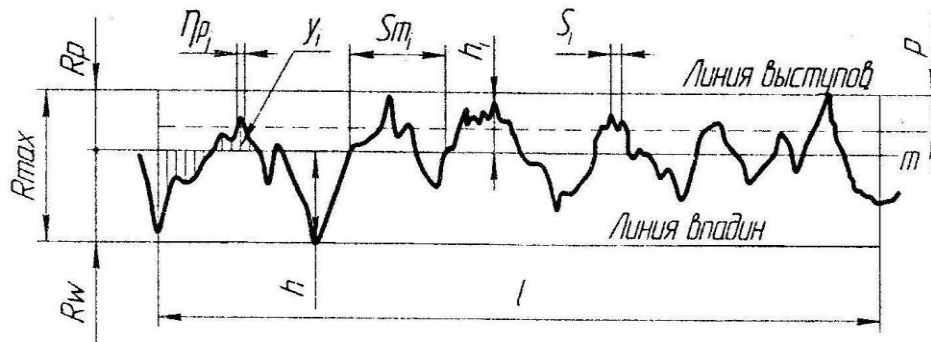


Рисунок 7 - Профилограмма шероховатости поверхности

Шероховатость в соответствии с ГОСТ 2789–73 характеризуется следующими параметрами:

$R_a$  – среднее арифметическое отклонение профиля (предпочтительный параметр), мкм:

Технические измерения

$$R_a = \frac{1}{l} \int_0^l |y_i| dx \text{ или } R_a = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |y_i|,$$

где  $l$  – базовая длина (длина контролируемого участка поверхности);  
 $y_i$  – текущая величина ординаты профиля шероховатости;  $N$  – число рассматриваемых координат профиля шероховатости, обычно принимается  $N \geq 50$ ;  $R_z$  – высота неровностей профиля по десяти точкам, мкм:

$$R_z = \frac{\sum_{i=1}^5 h_i + \sum_{i=1}^5 h'_i}{5},$$

где  $h_i$  – высота  $i$ -го выступа;  $h'_i$  – глубина  $i$ -й впадины профиля;  
 $R_{max}$  – наибольшая высота неровностей профиля, мкм;  
 $S_m$  – средний шаг неровностей профиля, мм:

$$S_m = \sum_{i=1}^N S_{mi} / N,$$

где  $S_{mi}$  – значение  $i$ -го шага неровностей по средней линии в пределах базовой длины;

$S$  – средний шаг местных выступов профиля, мм:

$$S = \sum_{i=1}^N S_i / N,$$

где  $S_i$  – значение  $i$ -го шага по вершинам местных выступов;  
 $t_p$  – относительная опорная длина профиля, %:


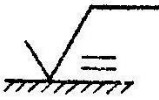

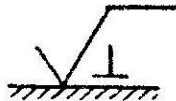
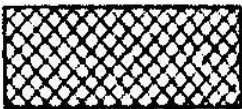
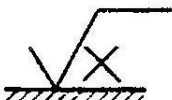
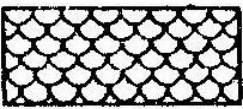
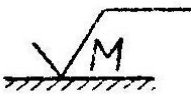

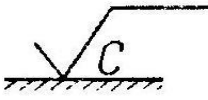
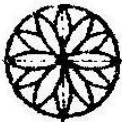
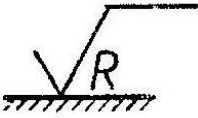
$$t_p = \sum_{i=1}^N \eta_p 100 / l = \eta_p 100 / l, \quad (34)$$

где  $\eta_p$  – опорная длина профиля на уровне  $p$  (уровень сечения профиля).

После нанесения размеров, предельных отклонений размеров, отклонений формы и расположения поверхностей на рабочем чертеже детали следует указывать параметры и характеристики шероховатости поверхностей, установленные ГОСТ 2789–73 и в соответствии с данными, приведенным в таблице 1.

Технические измерения

Таблица 1- Типы направлений неровностей поверхности (ГОСТ 2789–73)

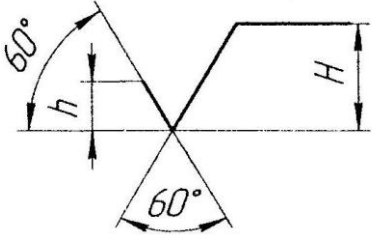
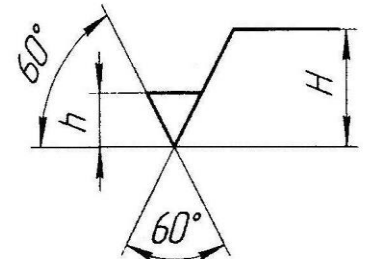
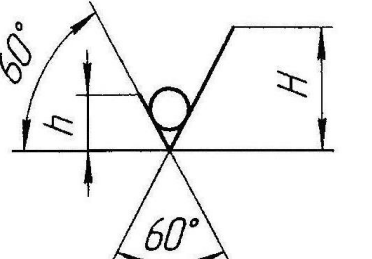
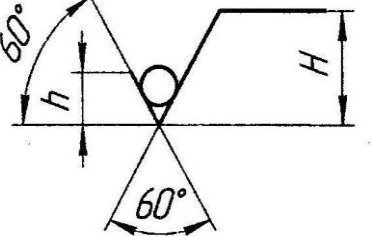
Тип направления неровностей	Направление неровностей	Обозначение	Пояснение к расположению неровностей
Параллельный			Параллельно линии, изображающей на чертеже поверхность
Перпендикулярный			Перпендикулярно линии, изображающей на чертеже поверхность
Перекрещивающийся			Перекрещивание в двух направлениях наклонно к линии, изображающей на чертеже поверхность
Произвольный			Различные направления по отношению к линии, изображающей на чертеже поверхность
Тип направления неровностей	Направление неровностей	Обозначение	Пояснение к расположению неровностей
Кругообразный			Приблизительно кругообразно по отношению к центру поверхности
Радиальный			Приблизительно радиально по отношению к центру поверхности

Технические измерения

На учебных чертежах параметры и характеристики шероховатости поверхностей наносятся после простановки размеров.

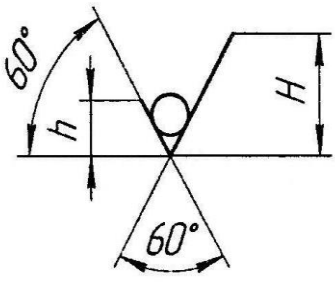
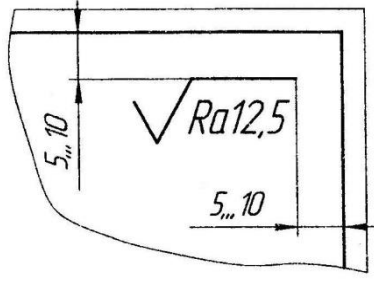
Обозначение и правила нанесения шероховатости поверхностей приведены в таблице 2.

Таблица 2- Элементы обозначений и правил нанесения шероховатости на чертежах (ГОСТ 2.309–73)

Иллюстрации	Краткое описание
	<p>Знак шероховатости поверхности, способ обработки которой не устанавливается конструктором:  <math>h \approx hч</math>,                      где <math>hч</math> – высота размерных чисел на чертеже  <math>H = (1,5...5)h</math></p>
	<p>Знак шероховатости поверхности, которая обрабатывается удалением слоя материала (точением, фрезерованием, шлифованием, полированием и т. д.)</p>
	<p>Знак шероховатости поверхности, получаемой без удаления слоя материала (литьем, ковкой, штамповкой, прокатом, волочением и т. д.). Применяется, когда нет необходимости в указании значения параметра шероховатости</p>
	<p>Знак шероховатости поверхности, получаемой без удаления слоя материала (литьем, ковкой, штамповкой, прокатом, волочением и т. д.) с указанием значения параметра шероховатости</p>



Технические измерения

	<p>Знак, указывающий поверхность, не обрабатываемую по данному чертежу</p>
	<p>Обозначение поверхностей с одинаковой шероховатостью. Если шероховатость всех поверхностей детали должна быть одинаковой, то общее обозначение шероховатости наносят в правом верхнем углу чертежа. Размеры и толщина знаков, нанесенных в правый верхний угол чертежа, должны быть больше размеров и толщины знаков, нанесенных на изображении, приблизительно в 1,5 раза</p>

Структура обозначения шероховатости поверхности детали приведена на рисунке 8



Рисунок 8 - Структура знака изображения шероховатости поверхности детали на чертеже.

Точность геометрических параметров деталей характеризуется точностью их размеров, а также точностью формы и взаимного расположения поверхностей. Отклонением формы называется отклонение формы реальной поверхности от формы идеальной поверхности, заданной чертежом. Отклонением расположения называется отклонение реального расположения элемента (поверхности, оси или плоскости симметрии) от номинального расположения.

3 вопрос. Допуски формы и расположения поверхностей деталей .Допуски формы и расположения поверхностей определяются по конструктивным и технологическим соображениям и указываются в чертежах согласно ГОСТ 2.308–79.

Условные обозначения допусков формы и расположения поверхностей указывают в прямоугольной рамке, разделенной на две (для допусков формы) или три (для допусков расположения поверхностей) части. В первой части наносят графический символ, обозначающий вид допуска, во второй части – числовое

Технические измерения

значение допуска в миллиметрах, в третьей – буквенное обозначение базы, т.е. поверхности, относительно которой измеряют допуск. Базовую поверхность на чертеже обозначают зачерненным равносторонним треугольником, соединенным с квадратной рамкой, в которую вписывают буквенное обозначение базы (рисунок 9).

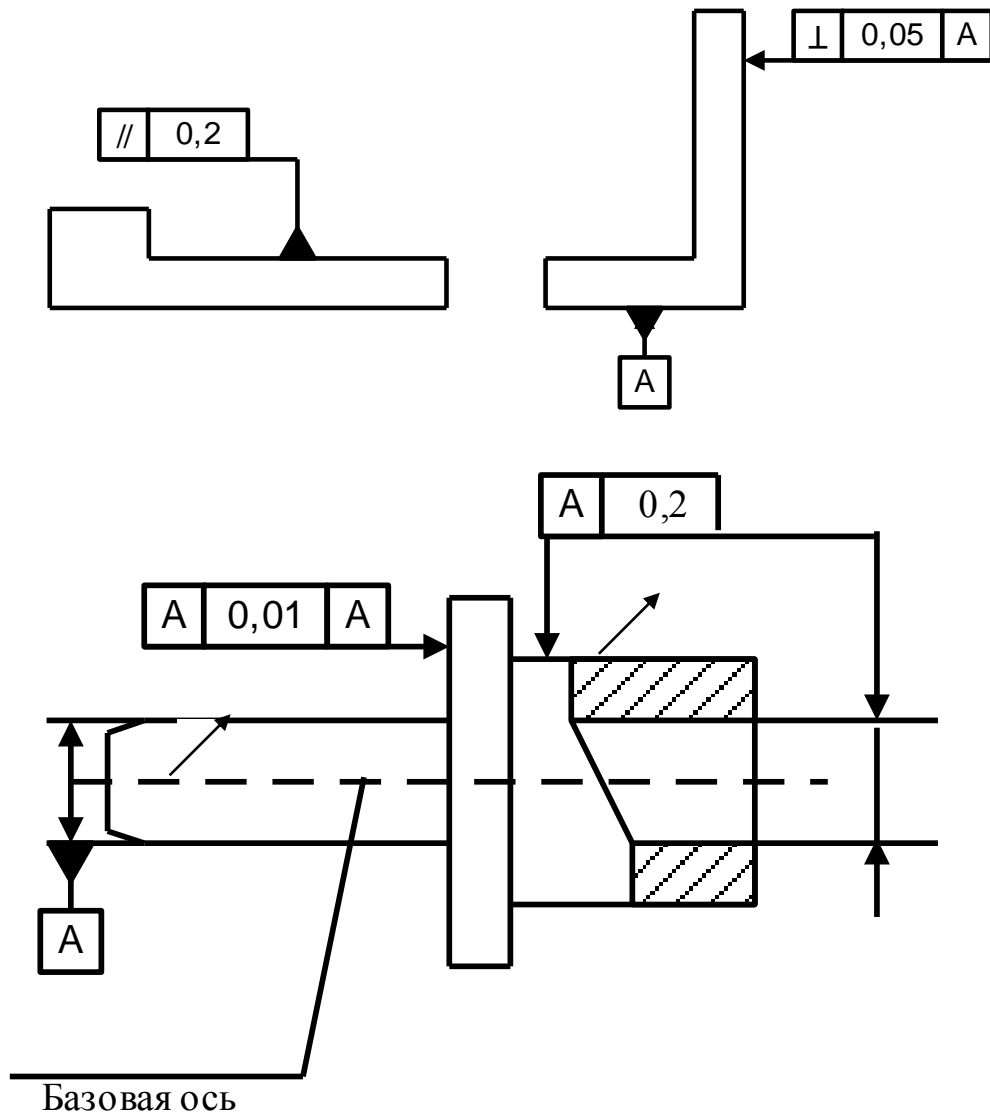








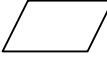
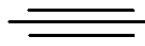

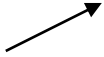
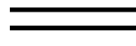




Рисунок 9 - Обозначение базовой поверхности на чертеже детали при указании допусков на форму и расположение поверхностей

Числовые значения допусков на форму и расположение поверхностей детали приводятся в ГОСТ 24643–81. Они зависят от номинальных размеров и степени точности конкретного изделия. В каждой степени точности допуск увязан с одним из конструктивных параметров нормируемого элемента (диаметром, длиной и др.). В ГОСТ 24643–81 предусмотрено 16 степеней точности. В таблице 3 приведены условные обозначения допусков формы и расположения поверхностей.

Технические измерения

Таблица 3 - Условные обозначения допусков формы и расположения поверхностей деталей

Допуск формы	Знак	Допуск расположения	Знак
Заданного профиля		Параллельности	
Заданной поверхности		Перпендикулярности	
Прямолинейности		Наклона	
Круглости		Соосности	
Плоскостности		Симметричности	
Цилиндричности		Радиального или торцевого биения	
Профиля продольного сечения		Пересечения осей	
		Позиционный допуск	

Нормирование отклонений формы и расположение поверхностей детали осуществляют следующим образом. При указании на чертежах детали отклонений формы и расположения поверхностей используют зависимый допуск. Этот допуск устанавливается путем расчета размерных цепей по заданным (независимым) допускам составляющих звеньев размерной цепи. Часто на чертеже детали указывают базы, относительно которых задаются допуски на отклонения формы и расположения поверхностей, суммарные допуски, привязывая их конкретным размерным линиям

**Учебные вопросы**

- 1.Что такое единица физической величины?
- 2.Чем отличаются образцовые средства измерений от рабочих?
3. С помощью каких измерительных средств осуществляется текущий контроль размеров деталей на рабочих местах в ходе выполнения технологических операций?
4. Какие типы калибров используются для контроля предельных размеров деталей ?
- 5.Какие приборы используются для измерения шероховатости ?
- 6.Какими параметрами характеризуется шероховатость в соответствии с ГОСТ 2789–73 ?

Технические измерения

7. Как на чертеже указываются условные обозначения допусков формы и расположения поверхностей.

## Лекция 9.

### Тема: Статистическая обработка результатов измерений

Учебные вопросы:

1. Прямые измерения с многократными наблюдениями.
2. Прямые однократные наблюдения.
3. Приближенная оценка погрешности прямого однократного измерения.
4. Косвенные измерения

1 вопрос. Прямые измерения с многократными наблюдениями.

Статистическая обработка результатов измерений – обработка измерительной информации с целью получения достоверных данных. Разнообразие задач, решаемых с помощью измерений, определяет и разнообразие видов статистической обработки их результатов.

Задача статистической обработки результатов многократных измерений заключается в нахождении оценки измеряемой величины и доверительного интервала, в котором находится истинное значение.

Статистическая обработка используется для повышения точности измерений с многократными наблюдениями, а также определения статистических характеристик случайной погрешности.

Для прямых однократных измерений статистическая обработка менее сложна и громоздка, что значительно упрощает оценку погрешностей.

Статистическую обработку результатов косвенных измерений производят, как правило, методами, основанными на отдельной обработке аргументов и их погрешностей, и методом линеаризации.

Наиболее распространенные совместные измерения обрабатываются разными статистическими методами. Среди них широко известен и часто применяется метод наименьших квадратов.

Прямые измерения с многократными наблюдениями.

Необходимость в многократных наблюдениях некоторой физической величины возникает при наличии в процессе измерений значительных случайных погрешностей. При этом задача обработки состоит в том, чтобы по результатам наблюдений определить наилучшую (оптимальную) оценку измеряемой величины и интервал, в котором она находится с заданной вероятностью. Данная задача может быть решена способом статистической обработки результатов наблюдений, основанным на гипотезе о распределении погрешностей результатов по нормальному закону.

Технические измерения

Порядок такой обработки должен соответствовать государственному стандарту и рекомендациям по метрологии.

Итак, рассмотрим группу из  $n$  независимых результатов наблюдений случайной величины  $x$ , подчиняющейся нормальному распределению. Оценка рассеяния единичных результатов наблюдений в группе относительно их среднего значения вычисляется по формуле:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - m_x)^2}{n-1}}$$

Поскольку число наблюдений в группе, на основании результатов которых выполнено вычисление среднего арифметического, ограничено, то, повторив заново серию наблюдений этой же величины, мы получили бы новое значение среднего арифметического. Повторив многократно наблюдения и вычисляя каждый раз их среднее арифметическое значение, принимаемое за результат наблюдений (измерений), обнаружим рассеяние среднего арифметического значения.

Характеристикой этого рассеяния является средний квадрат отклонения среднего арифметического:

$$S_{\bar{x}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - m_x)^2}{n(n-1)}} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$

Среднее квадратичное отклонение среднего арифметического используется для оценки погрешности результата измерений с многократными наблюдениями.

Теория показывает, что если рассеяние результатов наблюдения в группе подчиняется нормальному закону, то и их среднее арифметическое тоже подчиняется нормальному закону распределения при достаточно большом числе наблюдений ( $n > 50$ ). Отсюда при одинаковой доверительной вероятности доверительный интервал среднего арифметического в  $\sqrt{n}$  уже, чем доверительный интервал результата наблюдений. Теоретически случайную погрешность результата измерений можно было бы свести к 0, однако практически это невозможно, да и не имеет смысла, так как при уменьшении значения случайной погрешности определяющим в суммарной погрешности становится значение неисключенных остатков систематической погрешности.

При нормальном законе распределения плотности вероятностей результатов наблюдений и небольшом числе измерений среднее арифметическое подчиняется закону распределения Стьюдента с тем же средним арифметическим  $m_x$ . Особенностью этого распределения является то, что доверительный интервал с уменьшением числа наблюдений расширяется по сравнению с нормальным законом распределения при этой же доверительной вероятности. В формуле для оценки доверительных границ случайной погрешности это отражается введением коэффициента  $t_q$  вместо  $t$ :

$$\Delta x(P) = t\sigma = t_q\sigma$$

Технические измерения

Коэффициент распределения Стьюдента зависит от числа наблюдений и выбранной доверительной вероятности и находится по таблице. Например, для  $n=4$  и  $P_d=0,95$   $t_q=3,182$ ;  $n=5$  при  $P_d=0,95$   $t_q=2,776$ ; для  $n=10$   $t_q=2,262$ ;  $n=15$   $t_q=2,145$  при той же  $P_d=0,05$ .

Правила обработки результатов измерения с многократными наблюдениями учитывают следующие факторы:

- обрабатывается группа из  $n$  наблюдений (то есть группа ограничена);
- результаты наблюдений могут содержать систематическую погрешность;
- в группе наблюдений могут встречаться грубые погрешности;
- распределение случайных погрешностей может отличаться от нормального.

Обработка результатов наблюдения производится в следующей последовательности:

1. Исключить известные систематические погрешности из результатов наблюдения (введением поправки);
2. Вычислить среднее арифметическое исправленных результатов наблюдений, принимаемое за результат наблюдений:

$$X = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

3. Вычислить оценку среднего квадратичного отклонения результата наблюдения:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - X)^2}{n-1}}$$

Определив  $\sigma$ , целесообразно проверить наличие в группе наблюдений грубых погрешностей, помня, что при нормальном законе распределения ни одна случайная погрешность  $x_i - X$ , с вероятностью, практически равной 1, не может выйти за пределы  $\pm 3\sigma$ . Наблюдения, содержащие грубые погрешности, исключают из группы и заново повторяют вычисления  $X$  и  $\sigma$ .

- 4) Вычислить оценку среднего квадратичного отклонения среднего арифметического  $S_{\bar{x}}$  по формуле:

$$S_{\bar{x}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - m_x)^2}{n(n-1)}} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$

- 5) Проверить гипотезу о том, что результаты измерений принадлежат нормальному распределению.

Приближенно о характере распределения можно судить, построив гистограмму. Существуют и строгие методы проверки гипотез о том или ином характере распределения случайной величины с использованием специальных критериев. Об этом подробнее можно узнать в книге П. В. Новицкий, И. А. Зограф «Оценка погрешностей результатов измерений».

Технические измерения

При числе наблюдений  $n < 15$  принадлежность их к нормальному распределению не проверяют, а доверительные границы случайной погрешности результата определяют лишь в том случае, если достоверно известно, что результаты наблюдений принадлежат нормальному закону.

6) Вычислить доверительные границы  $\varepsilon$  случайной погрешности результата измерения при заданной вероятности  $P$ :

$$\varepsilon = t_g S_{\bar{x}}$$

где  $t_g$  - коэффициенты Стьюдента

7) Вычислить границы суммарной неисключенной систематической погрешности (НСП) результата измерения.

НСП результата измерений образуется из неисключенных остатков измерений, погрешностей, поправок и т. д.

При суммировании эти составляющие рассматриваются как случайные величины. При отсутствии данных о виде распределений НСП, их распределения принимают за равномерные.

При равномерном распределении НСП границы НСП вычисляют по формуле:

$$\theta = k \sqrt{\sum_{i=1}^m \theta_i^2}$$

где  $\theta_i$  - граница  $i$ -той НСП,  $k$  - коэффициент, определяемый принятой доверительной вероятностью (при  $P_d = 0,95$   $k = 1,1$ );  $m$  - число неисключенных составляющих систематической погрешности.

Доверительную вероятность для вычисления границ НСП принимают той же, что при вычислении границ случайной погрешности результата измерений.

8) Вычислить доверительные границы погрешности результата измерения.

Анализ соотношения между НСП и случайной погрешностью показывает, что

если  $\frac{\theta}{S_{\bar{x}}} < 0,8$ , то НСП можно пренебречь и принять границы погрешности результата  $\Delta = \pm \varepsilon$ .

Если  $\frac{\theta}{S_{\bar{x}}} > 8$ , то случайной погрешностью можно пренебречь и принять  $\Delta = \pm \theta$ .

Если оба неравенства не выполнены, вычисляют среднее квадратичное

Технические измерения

отклонение результата как сумму НСП и случайной погрешности в следующем виде:

$$S_{\Sigma} = \sqrt{\sum_{i=1}^m \frac{\theta_i^2}{3} + S_{\bar{x}}^2}$$

а границы погрешности результата измерения в этом случае вычисляют по формуле:

$$\Delta = \pm k S_{\Sigma}$$

где k – коэффициент, определяемый как

$$k = \frac{\varepsilon + \theta}{S_{\bar{x}} + \sqrt{\sum_{i=1}^m \frac{\theta_i^2}{3}}}$$

9) Записать результат измерения в регламентированной стандартом форме:

а) при симметричном доверительном интервале погрешности результата измерения  $x \pm \Delta, P$ , где x – результат измерения;

б) при отсутствии данных о виде функции распределения составляющих погрешности результата или при необходимости использования данных для дальнейшей обработки результатов, результат представляют в форме:  $X, S_x, n, \theta$

Из условия, что при  $\frac{\theta}{S_{\bar{x}}} > 8$  случайной погрешностью можно пренебречь, следует оценка максимального целесообразного числа наблюдений в эксперименте:

$$\frac{\theta}{S_{\bar{x}}} = 8 \Rightarrow n_{\max} = \left(\frac{8\sigma}{\theta}\right)^2$$

где 
$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - X)^2}{n-1}}$$

2 вопрос. Прямые однократные наблюдения. Такой вид измерений является наиболее распространенным, когда речь идет о механических измерениях или физическом эксперименте. Однако они возможны лишь при следующих условиях:

объем априорной информации об объекте измерений такой, что аналитическая модель объекта и измеряемой величины не вызывают сомнений;

метод измерения достаточно изучен, и его погрешности либо заранее устранены, либо оценены;

средства измерения исправны, а их метрологические характеристики соответствуют установленным нормам;



Технические измерения

применение методики обработки результатов прямых однократных измерений возможно, если известны составляющие погрешности измерения; закон распределения случайных составляющих - нормальный, а НСП – равномерный с известными границами  $\pm\theta$ .

Сама методика описана в соответствующих нормативных документах.

Результатом прямого однократного измерения физической величины  $x_n = A_n$  является показание, снятое непосредственно с используемого средства измерения. До измерения должна быть проведена априорная оценка составляющих погрешности с использованием всех доступных данных. При определении доверительных границ погрешности результата измерений доверительная вероятность принимается  $P_d = 0,95$ .

Погрешность результата прямого однократного измерения включает в себя погрешность средства измерения, методы измерения и субъективную погрешность оператора (которую можно легко устранить, применив цифровой прибор, но возникнет погрешность дискретизации). Любая из этих составляющих может иметь и НСП, и случайные составляющие.

Оценивание погрешностей прямых однократных измерений можно подразделить на точное и приближенное.

Методика точной оценки:

1) пусть число НСП  $m$  и каждая из них задана либо границами  $\pm\theta_i$ , либо доверительными границами  $\pm\theta_i(P_j)$ . В первом случае доверительная граница систематической составляющей погрешности результата измерения вычисляется по формуле:

$$\theta = k \sqrt{\sum_{i=1}^m \theta_i^2},$$

где  $k=1,1$  (как и при  $P_d=0,95$ ), а во втором случае:

$$\theta = k \sqrt{\sum_{i=1}^m \frac{\theta_i^2(P_j)}{k_j^2}},$$

где при  $P=0,95$   $k=1,1$ , при  $P=0,99$  и  $m>4$   $k=1,4$

2) Если составляющие случайной погрешностей заданы их СКО  $\sigma_i$ , найденными предварительно опытным путем многократных наблюдений, то доверительные границы  $\varepsilon$  результирующей случайной погрешности

$$\varepsilon = t \sqrt{\sum_{i=1}^m \sigma_i^2},$$

где  $t = 1,1$  или можно брать коэффициент Стьюдента, соответствующий меньшему числу наблюдений. Если же случайные составляющие погрешности

Технические измерения

заданы доверительными границами  $\Delta x_i$ , при одной и той же доверительной вероятности, то

$$\varepsilon = \sqrt{\sum_{i=1}^m \Delta x_i^2}$$

После сопоставления значений  $\theta$  и  $\varepsilon$  (как в случае многократных наблюдений), определяют наличие необходимости их суммирования, то есть если:

1.

$$\frac{\theta}{\varepsilon} < 0,8, \text{ то } \Delta = \pm \varepsilon(P_d)$$

2.

$$\frac{\theta}{\varepsilon} > 8, \text{ то } \Delta = \pm \theta(P_d)$$

3.

$$0,8 \leq \frac{\theta}{\varepsilon} \leq 8, \text{ то } \Delta = \pm k \sqrt{\sum_{i=1}^m \frac{\theta_i^2}{3} + \varepsilon^2} = \pm k(\theta(P_d) + \varepsilon(P_d))$$

При  $P=0,95$  :

$\frac{\theta}{\varepsilon}$	0,8	1	2	3	4	5	6	7	8
k	0,76	0,74	0,71	0,73	0,76	0,78	0,79	0,81	0,81

Как и при измерениях с многократными наблюдениями, однократный отсчет может содержать грубую погрешность. Во избежание промаха однократное измерение необходимо повторять 2 – 3 раза, приняв за результат среднее арифметическое. (Статистической обработке эти отсчеты не подвергаются). Результат однократного измерения записывается в форме:

$$x_{испр} \pm \Delta$$

3 вопрос. Приближенная оценка погрешности прямого однократного измерения.

Для таких измерений в качестве результата принимают значение отсчета  $x$ , а оценивание погрешности производится на основе нормативных данных о свойствах используемых средств измерений. Поскольку эти данные относятся к множеству средств измерения данного типа, то у конкретного экземпляра прибора, используемого в измерении, действительные свойства могут значительно отличаться от нормированных (можно провести поверку). Тем не менее, не имея другой достоверной информации (либо не имея в ней нужды) о реальных метрологических характеристиках средства измерения, можно проводить оценку погрешности измерения на основе предельных норм, представляемых в технической документации на средства измерения. Такие оценки дают возможность оценить погрешность сверху, но для корректировки результата измерения или для введения поправок они недостаточно надежны. Общая схема

Технические измерения

следующая:

Выбрав необходимое средство измерения (определяется исходя из условий измерительной задачи), уточнив условия измерения (нормальные или рабочие), оценивают возможные дополнительные погрешности прибора (если условия рабочие) и суммируют предел допускаемой основной погрешности и дополнительные погрешности  $\theta_i$ :

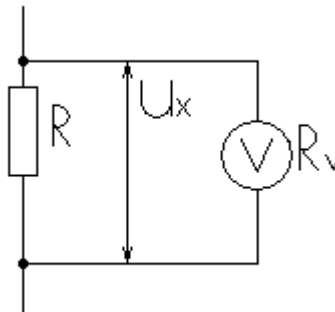
$$\Delta_{\Sigma} = |\Delta_{np}| + \sum_{i=1}^m |\theta_i|$$

Таким образом находится верхняя оценка результата измерения. Методические погрешности должны быть учтены заранее, а личные (субъективные) при таких измерениях предполагаются малыми и не учитываются.

Более точная оценка погрешности может быть получена статистическим сложением (а не простым) составляющих погрешности (например,

вместо  $\sum_{i=1}^m |\theta_i|$  можно использовать  $\theta = k \sqrt{\sum_{i=1}^m \theta_i^2}$  )

Пример: Выполнено однократное измерение  $U_x$  на участке цепи с  $R=4$  Ом вольтметром с пределом допускаемой погрешности 0,5% от верхнего предела измерения ( $U_v = 1,5$  В)  $T = 20^{\circ}C$ . Показание  $U_x = 0,90$ В;  $R_v = 1000$  Ом. Найти результат измерения с указанием погрешности.



1) Инструментальная составляющая погрешности определяется основной и дополнительной погрешностями. При показаниях  $U_x = 0,9$  В предел допускаемой относительной погрешности вольтметра на этой отметке в процентах:

$$\delta = \frac{0,5 * 1,5}{0,9} = 0,83\%$$

Дополнительная погрешность отсутствует, так как  $t = (20 \pm 5)^{\circ}C$ , то есть нормальная (дополнительная погрешность от влияния магнитного поля подсчитана по паспортным данным и находится в пределах  $\pm 0,75\%$ ).

2) Методическая погрешность определяется соотношением между сопротивлением участка цепи R и сопротивлением вольтметра  $R_v$ . При подключении вольтметра к цепи его показания:

$$U = U_x \frac{R}{R + R_v},$$

Технические измерения

откуда относительная методическая погрешность:

$$\sigma_{\mu} = \frac{\Delta U}{U} = \frac{U_V - U_x}{U_x} * 100 = -\frac{R}{R - R_V} * 100 = -0,4\%$$

Эта погрешность является систематической и должна быть учтена (то есть, исключена) путем введения поправки:

$$\nabla = 0,9 * 0,4 / 100 = 0,004В$$

и тогда

$$U_{\bar{x}} = 0,90 В \pm 0,004 В = 0,904$$

3) Таким образом, относительная погрешность  $\delta = 0,83\%$ , или переходя к

$$\Delta = \frac{\delta * U_x}{100} = \pm 0,007В$$

абсолютной погрешности,

Если учесть, например, погрешность от влияния магнитного поля Земли, или температурную, то эти погрешности необходимо просуммировать (получим абсолютную погрешность), либо затем применив статистическое суммирование

при  $P_d = 0,95$  :  $\theta = 1,1\sqrt{\delta_1^2 + \delta_2^2 + \delta_3^2}$ , снова найти абсолютную погрешность  $\Delta = \frac{\theta U_x}{100}$ ,  
 то есть получить доверительный интервал НСП.

4) Округляя результат измерения можно записать:  $U_{\bar{x}} = (0,95 \pm 0,01)$ .

4 вопрос. Косвенные измерения

При косвенных измерениях искомое значение величины находят расчетом на основе измерения других величин, связанных с измеряемой известной зависимостью:  $A = f(a_1, \dots, a_m)$

Поскольку каждое из  $a_i$  измеряется с некоторой погрешностью, то задача оценивания погрешности результата сводится к суммированию погрешностей измерения аргументов. Особенностью косвенных измерений является то, что вклад отдельных погрешностей измерения аргументов в сумму погрешностей результата зависит от вида функции  $A = f(a_1, \dots, a_m)$ .

Для оценки погрешностей существенно разделить косвенных измерений на линейные и нелинейные. При линейных косвенных измерениях уравнение измерений имеет вид:

$$A = \sum_{i=1}^m b_i a_i$$

где  $b_i$  - const при  $a_i$

Любые другие функции зависимости являются нелинейными.

Результат линейных косвенных измерений находят по формуле (\*), подставляя в нее  $a_i$ . Погрешности результата могут быть заданы своими границами  $\Delta a_i$ , либо

Технические измерения

доверительными границами  $\Delta a(P_i)$  с доверительными вероятностями  $P_i$ .

Если  $m < 5$ , то простая оценка погрешности результата  $\Delta A$  может быть получена простым суммированием предельных погрешностей (без учета знака), то есть подстановкой  $\Delta a_i$  в выражение:

$$\Delta A = \Delta a_1 + \Delta a_2 + \dots + \Delta a_m$$

Однако такая оценка является завышенной, так как такое суммирование означает, что погрешности измерения всех аргументов одновременно имеют максимальные значения и совпадают по знаку. Вероятность такого совпадения стремится к 0. Для определения более реалистичной оценки переходят к статистическому суммированию погрешностей аргументов, полагая, что в заданных границах погрешности аргументов распределены равномерно:

$$\Delta A(P) = k \sqrt{\sum_{i=1}^m b_i^2 a_i^2}$$

где  $\Delta A(P)$  - доверительные границы при доверительной вероятности  $P$ ,  $k$  - коэффициент, зависящий от  $P$  ( $k = 1,1$  при  $P = 0,95$ )

Нелинейные косвенные измерения характеризуется тем, что результаты измерения аргументов подвергаются функциональным преобразованиям. Как показано в теории вероятностей, любые, даже простейшие, функциональные преобразования случайной величины приводят к изменению законов их распределения.

При сложной функции  $A = f(a_1, \dots, a_m)$  отыскание закона распределения погрешности результата связано с серьезными математическими трудностями. Поэтому при нелинейных косвенных измерениях обычно ограничиваются приближенной верхней оценкой ее границ. В основе такой оценки лежит линеаризация функции  $A = f(a_i)$  и далее обработка результатов проводится как при линейном косвенном измерении.

Для полного дифференциала функции  $A$  выражение запишем как:

$$dA = \frac{\partial A}{\partial a_1} \Delta a_1 + \frac{\partial A}{\partial a_2} \Delta a_2 + \dots + \frac{\partial A}{\partial a_m} \Delta a_m$$

По определению полный дифференциал функции - это приращение функции, вызванное малыми приращениями ее аргументов. Полагая, что погрешности - это малые приращения, запишем:

$$\Delta A = \frac{\partial A}{\partial a_1} \Delta a_1 + \frac{\partial A}{\partial a_2} \Delta a_2 + \dots + \frac{\partial A}{\partial a_m} \Delta a_m$$

Полагая, что распределения погрешностей аргументов подчиняются равномерному закону, при числе слагаемых  $m < 5$  границы погрешности определяем:

$$\Delta A = \Delta a_1 + \dots + \Delta a_m$$

А при  $m > 5$  по :

Технические измерения

$$\Delta A(P) = k \sqrt{\sum_{i=1}^m b_i^2 \Delta a_i^2}$$

где  $b_i = \frac{\partial A}{\partial a_i}$ .

Существует несколько правил оценивания погрешности:

1. погрешности в суммах и разностях:

если  $A = a_1 \pm a_2$ , то  $\Delta A = \Delta a_1 \pm \Delta a_2$  (не учитываем знак в A)

2. погрешности в произведениях и частных:

если  $A = a_1 * a_2$  или  $A = a_1 / a_2$ , то суммируются относительно погрешности:  $\Delta A = \Delta a_1 \pm \Delta a_2$ , где  $\delta a_i = \Delta a_i / a_i$

3) если  $A = B * a$  и B не имеет погрешности, то  $\Delta A = |B| \Delta a$

4) возведение в степень: если  $A = a^n$ , то  $\Delta A = n \Delta a$

5) если  $A = f(a)$ , то есть является произвольной функцией a, то:

$$\Delta A = \frac{dA}{da} \Delta a$$

Для использования этих правил число аргументов должно быть больше 5.

**Учебные вопросы**

1. Сколько существует правил оценивания погрешности?
2. Чем характеризуются нелинейные косвенные измерения ?
3. Дайте характеристику линейных косвенных измерений.
4. При каких условиях возможны прямые однократные наблюдения ?
5. Что такое НСП?
6. Что такое статистическая обработка результатов измерений?