

## Лекция №1.

### Задачи и место конструкторского проектирования в разработке измерительных приборов

Современный процесс разработки технического устройства можно разбить на следующие составные части:

1. научно-исследовательская работа (НИР);
2. опытно-конструкторская работа (ОКР);
3. рабочая стадия.

Каждая стадия имеет свои задачи, выполнение которых требует определенной последовательности выполнения проектных работ. На рис.3 показана эта последовательность.

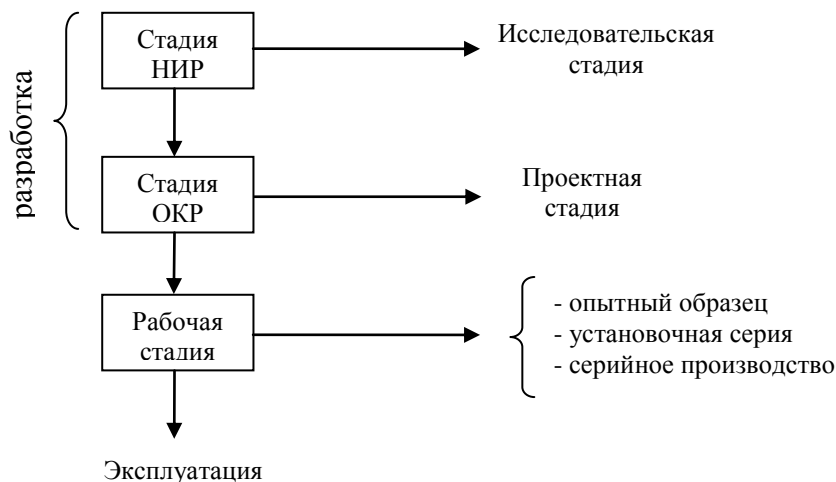


Рис.1 Процесс разработки технического устройства.

Каждая стадия разработки сводится к выполнению определенных видов работ, называемых этапами разработки. При выполнении каждого этапа ставится определенная задача, поэтому каждый этап связан с созданием определенного набора проектных документов. На рис. 2 приводится последовательность этапов разработки.

#### Содержание основных этапных документов.

##### Заявка на разработку.

##### 1. Заявка на разработку (ЗР)

Состав заявки:

- назначение изделия;
- предполагаемый изготовитель;
- ориентировочная потребность в изделии;
- стоимость разработки;
- сроки разработки;
- технико-экономическое обоснование разработки;
- основные требования и условия эксплуатации.

##### 2. Техническое задание (ТЗ)

ТЗ — разрабатывается на основе заявки на разработку и устанавливает:

1. Основное назначение изделия, его состав, число и назначение составных частей;
2. Технико-экономические и специальные требования, предъявляемые к разрабатываемому изделию, к объему и стадиям разработки;

3. Требования к основным и наиболее существенным для разрабатываемого изделия показателям качества. При этом главное внимание уделяется:

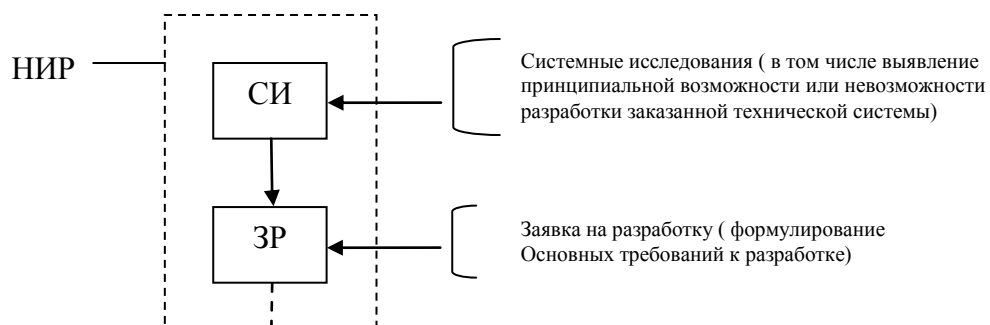


Рис.2

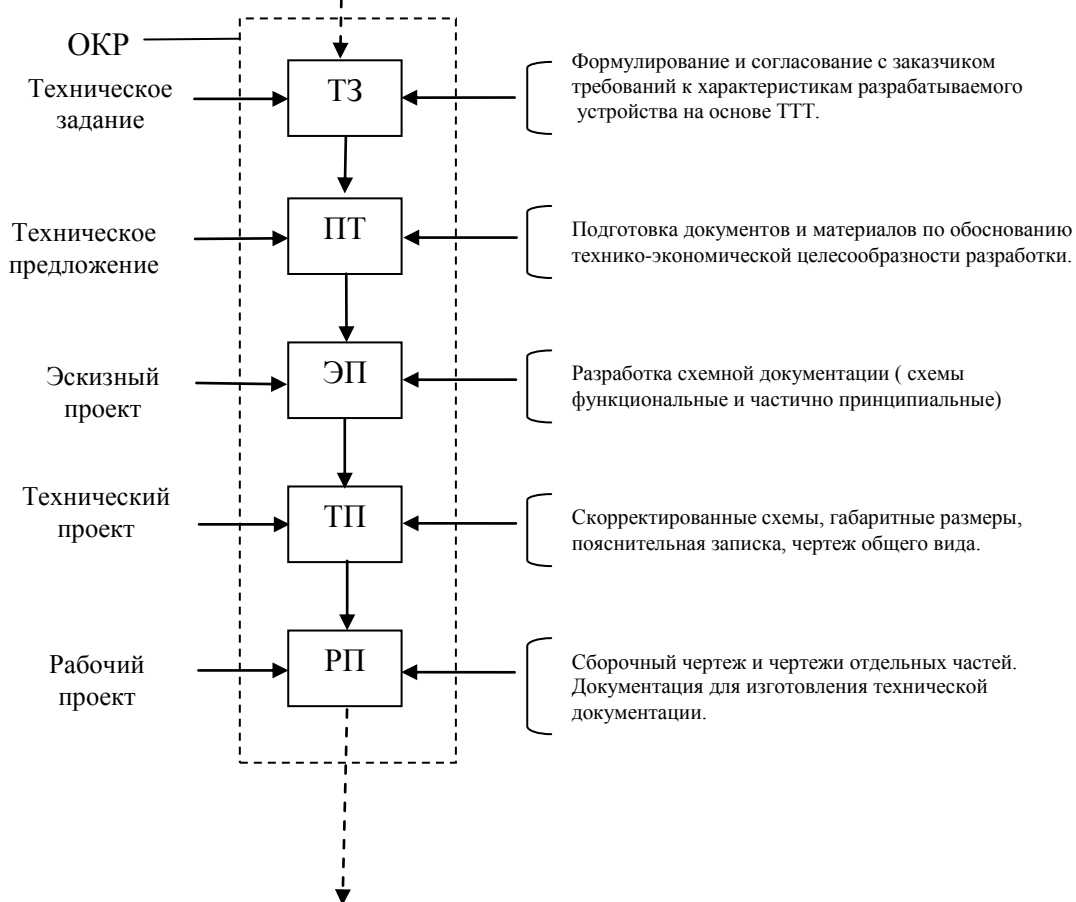


Рис.3



Рис.4

— требования к показателям технического совершенства изделия (показателям функциональной и технической эффективности, показателям качества ). Например, для электроизмерительной аппаратуры такими показателями являются:

- а) метрологические (погрешности, пределы измерения);
- б) динамические (время измерения, быстродействие, частотный диапазон);
- в) параметры входной и выходной цепи (входной и выходной токи, напряжение, сопротивление, емкость);

— конструкторским требованиям:

- а) габаритные размеры;
- б) установочные размеры;
- в) присоединительные размеры;
- г) масса;

— требования по надежности;

— требования по экологии и безопасности жизнедеятельности;

— эргономические требования;

— требования по упаковке, транспортировке и хранению изделия;

4. Состав конструкторской документации (КД).

### 3. Техническое предложение (ПТ)

Этап работы, на котором исполнителем обосновывается принципиальная возможность создания технического устройства с заданными по ТЗ характеристиками и помечаются основные технические и организационные решения по выполнению ТЗ. На этом этапе составляют частные ТЗ для различных подразделений разработчиков (надельника, конструкторов и т.п.).

### 4. Эскизный проект

Совокупность документов, содержащих принципиальные решения, дающие общие представления об устройстве и принципе действия изделия, а также данные определяющие назначение и основные параметры разрабатываемого устройства.

### 5. Технический проект

Совокупность документов, содержащих окончательное техническое решение, дающее полное представление об устройстве разрабатываемого изделия и исходные данные для разработки рабочей документации (для изготовления опытного образца).

## 6. Рабочий проект

Совокупность окончательной схемной, конструкторской и технологической документации, которая обеспечивает изготовление технического устройства, его сборку, наладку, сдачу заказчику, эксплуатацию и включает в себя:

1. Схемы:
  - а) структурные;
  - б) функциональные;
  - в) принципиальные;
  - г) электромонтажные;
  - д) соединительные;
2. Чертежи:
  - а) детализовочные;
  - б) сборочные;
  - в) габаритные.
3. ТУ:
  - а) на блоки;
  - б) на платы;
  - в) на модули;
4. Техническое описание;
5. Инструкция по настройке;
6. Производственно - техническую документацию;
4. Программу и методику испытаний.

## 7. Пояснительная записка (ПЗ)

По окончании работ на стадиях технического предложения, эскизного проектирования и технического проектирования составляется пояснительная записка, которая составляется по следующей единой схеме:

1. Введение (содержит обычно подробное наименование разрабатываемого устройства, номер и дату утверждения ТЗ);
2. Назначение и область применения (содержит основные технические характеристики, сравнительные данные между отечественными и зарубежными аналогами);
3. Описание и обоснование выбранной конструкции (содержит описание и анализ рассмотренных вариантов, в том числе их патентную чистоту и конкурентоспособность);
4. Расчет (содержит ориентировочные и окончательные расчеты по проектированию);
5. Описание организации работ (содержит предварительные сведения об организации работ с применением разрабатываемого устройства, сведения об обслуживающем персонале, режимах работы и т.п.);
6. Ожидаемые технико-экономические показатели (содержит предварительные и окончательные расчеты экономичности, эффективности введения устройства на организацию производства и эксплуатацию).

В процессе выполнения разработки технического устройства решается целый ряд сложнейших задач разных классов, требующих вмешательства соответствующих специалистов. Подробное содержание задач, решаемых специалистами на этапе НИР и ОКР приведено на рис.5

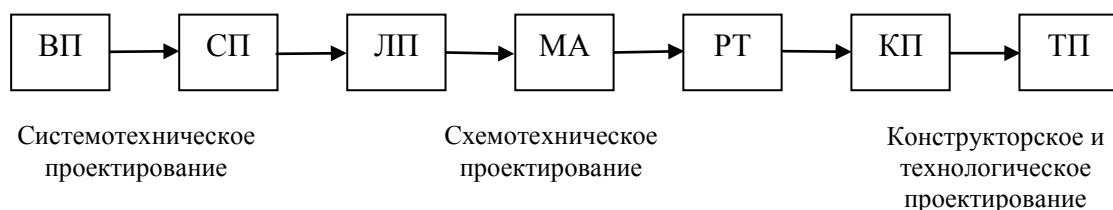


Рис.5

На рис.6 приводится последовательность решения вышеуказанных задач с указанием необходимых для этого специалистов профессионалов.

Инженер — системотехник выполняет:

ВП — внешнее проектирование, при котором исследуются внешние аспекты разработки, а именно: изучаются все социально — технические связи создаваемой системы с окружением. При этом:

1. учитываются достижения науки и техники;
2. осуществляется патентный поиск;
3. оформляются патенты и заявки.

СП — структурное проектирование, при котором разрабатывается укрупненная структура проекта, разрабатывается общая структура (структурная и функциональная схема) создаваемой системы. При этом:

1. система разбивается на отдельные части — функциональные блоки;
2. определяются задачи, решаемые каждым блоком, распределение функций, устанавливаются их основные характеристики;
3. устанавливается алгоритм функционирования, входящих в систему блоков;
4. определяются каналы обмена информацией между блоками.

Этап структурного проектирования является в основном не формализуемым процессом, где используется в основном творческие возможности разработчика. ЭВМ используется для просмотра вариантов решения, алгоритмов для автоматизации процесса структурного проектирования пока нет.

Инженер — схемотехник выполняет:

ЛП — логическое проектирование (разработка функциональных, электрических, принципиальных схем). Логическое проектирование представляет собой формальный синтез схемы отдельных частей (узлов, блоков) разрабатываемой системы, которые были выбраны на этапе системотехнического проектирования. На данном этапе каждый блок на основании исследования его описания, характеризующего алгоритм функционирования представляется в виде структуры, компонентами которой является выбранная элементная база. Например, при логическом проектировании цифровых устройств описанием схем являются логические уравнения также как, например, дизъюнкция конъюнкций булевых выражений. При этом используются разделы математики логики.

МА — моделирование и анализ. Объектом исследования на данном этапе являются схемы, полученные на этапе логического и структурного проектирования. Цель моделирования — проверить логическую состоятельность, правильность функционирования схемы, оценить ее возможность и степень сложности, отобрать лучший вариант.

Основные задачи моделирования:

- проверка корректности построения схем и устранение формальных ошибок;
- проверка правильности функционирования;
- проверка временных характеристик;
- отбор лучших вариантов подключения.

Цель моделирования — оценить возможности, параметры и степень сложности схем, правильность функционирования устройств до их фактического построения.

РТ — разработка тестов, то есть разработка алгоритмов, методов и способов контроля, диагностирования и ремонта. Задача состоит в том, чтобы найти такой набор входных и выходных сигналов теста, анализируя которые можно было бы судить об исправности устройства, а в случае неисправности определить вид и место повреждения. При этом оценивается полнота и эффективность контрольных и диагностических тестов.

КП — конструкторское проектирование. Эту работу выполняет инженер-конструктор. Вначале устанавливаются особенности конструкции проектируемого технического устройства, определяемые его функциональным назначением, требуемым уровнем технического совершенства, условием и местом эксплуатации, типом пользователя, областью применения. Наиболее существенными факторами являются воздействия окружающей среды. Определяется конструкторское решение.

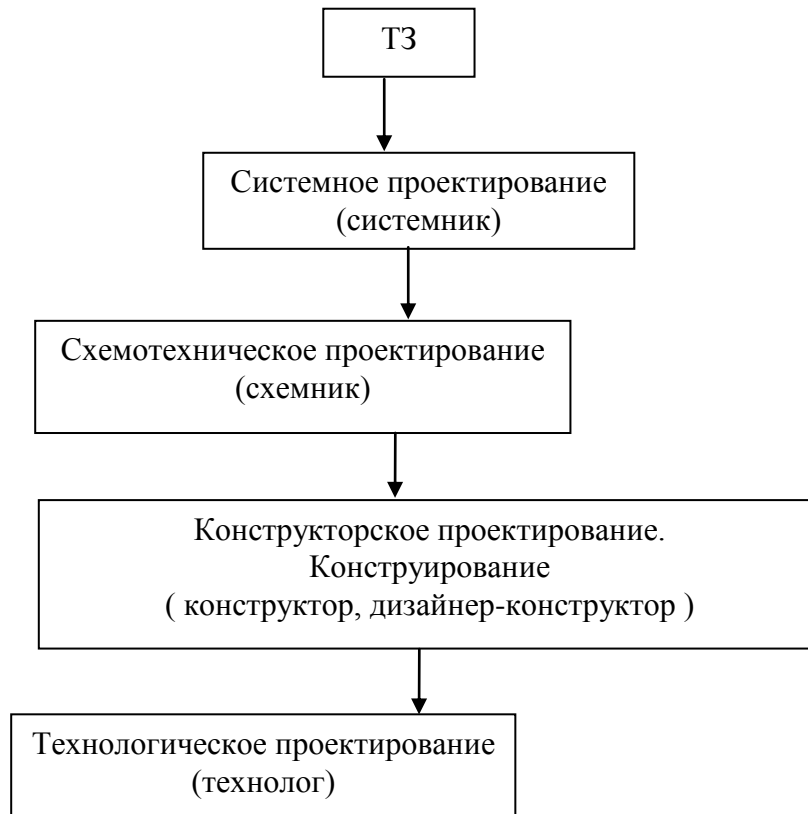


Рис.6

Инженер-технолог выполняет:

ТП — технологическое проектирование. Эту работу выполняет инженер-технолог. Создается документация, необходимая для изготовления разработанного технического устройства.

Таким образом, в результате схмотехнического, конструкторского и технологического проектирования рождается техническая система.

## **Лекция №2.**

### **Оценка качества проектного решения (квалиметрическая оценка)**

Удачность полученного совместными усилиями инженеров – проектировщиков результата принято численно оценивать качеством разработанной технической системы.

Под качеством понимается степень приспособленности технической системы к применению по назначению.

Оценка осуществляется по следующим видам показателей:

1. показатели назначения, характеризующие основные параметры функционирования (метрологические, мощностные, быстродействие и т.п.);
2. показатели надежности, характеризующие безотказность, долговечность, сохраняемость, ремонтпригодность;
3. показатели технологичности, характеризующие уровень унификации, стандартизации, тип производства, вид технологических процессов, время запуска в производство и т.п.;
4. конструкторские показатели, характеризующие рациональность компоновки, конструкции системы, габариты, массу, количество деталей и т.п.;
5. эстетические показатели, характеризующие художественность выразительность конструкторского решения, рациональность форм, цветового оформления и т.п.;

6. экономические показатели, характеризующие трудоемкость изготовления, себестоимость и т.п.;
7. патентно-правовые показатели, характеризующие патентную чистоту, патентные защиты;
8. эргономические показатели, характеризующие рациональность технической системы с точки зрения требований научной организации труда, требований эргономики инженерной психологии, физиологии гигиены труда;
9. экологические показатели, характеризующие воздействие на окружающую среду;
10. показатели безопасности, характеризующие безопасность жизнедеятельности при работе системы.

Численная квалиметрическая оценка качества осуществляется по трем разным уровням:

1. абсолютный уровень – когда за базисный (эталонный) образец технической системы принимается лучший внутри одной фирм;
2. относительный уровень – когда за базисный образец технической системы принимается лучший среди родственных фирм;
3. перспективный уровень – когда за базисный образец технической системы принимается гипотетический (несуществующий).

Численная оценка осуществляется по формуле вида:

$$K_{\text{РАЗ.ТЕХ.СИСТ.}} = \frac{\sum_{i=1}^{n1} \sum_{j=1}^{n2} m_j \Delta_j}{p_j},$$

где  $m_j$  – вес (важность)  $j$ -го параметра ;

$n1$  – число показателей качества;

$n2$  – число параметров;

$\Delta_i$  – численное значение  $i$ -го параметра эталона;

$P_j$  – численное значение  $i$ -го параметра разрабатываемого технического устройства;

$p_i$  – типы показателей.

## **Конструкция и конструирование**

**Конструкция** — совокупность деталей, узлов и материалов с разными физическими свойствами, находящимися между собой в определенной физической связи (электромагнитной, тепловой, механической и т. д.) обеспечивающих выполнение заданных функций с необходимой точностью и надежностью не смотря на влияние внешних и внутренних факторов. Совокупность воспроизводимая в условиях производства.

**Конструирование** — инженерная деятельность, представляющая собой процесс поиска, нахождения и отражения в конструкторской документации формы, размеров и состава разрабатываемой аппаратуры, входящих в ее состав деталей и узлов, используемых материалов, комплектующих изделий, взаимного расположения составляющих частей аппаратуры и связи между ними, указания по технологии изготовления.

## **Особенности конструкции электронной аппаратуры**

Конструкция электронной аппаратуры имеет ряд отличительных особенностей и характеризуется:

1. иерархической структурой, под которой понимается последовательное объединение более простых электронных узлов в более сложные;
2. преобладание электрических и электромагнитных связей;
3. наличием неоднородностей в электрических соединениях, приводящих к искажению и затуханию сигналов, а также наличию паразитных связей, порождающих помехи (наводки);
4. наличием тепловых связей, что требует принятия мер защиты термочувствительных элементов.

## Направленность (тенденции) современного конструирования электронной аппаратуры

Основная цель — создать малогабаритную высокоэффективную и надежную аппаратуру, производство и эксплуатация которой не требует большого расхода трудовых энергетических и материальных ресурсов.

Для достижения этой цели требуется решить следующие три основные задачи:

1. миниатюризация, микроминиатюризация, сверхминиатюризация;
2. защита от внутренних и внешних паразитных факторов;
3. обеспечение высокой технологичности.

Первая задача. Миниатюризация осуществляется в трех следующих направлениях:

- а) минимизация конструктивных компонент;
- б) минимизация элементной базы;
- в) применение облегченных и высокопрочных материалов.

Все это позволяет добиться:

- уменьшения габаритов и веса аппаратуры;
- значительного повышения надежности;
- уменьшения потребляемой мощности;
- сокращения объема и трудоемкости монтажно-сборочных работ;
- упрощения конструкции элементной базы.

Микроминиатюризация осуществляется применением:

- микромодульных конструкций (обычные компоненты в микроминиатюрном исполнении) — этажерочные конструкции;
- микросхемы — компоненты образуются методом осаждения тонкой пленки на изоляционной подложке;
- твердая схема — микрокристаллические пластины (в одном кристалле), в пластине, где с помощью полупроводниковой технологии формируются отдельные компоненты схемы.

Микроминиатюризация базируется на применении:

- а) интегральных схем (ИС);
- б) микропроцессорных комплектов<sup>1</sup>;
- в) аналоговых функциональных комплектов<sup>2</sup>;
- г) молектронных схем.

Молектронные схемы (функциональные монолитные твердые схемы, имеющих однородную структуру, в которой нет привычных компонентов схем).

Сверхминиатюризация (переход к пятому поколению) базируется на широком применении:

1. гибридно-интегральных узлов;
2. сверхбольших ИС с программируемой логикой;
3. волоконно-оптических кабелей (для передачи оптических сигналов).

Вторая задача (главнейшая) — охлаждение и защита.

Чем выше степень миниатюризации аппаратуры, тем выше рассеиваемая мощность переходит в тепло. Охлаждение осуществляется в двух направлениях:

- а) тепло отвод внутренний — отвод тепла от тепловыделяющих элементов;
- б) тепло отвод внешний — отвод тепла от корпуса.

Третья задача — обеспечение высокой технологичности конструкции.

---

<sup>1</sup> Микропроцессорный комплект – выполняет функции микроЭВМ.

<sup>2</sup> Аналоговый функциональный комплекс осуществляет преобразование сигналов из одной физической формы в другую, например, акустоэлектронные, акустооптические, оптоэлектронные преобразователи.



## Технологичность конструкции

Технологичность конструкции — приспособленность конструкции к изготовлению и эксплуатации.

Технологичность конструкции складывается из двух составных частей:

а) производственная технологичность, под которой понимается приспособленность к изготовлению и осуществляется на базе типизации, стандартизации, унификации;

Типизация — ликвидация многообразия типов элементов путем сведения их к небольшому числу избранных типов, чем меньше типов, тем выше технологичность.

Унификация — типизация при которой размеры и параметры избранных типов получаются путем деления или умножения на целые числа размеров и параметров некоторого базового типа.

Стандартизация — установление обязательных норм на параметры и характеристики с целью приближения качества изделий к уровню образцов.

Производственная технологичность оценивает в привязке к следующим параметрам:

1. вид деталей (сборочная единица, комплект, комплекс);
2. тип производства (единичное, серийное, массовое);
3. объем выпуска.

б) эксплуатационная технологичность, под которой понимается эффективность применения по назначению и эффективность технического обслуживания (контроль, восстановление).

Эксплуатационная технологичность оценивается по следующим параметрам:

1. уровень квалификации обслуживающего персонала:
  - а) время и стоимость подготовки к рабочему циклу;
  - б) время и стоимость обслуживания в процессе работы.
2. время и стоимость восстановления:
  - а) контроль;
  - б) диагностирование;
  - в) собственно ремонт.

## Количественная оценка технологичности

Технологичность конструкции оценивается количественно. Количественная оценка осуществляется вычислением численного значения показателей технологичности.

Обычно рассчитываются три вида показателей технологичности конструкции:

- основные показатели;
- комплексный показатель;
- нормативный показатель.

На рис.7 приводятся наиболее распространенные виды технологичности .

Основные показатели технологичности конструкции подразделяются на:

1. конструкторские, которые относят к технологическим;
2. собственно технологические;
3. эксплуатационные.

Таблица 1

| Виды показателей технологичности                    |   |  |
|---|---|--|
| <u>Конструкторские</u>                              | <u>собственно технологические</u>                             | <u>Эксплуатационные</u>                          |
| — коэффициент применяемости детали;                 | — коэффициент повторяемости материалов;                       | — время готовности;                              |
| — коэффициент применяемости электрорадио-элементов; | — коэффициент точности обработки;                             | — время и стоимость контроля и диагностирования; |
| — коэффициент применяемости узлов;                  | — коэффициент автоматизации механизации монтажных соединений; | — время и стоимость восстановления;              |
| — коэффициент повторяемости электрорадио-элементов; | — коэффициент механизации подготовки ЭРЭ к монтажу;           | — уровень квалификации обслуживающего персонала; |
| — коэффициент повторяемости ИС и микросборок;       |   |  |
| — коэффициент повторяемости печатных                |   |  |

|  |   |   |
|--|---|---|
| плат;<br>— коэффициент использования ИС и микросборок;<br>— коэффициент установочных размеров;<br>— коэффициент сложности печатных плат;<br>— коэффициент освоения детали;<br>— коэффициент сложности сборки;<br>— коэффициент сборки. | — коэффициент автоматизации контроля и настройки;<br>— коэффициент применения типовых технологических процессов;<br>— коэффициент прогрессивности формообразования детали;<br>— коэффициент сложности обработки;<br>— коэффициент использования материалов. | — удобство работы пользователя;<br>— стоимость и время подготовки обслуживающего персонала. |
|--|---|---|



Рис.7. Виды технологичности

### Формулы для вычисления основных показателей технологичности конструкции

#### 1. коэффициент применяемости ЭРЭ:

$$K_{ПЭРЭ} = 1 - N_{ТР ОР ЭРЭ} / N_{ТР ЭРЭ}$$

$N_{ТР ОР ЭРЭ}$  — число типоразмеров оригинальных ЭРЭ

$N_{ТР ЭРЭ}$  — общее число типоразмеров

#### 2. коэффициент повторяемости ЭРЭ

$$K_{ПОВ} = 1 - N_{Т ЭРЭ} / N_{ЭРЭ}$$

$N_{Т ЭРЭ}$  — число типовых ЭРЭ в изделии

$N_{ЭРЭ}$  — общее число ЭРЭ в изделии

#### 3. коэффициент повторяемости ИС и микросборок

$$K_{ПОВ ИС} = 1 - N_{ТР ИС} / N_{ИС}$$

$N_{ТР ИС}$  — число типовых ИС и микросборок в изделии

$N_{ИС}$  — общее число ИС и микросборок в изделии

4. коэффициент автоматизации и механизации монтажных соединений

$$K_{AM} = N_{AM} / N_M$$

$N_{AM}$  — число монтажных соединений, выполняемых с использованием автоматизации и механизации

$N_M$  — общее число монтажных соединений

5. коэффициент использования ИС и микросборок

$$K_{ИСП\ ИС} = N_{ИС} / (N_{ИС} + N_{ЭРЭ})$$

$N_{ИС}$  — общее число ИС

$N_{ЭРЭ}$  — общее число ЭРЭ в изделии

6. коэффициент механизации подготовки ЭРЭ к монтажу

$$K_{МП\ ЭРЭ} = N_{МП\ ЭРЭ} / N_{ЭРЭ}$$

$N_{МП}$  — число ЭРЭ, механизированно подготовленных к монтажу

$N_{ЭРЭ}$  — общее число ЭРЭ

7. коэффициент автоматизации контроля и настройки

$$K_{МКМ} = N_{МКИ} / N_{КИ}$$

$N_{МКИ}$  — число операций автоматизированного контроля и настройки

$N_{КИ}$  — общее число операций контроля и настройки

8. коэффициент прогрессивности формообразования деталей

$K_f = P_{ПР} / P$ ,  $P_{ПР}$  — число деталей, выполненных с использованием прогрессивных способов формообразования

$P$  — общее число деталей

9. время готовности

$K_{ВГ}$

10. время восстановления

$K_{ВВ}$

11. стоимость восстановления

$K_{СВ}$

} подсчитывается по специальной методике

**Комплексный показатель технологичности конструкции**

а) для разрабатываемого изделия

$K_{К\ РАЗ}$

б) для изделия аналог — эталон

$K_{К\ АНАЛОГ}$   $n$

$K_{К\ АНАЛОГ} (K_{К\ РАЗ}) = \sum_{i=1}^n K_i \varphi_i / \sum_{i=1}^n \varphi_i$ , где  $\varphi_i$  — коэффициенты значимости показателя (1)

$K_1 \dots K_n$  — основные базовые показатели, количество и тип, которые зависят от класса аппаратуры.

Для аналоговой, цифровой и вычислительной техники берут специальные значения базовых коэффициенты значимости :

$K_{ИСП\ ИС} (\varphi = 1)$ ;

$K_{AM} (\varphi = 1)$ ;

$K_{МП\ ЭРЭ} (\varphi = 0.75)$ ;

$K_{МКН} (\varphi = 1)$ ;

$K_{ПОВ\ ЭРЭ} (\varphi = 3.1)$ ;

$K_{П\ ЭРЭ} (\varphi = 0.187)$ ;

$K_{СР} (\varphi = 0.11)$ ;

по формуле (1) подсчитывается:

$K_{К\ АНАЛОГ}$  и  $K_{К\ РАЗ}$ .

## Нормативный показатель

$$K_{\text{КРАЗ}} = K_{\text{КАНАЛОГ}} K_{\text{СЛ}} K_{\text{ТЧ}} K_{\text{ОП}} K_{\text{ОТ}} K_{\text{ПР}}$$

$K_{\text{СЛ}}$  — коэффициент, учитывающий сложность разрабатываемого изделия по сравнению с аналогом (показатель технического совершенства);

$K_{\text{ТЧ}}$  — изменение технического уровня основного производства завода изготовителя по отношению к заводу изготовителю изделия — аналога;

$K_{\text{ОП}}$  — изменение уровня организации производства;

$K_{\text{ОТ}}$  — изменение уровня организации труда на заводе изготовителе нового изделия по отношению к заводу изготовителю изделия аналога;

$K_{\text{ПР}}$  — изменение типа производства (серийности изделия);

$K_{\text{ТЧ}}, K_{\text{ОП}}, K_{\text{ОТ}}$  — подсчитываются по формуле:

$$K_i = Z_{\text{РАЗ}} / Z_{\text{АНАЛОГ}}$$

$Z_{\text{РАЗ}}$  — значение соответствующего показателя для нового изделия;

$Z_{\text{АНАЛОГ}}$  — значение соответствующего показателя — аналога;

$$K_{\text{СЛ}} = 1.02 \dots 1.2.$$

### На каком этапе проектирования, какие показатели рассчитываются

Оценка технологичности конструкции и определение показателя численного значения комплексного показателя и нормативного показателя осуществляется на этапе опытного образца, установочной серии и серийного производства.

На этих этапах для определения этих показателей уже имеется все необходимое.

#### На этапе эскизного проекта

Приблизительно оцениваются:  $K_{\text{СП ИС}}, K_{\text{МП ЭРЭ}}, K_{\text{ПОВ ЭРЭ}}, K_{\text{П ЭРЭ}}.$

Не оцениваются:  $K_{\text{АМ}}, K_{\text{Ф}}, K_{\text{МКН}}.$

#### На этапе технического проекта

Приблизительно оцениваются:  $K_{\text{СП ИС}}, K_{\text{АМ}}, K_{\text{ПОВ ЭРЭ}}, K_{\text{П ЭРЭ}}.$

Точно рассчитываются:  $K_{\text{МП ЭРЭ}}.$

Не оцениваются:  $K_{\text{Ф}}.$

## Особенность конструкции технических систем

Конструирование технического устройства начинается с анализа ТЗ и исследований, целью которых является выявление и ранжирование требований к будущей конструкции прибора.

При этом рассматриваются следующие основные характеристики проектируемого устройства:

- общетехнические (функциональное назначение, класс, вид, тип и т.п.);
- конструкторские (масштабные размеры);
- эксплуатационные;
- экономические;
- экологические;
- безопасностные.

## Особенности конструкции аппаратуры по классам

Конструкция бытовой техники обладает следующими особенностями:

1. особое эстетическое значение внешнего вида (мода, вкусы людей, красивая художественная форма, моральное старение по внешнему виду);
2. приспособленность к эксплуатации совершенно не подготовленным человеком (защита от дурака);
3. долговечность;
4. массовое производство и стоимость;
5. небольшая стоимость восстановления (ремонта).

#### Конструкция бортовой техники:

1. малый вес и габаритные размеры;
2. относительная кратковременность непрерывной работы;
3. высокая ремонтпригодность — минимум временных затрат перед стартом;
4. температуроустойчивость;
5. устойчивость к вибрациям, ударам и перегрузкам.

#### Конструкция морской аппаратуры:

1. повышенная коррозионная стойкость;
2. плесенестойкость;
3. водо- и брызгозащищенность;
4. вибростойкость.

#### Конструкция наземной техники:

1. защищенность от пыли;
2. защищенность от вибраций;
3. защищенность от ударов;
4. защищенность от ускорений.

#### Конструкция космической техники:

1. малый вес и объем;
2. чрезвычайно высокая безотказность;
3. устойчивость к вибрационным и линейным нагрузкам (старт);
4. особая продолжительность эксплуатации без обслуживания (искусственные спутники).

#### Конструкция медицинской техники:

1. безопасность;
2. надежность;
3. эстетичность (не пугающий вид);
4. безболезненность;
5. удобство работы;
6. минимизация времени работы с пациентом;
7. экологичность.

### **Лекция №3.**

#### **Техническая документация.**

Все многообразие технической документации можно разделить на три группы (см. рис.8):

1) Нормативно-техническая документация, которая устанавливает единые правила оформления, учета, хранения и использования технической документации.

2) Конструкторская документация, которая дает полное представление о составе изделия в целом и его составных частях, а также содержит документацию по эксплуатации и ремонту, необходимые данные для разработки технологической документации и

В свою очередь конструкторская документация подразделяется на:

-проектную документацию

- эксплуатационную и ремонтную документацию.

3) Технологическая (рабочая) документация, предназначенная для изготовления и испытаний опытного или серийного образца изделия.

Проектная КД — содержит окончательные технические решения, дающие полное представления об устройстве разрабатываемого изделия и технические данные для разработки технологической рабочей документации.

Эксплуатационная и ремонтная документация — предназначена для стадии эксплуатации и содержит сведения необходимые для использования обслуживания технического устройства, а также его ремонта.

Классификация всего многообразия конструкторской документации приведена на рис.9



Рис.8

Чертежи включают в себя:

1. Чертеж детали.
2. Сборочный чертеж СБ.
3. Чертеж общего вида ВО.
4. Теоретический чертеж ТЧ.
5. Габаритный чертеж ГЧ.
6. Монтажный чертеж МЧ.

Чертеж детали: изображение детали и данные, необходимые для ее изготовления.

Сборочный чертеж: изображение сборочной единицы и данные, необходимые для ее сборки, изготовления и контроля.

Чертеж общего вида: изображение общего вида конструкции изделия, поясняющее взаимодействие его основных составных частей и принцип работы.

Теоретический чертеж: изображение, определяющее геометрическую форму изделия и координаты расположения составных частей.

Габаритный чертеж: (упрощенная) изображение изделия с габаритами, установочными и присоединительными размерами.

Монтажный чертеж: (упрощенная) изображение изделия, содержащее данные для его установки (монтажа).

Схема: условные изображения или обозначения составных частей изделия и связи между ними.

Схемы по многообразию видов подразделяются см. рис.10

Схемы подразделяются на следующие типы схем (на примере электрической):

1. Структурная (вид схемы – Э, тип схемы – 1).
2. Функциональная (вид схемы – Э, тип схемы – 2).
3. Принципиальная (вид схемы – Э, тип схемы – 3).
4. Схема соединений (монтажная) (вид схемы – Э, тип схемы – 4).
5. Подключения (вид схемы – Э, тип схемы – 5).
6. Общая (вид схемы – Э, тип схемы – 6).
7. Расположения (вид схемы – Э, тип схемы – 7).

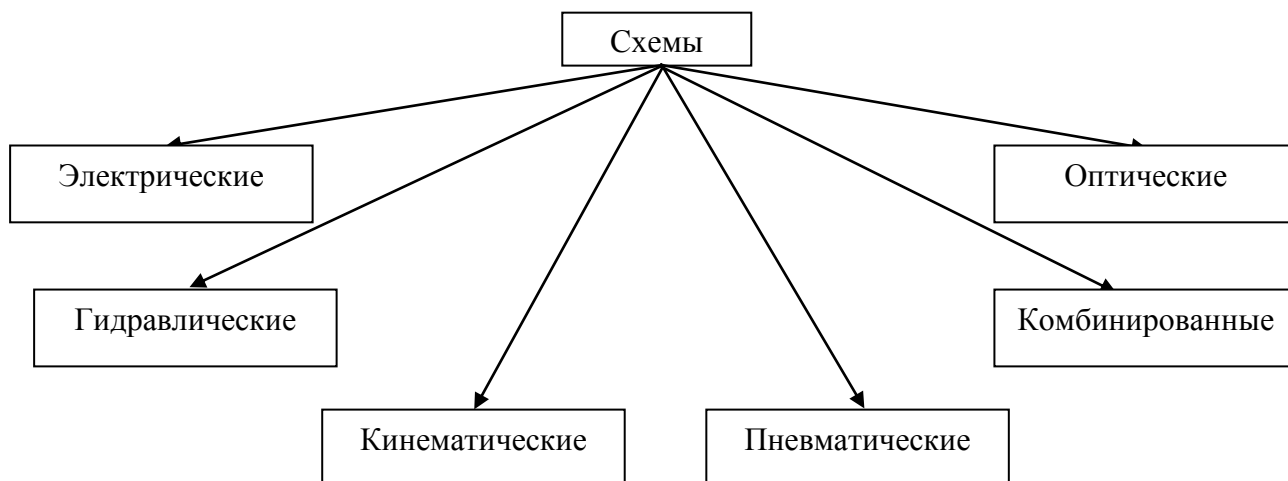


Рис.10

Вид схемы зависит от элементов и связей, входящих в состав изделия. Тип схемы зависит от ее назначения.

Структурная схема – определяет основные части изделия, их назначение, их взаимосвязи ( для общего ознакомления).

Функциональная схема – поясняет процессы, происходящие в изделии, раскрывает функции, выполняемые отдельными частями и устройством в целом (для изучения, для разработки принципиальной схемы, для наладки, эксплуатации и ремонта изделия).

Принципиальная схема – дает детальное представление о принципах работы изделия, об элементах и связях между ними (для разработки чертежей, схем соединений, контроля и ремонта).

Схема соединений – определяет связи составных частей изделия, а также марки, сечения, длины монтажных проводов, кабелей и места их присоединения (для наладки, эксплуатации и ремонта).

Схема подключения – показывает внешние подключения изделия (при монтаже изделия на месте эксплуатации, ремонте и эксплуатации).

Схема общая – определяет соединение составных частей между собой на стадии эксплуатации.

Схема расположения – определяет относительные расположения составных частей, а при необходимости расположение проводов, жгутов, кабелей на месте эксплуатации (для эксплуатации).

Текстовая КД (текстовые документы).

Спецификация – документ, содержащий перечисление состава сборочных единиц, комплекса или комплекта.

Ведомости.

1. ВС – ведомость спецификаций – перечень всех спецификаций.
2. ВД – ведомость ссылочных документов – перечень документов, на которые имеются ссылки в КД.
3. ВП – ведомость покупных изделий – перечень покупаемых изделий, применяемых в составе с соответствующими организациями.
4. ВИ – ведомость согласования примененных изделий – подтверждение согласования с соответствующими организациями.
5. ДП – ведомость держателей подлинников – перечень предприятий, на которых хранятся подлинники документов разработанного изделия.





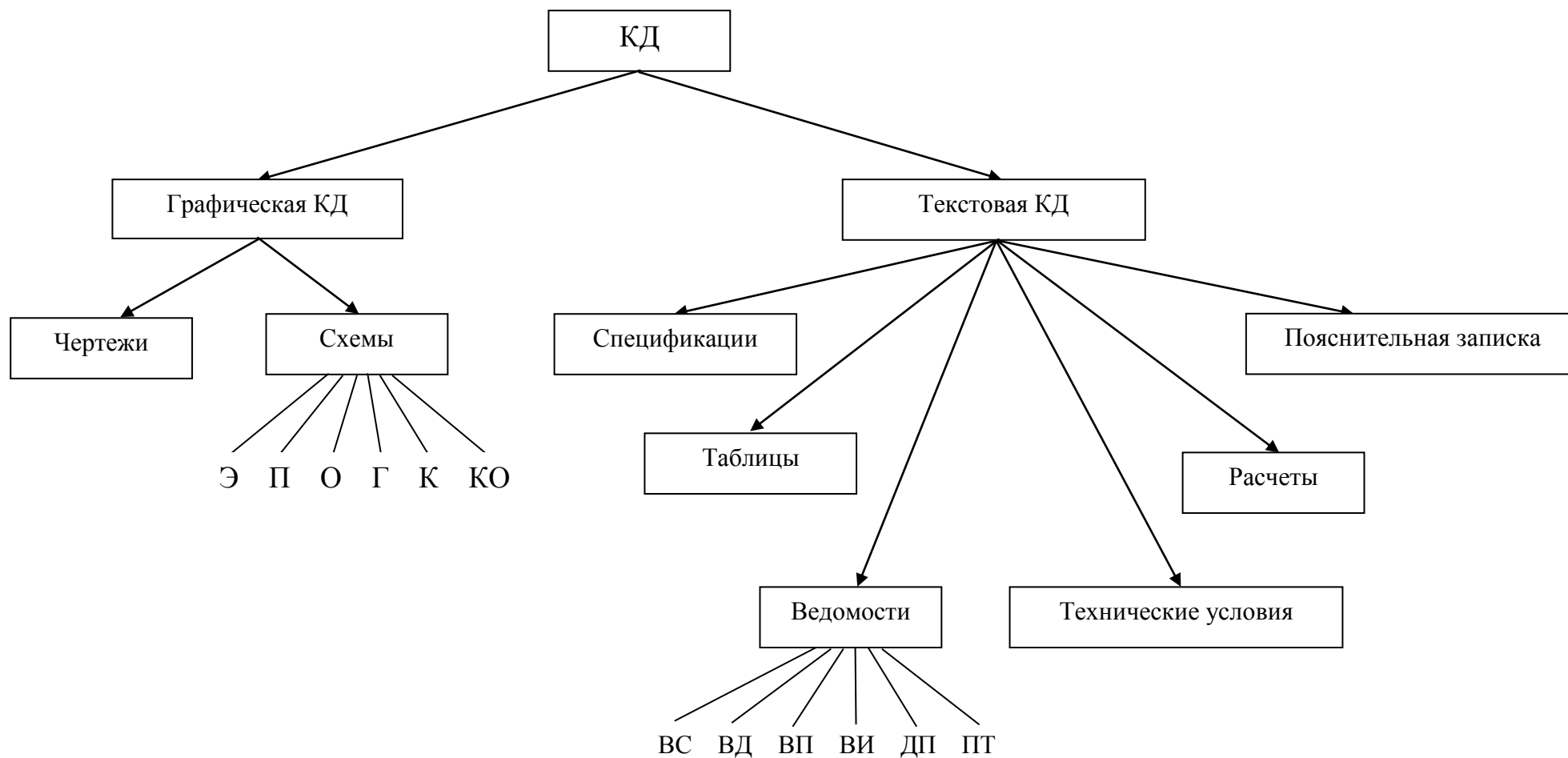


Рис.9

6. ПТ – ведомость технического предложения – перечень документов, вошедших в техническое предложение, эскизный и технический проект.

Технические условия (ТУ).

Эксплуатационные показатели изделия и методы контроля его качества.

Программа и методика испытания (ПМ).

Технические данные, подлежащие проверке при испытании изделия, а также порядок и методы их контроля.

Требования к изделию, которым оно должно удовлетворять.

Технические требования – тактико-технические характеристики, электрические, конструкторские параметры, допустимые условия эксплуатации, характеристики надежности.

Правила приемки – объем приемо-сдаточных, периодических и проверочных испытаний.

Методы контроля (испытаний, анализа измерений) подробное описание операций контроля для подтверждения технических требований.

Транспортирование и хранение – условия транспортирования и хранения (вибрация, удары, влажность, температура).

Указания по эксплуатации – оговаривают специфические для изделия правила эксплуатации.

Гарантия поставщика – указывают срок годности при хранении в упакованном виде.

ТО – описание устройства изделия, принципы действия, техническая характеристика.

ИЭ – сведения о правилах эксплуатации, поддержанию в постоянной готовности к работе.

ПО – порядок и правила технического обслуживания (ухода) при различных условиях эксплуатации.

### Эксплуатационная и ремонтная КД

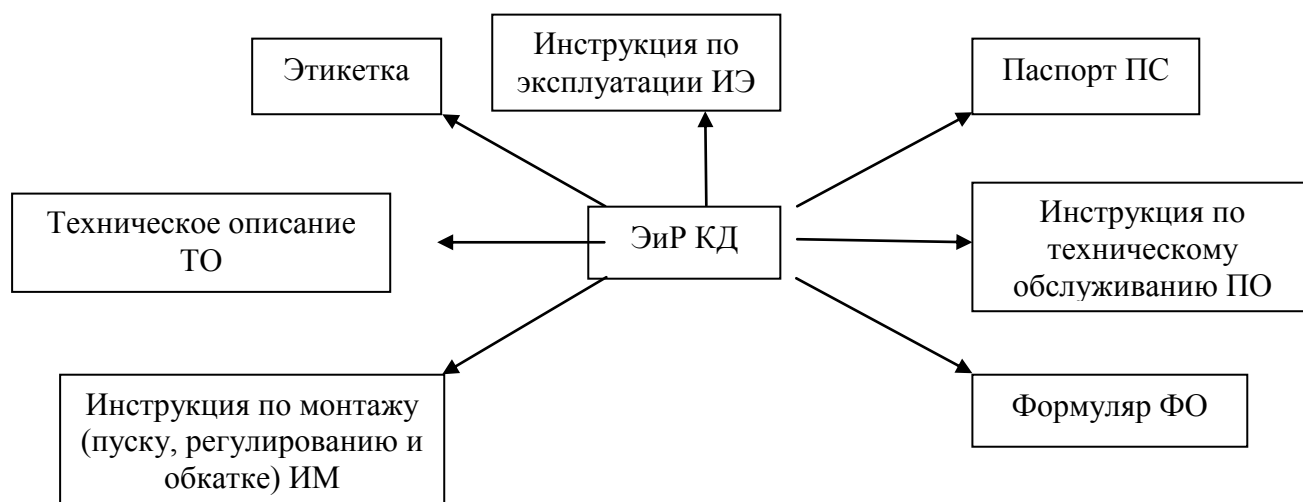


Рис.11

ИМ – сведения по монтажу, пуску, регулированию и обкатке.

ФО – документ, удостоверяющий основные параметры и технические характеристики изделия в процессе эксплуатации (длительность, условия работы, виды ремонта, тех. обслуживания).

ПС – документ, удостоверяющий гарантированные предприятием-изготовителем технические характеристики изделия.

Этикетка – краткое изложение основных технических показателей изделия и сведения, требующихся для его эксплуатации.

## Разновидности конструкторской документации.

### По подлинности.

Оригинал – документ, выполненный на любом материале и предназначенный для изготовления по нему подлинника.

(П) подлинник – документ, оформленный подлинными подписями, выполненный на любом материале, и позволяющий получить копию.

(Д) дубликат – документ, идентичный подлиннику, выполненный на любом материале и позволяющий получить копию.

(К) копия – документ, выполненный любым способом, обеспечивающий его идентичность с подлинником (дубликатом) и предназначенный для непосредственного использования при разработке, изготовлении, ремонте и эксплуатации.

### По комплектности

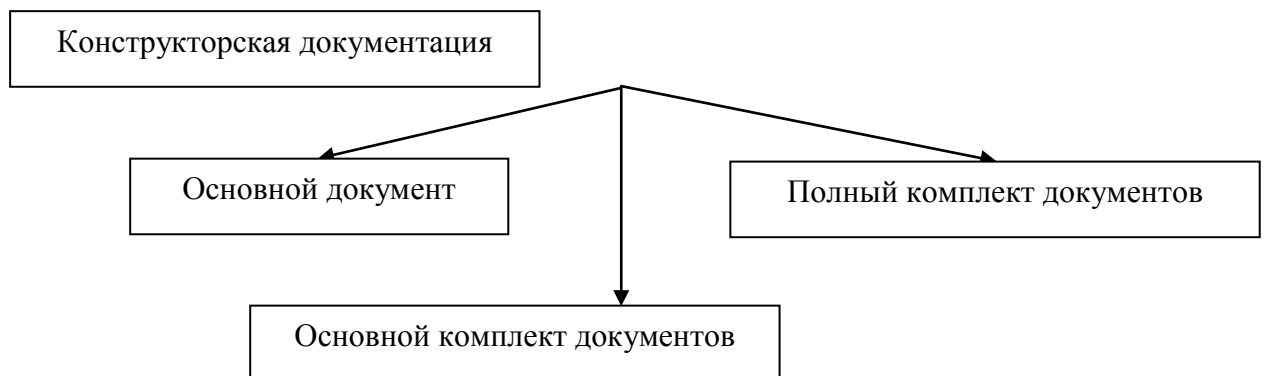


Рис.12

### Основная документация

Документация полностью и однозначно определяет изделие и его состав (для деталей – чертеж), для сборочных единиц, комплексов и комплектов – спецификация.

### Основной комплект документов

Набор документов, содержащий все документы, относящиеся к изделию (на все изделие в целом), например, сборочный чертеж, электрическая схема, технические условия, эксплуатационные документы и т.д.

### Полный комплект документов

Набор документов, содержащий все документы, относящиеся к изделию в целом и на все составные части ( т.е. основной комплект документов в целом и основной комплект документов на все составные части).

## Нормативно-техническая документация

Стандарт – документ, содержащий норму-требование или правило, подлежащее обязательному выполнению.

Стандартизация – установление и применение обязательных норм (правил) на параметры изделия, производственного процесса и т.д.

Цель стандартизации – повышение качества, сокращение сроков.

### Формы стандартизации:

#### 1. Комплексная стандартизация.

Установление и применение множества взаимосвязанных требований как к объекту в целом, так и к его основным элементам, т.е. стандартизация не только самого объекта производства (конструкции), но и материалов полуфабрикатов, оснастки, оборудования, технологического процесса.

#### 2. Опережающая стандартизация.

Разработка стандартов на изделие, которое еще не начало проектироваться, изготов-

ляться.

### 3. Стандартизация межотраслевая.

Система взаимоувязанных стандартов, охватывающих несколько отраслей.

В настоящее время используется следующая классификация стандартов по масштабу области их применения:

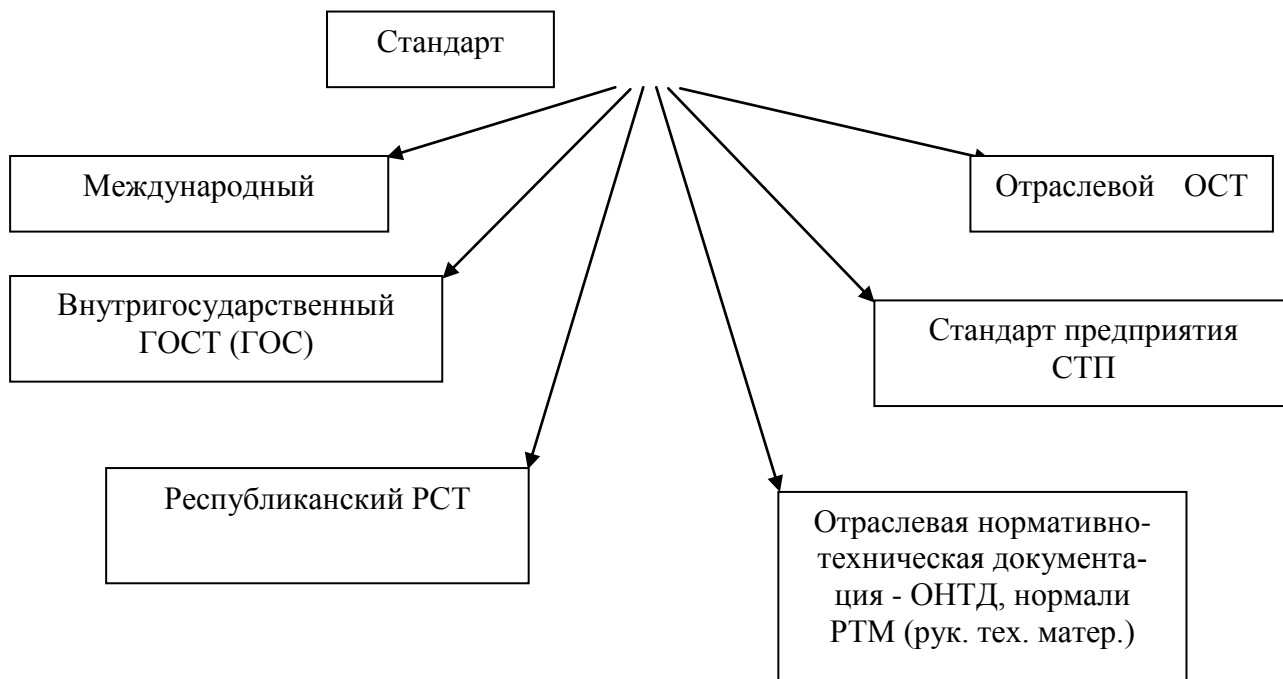


Рис.13

Примером международных стандартов могут служить СЭВ СТ, ИКАО.

Примером отраслевых стандартов могут служить нормы летной годности (СССР).

## **Нормы летной годности**

Разработка бортовых систем и устройств регламентируются в СССР специальным документом "Нормами летной годности гражданских самолетов СССР", устанавливающим необходимые требования к самолетам и их оборудованию и условия их эксплуатации, испытание и т.п.

В целях увеличения безопасности воздушного движения бортовое оборудование пассажирских самолетов, летающих на международных линиях, должно соответствовать требованиям и нормам международной организации гражданской авиации (ИКАО) – специализированного учреждения ООН, членами которого являются большинство государств мира и в том числе наша страна.

Рассмотрим ГОСТ (см. рис.14)

Классификация ГОСТ (всего 27 классов) по областям деятельности:

Выходит ежегодно указатель государственных стандартов, ежемесячно указатель отраслевых и республиканских стандартов.

→ ГСС – государственная система стандартизации, комплекс взаимосвязанных стандартов. Её назначение стандартизация в самой системе стандартизации.

→ ЕСКД – единая система конструкторской документации.

→ ЕСТД – единая система технологической документации.

→ ГСИ – государственная система обеспечения единства измерений.

→ ЕСПД – единая система программной документации (по программному обеспечению).

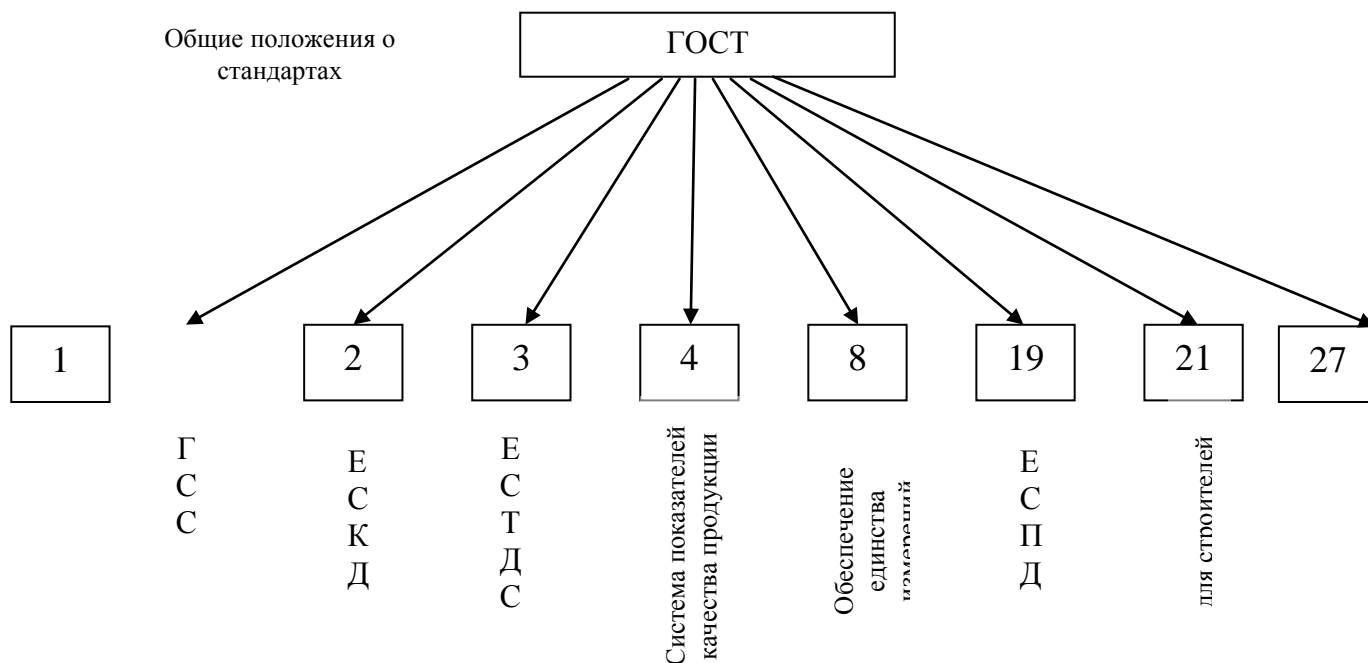


Рис.14

С 1 января 1971 года в СССР введена в действие система Государственных стандартов СССР под названием "Единая система конструкторской документации" (ЕСКД). Эта система стандартов устанавливает единые для всех отраслей промышленности Советского Союза правила организации работ при разработке изделия, правила выполнения конструкторской документации на все виды изделий, перечень и содержание основных конструкторских документов. ЕСКД состоит из большого количества стандартов, объединенных в группы, которые постоянно уточняются и изменяются. Постоянно вводятся новые стандарты и общее их число растет.

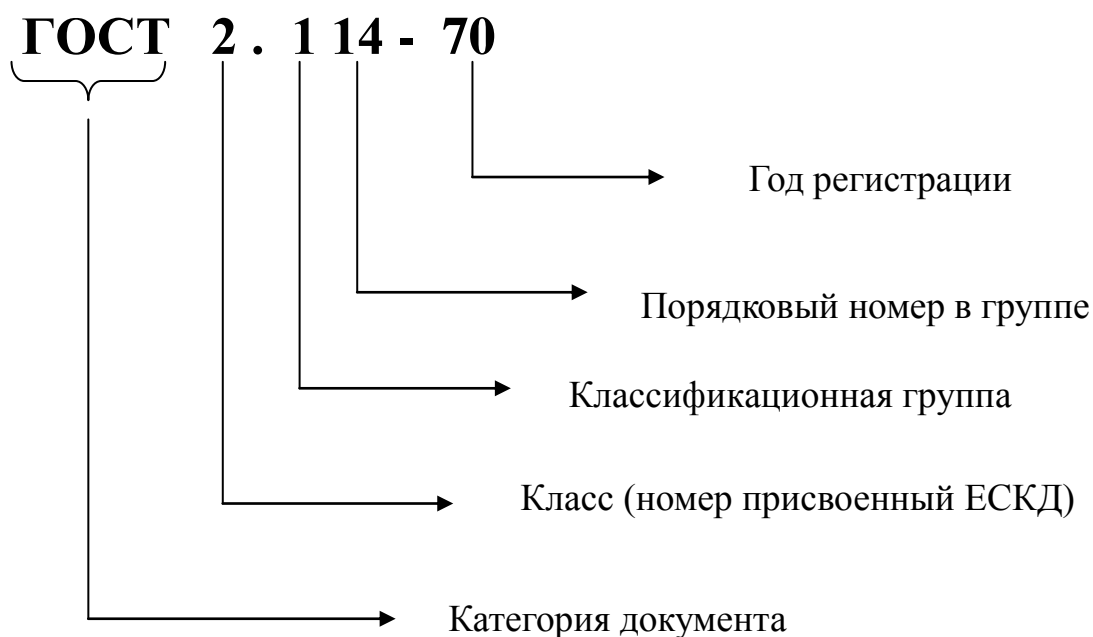
Что понимается под группой стандартов? Группа стандартов – это некоторый набор стандартов, регламентирующих требования по какому-то одному кругу вопросов.

ЕСКД – единая система конструкторской документации (комплекс стандартов). ЕСКД устанавливает правила и положения по порядку разработки, оформления и обращения технической документации, разрабатываемой и применяемой предприятиями и организациями СССР. Вся жизнь (от разработки до эксплуатации) технического устройства сопровождается технической документацией.

Классификационные группы стандартов (классификационные группы по ГОСТ 2):

- 0 – общие положения
- 1 – основные положения
- 2 – классификация и обозначение изделий в конструкторских документах
- 3 – общие правила выполнения чертежей
- 4 – правила выполнения чертежей машиностроения и приборостроения
- 5 – правила обращения конструкторских документов (учет, хранение, дублирование, внесение изменений)
- 6 – правила выполнения эксплуатационной и ремонтной документации
- 7 – правила выполнения схем
- 8 – правила выполнения документов строительства и судостроения
- 9 – прочие стандарты

## Обозначение стандартов по ЕСКД



Наибольший интерес для целей проектирования представляет группа стандартов ГОСТ 2.7 :

ГОСТ 2.7.02-75 – правила выполнения электрических схем

ГОСТ 2.7.51-73 – обозначения условные графические в схемах, линии электрической связи, провода, кабели, шины и их соединения

ГОСТ 2.7.08-81 – правила выполнения электрических схем цифровой вычислительной техники

ГОСТ 2.7.43-82 – обозначения условные графические в схемах, элементы и устройства цифровой вычислительной техники

ГОСТ 2.7.10-75 – обозначения условные буквенно-цифровые, применяемые на электрических схемах

ГОСТ 2.7.21-75 – обозначения условные графические в схемах, размеры условных графических изображений

|               |   |                         |
|---------------|---|-------------------------|
| ГОСТ 3.01-68  | } | форматы листов чертежей |
| СТ СЭВ 140-74 |   |                         |

ГОСТ 2105-68 – требования к текстовым документам

|               |   |                  |
|---------------|---|------------------|
| ГОСТ 2701-76  | } | виды и типы схем |
| СТ СЭВ 651-77 |   |                  |

## Лекция №4

На основании подробного изучения ТЗ , необходимо составить как можно наиболее полный образ будущего прибора. Для этого необходимо тщательно разобраться со следующими вопросами:

1. Типаж прибора. Тип проектируемого прибора (авиационный, наземный, морской, медицинский, бытовой и т.п.)
2. Транспортировка прибора. Способ транспортировки прибора к месту эксплуатации (вид транспорта) и способ перемещения его на месте при эксплуатации (тип транспорта, нужны ли ручки для переноса прибора, сколько, где желательно их расположить и т.п.)
3. Внешние и внутренние факторы, воздействующие на прибор. Факторы внешней среды наиболее существенный для проектируемого прибора, установление необходимых конструкторских способов защиты от выявленных внешних факторов (герметичность, экранирование или амортизаторы и т.п.)

Паразитные внутренние факторы (наводки, помехи, разогрев, паразитные поля). Установление необходимых конструкторских способов защиты от выявленных внутренних факторов. Зная множество факторов необходимо выяснить их влияние на отдельные элементы (например, какие элементы будут подвержены воздействию на них теплового поля или большой собственный разогрев) и куда лучше поставить или как лучше охлаждать. Какие элементы под влиянием факторов будут чаще других выходить из строя.

4. Эксплуатационные особенности прибора.

### а). Требуемый уровень удобства эксплуатации прибора:

- Размещение прибора на месте эксплуатации (на открытом воздухе, под навесом, на объекте, в закрытом помещении, в помещении с микроклиматом) , способ закрепления на рабочем месте (жесткое, быстросъемное и т.п.), рабочая поза оператора.
- Уровень квалификации обслуживающего персонала и его профессиональный ранг.
- Простота обращения с прибором, простота, логики применения прибора.
- Необходимость консервации на месте эксплуатации (нужно ли закрывать прибор на время прерывания в работе и т.п.).
- Необходимость подсказки последовательности действий пользователя
- Необходимость подтверждения правильности выполнения очередного действия оператора.
- Необходимость блокировки при неправильных действиях пользователя.

### б). Безопасность эксплуатации:

- Введение блокировочных контактов, снимающих высокое напряжение при открывании кожуха
- Наличие предупреждающих надписей у высоковольтный разъем.
- Заземление корпуса прибора.
- Соединение с корпусом важнейших металлических частей прибора
- Исключение неправильности соединения блочных соединений (штепсельных разъемов)
- введение ограничителей тока в высоковольтных источниках и сопротивлений утечки в цепях высоковольтных конденсаторов.
- Отсутствие высоких напряжений на вилках штепсельных разъемов.

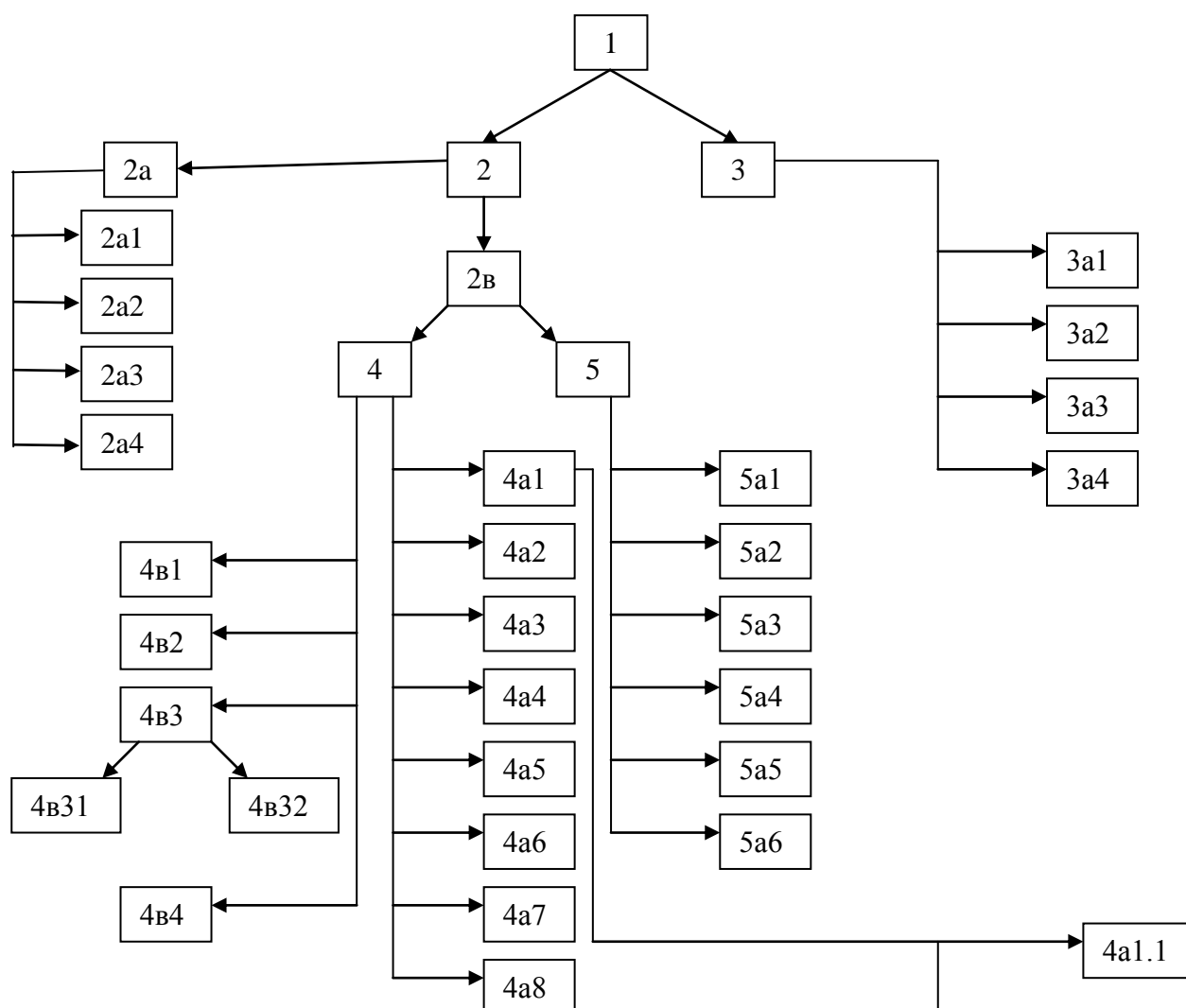
### в). Ремонтопригодность прибора и удобства выполнения профилактических работ:

- Наличие необходимых контрольных точек.
- Маркировка контрольных точек.
- Хорошая доступность к элементам, подлежащим замене, их легкосъемность.

- Оперативность смены блоков (например, использование такой фиксации печатных плат, при которой возможна их быстрая замена (направляющие штепсельные разъемы)).
- Надписи, оцифровка деталей в соответствии с принципиальной схемой.
- Цветное кодирование или маркировка проводов (нумерация печатных проводников), например, красная метка или красный провод – сетевое питание.
- Индикация наличия напряжения на отдельных блоках прибора.
- Наличие запасных свободных штырьков на ШР.
- Установка в конструкцию прибора измерительного прибора (с качественным съемом информации) для контроля основных номиналов наиболее важных параметров.
- Установка в конструкцию прибора источника эталонных (проверочных сигналов) для проведения контрольных процедур.
- Использование для контроля и поиска стандартной аппаратуры.
- Индикация наличия питающих напряжений на отдельных блоках прибора и прибора в целом.

### **Факторы, воздействующие на систему на стадии эксплуатации.**

При использовании, техническая система в зависимости от сферы применения, условий эксплуатации и особенностей режима работы подвергается воздействию разнообразных внешних и внутренних факторов. Многообразие этих факторов приводится ниже в виде иерархической структуры (см. рис.15)





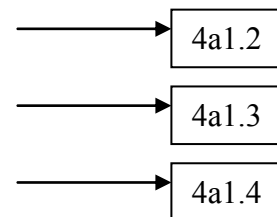


Рис.15

1. факторы, воздействующие на систему на стадии эксплуатации;
2. объективные факторы;
  - 2а. внутренние по отношению к системе факторы;
    - 2а1. старение;
    - 2а2. износ;
    - 2а3. перегрев;
    - 2а4. паразитные связи (электрические, магнитные, тепловые и.т.д.);
  - 2в. внешние факторы;
3. влияние персонала и пациентов;
  - 3а1. квалификация;
  - 3а2. условия работы операторов;
  - 3а3. условия хранения аппаратуры;
  - 3а4. уровень профилактики и ремонта;
4. среда;
  - 4а1 – 13. климатика;
    - 4а1. температура;
    - 4а2. влажность;
    - 4а3. давление;
    - 4а4. осадки;
    - 4а5. примеси;
    - 4а6. ветер, гололед, обледенение;
    - 4а7. солнечная радиация;
    - 4а8. плотность воздуха;
    - 4а11. экстремальное значение;
    - 4а12. градиентное значение;
    - 4а13. среднее значение температуры;
    - 4а14. переохлаждение в зоне вечной мерзлоты;
  - 4в1. ионизирующие излучения;
  - 4в2. радиоактивность;
  - 4в4. магнитное поле Земли;
  - 4в31. низшие растения;
  - 4в32. биологический фактор;
  - 4в33. животные, насекомые;
1. режим эксплуатации;
  - 5а1. особенности применения;
  - 5а2. режим работы;
  - 5а3. условия энергоснабжения;
  - 5а4. механические воздействия;
  - 5а5. невесомость;
  - 5а6. переходные процессы;

Если учесть то обстоятельство, что использование технической системы по назначению предполагает в большей или меньшей степени участие пользователя, то можно указать множество факторов, воздействующих на него.

## Лекция №5. Факторы обитаемости.

Факторы обитаемости, воздействующие на человека, подразделяются, на две большие группы (см. рис.16):

- физические факторы обитаемости;
- химические факторы обитаемости.

При создании условий обитаемости устанавливаются допустимые количественные нормы по отдельным компонентам каждой группы факторов. При этом учете добиваются того чтобы:

- 1) факторы не оказывали отрицательного влияния на здоровье оператора в течение длительного времени (года);
- 2) факторы не вызвали в процессе одного цикла работы (смена, дежурство) снижения качества деятельности оператора.

При учете факторов обитаемости принято четыре уровня нормирования:

### 1. Нормы коммунальной гигиены.

Обеспечивают постоянно оптимальные условия для работы человека (жилище, место постоянной работы и т. п.).

### 2. Эксплуатационные нормы.

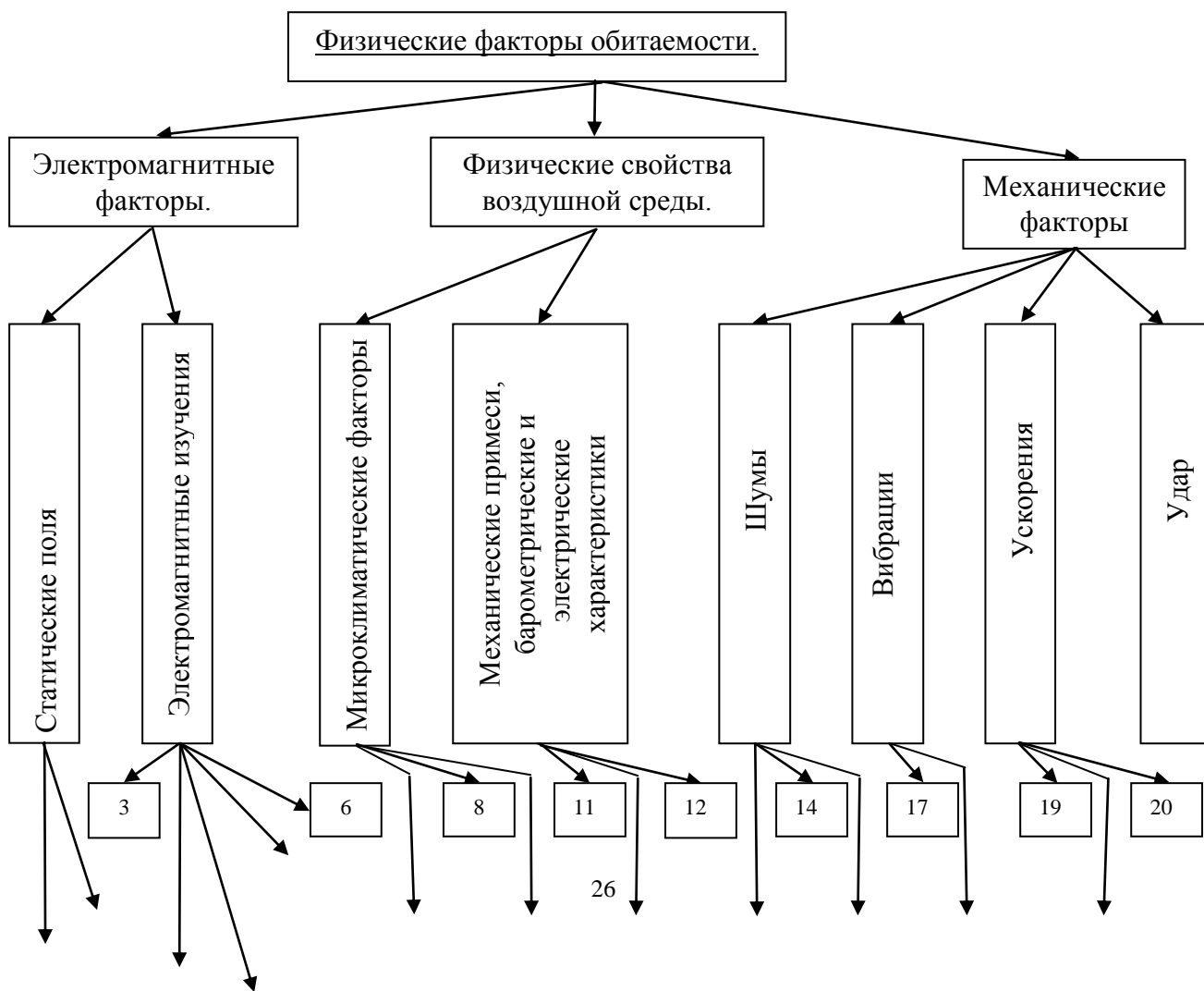
Обеспечивают безвредные для здоровья человека условия работы на определенный срок пребывания в данных условиях.

### 3. Предельно-допустимые нормы.

Обеспечивают эпизодическое пребывание, (как правило, не очень продолжительное) человека в экстремальных условиях. Допускается временное снижение работоспособности.

### 4. Предельно-переносимые нормы.

Обеспечивают жизнь человека при минимальной трудовой деятельности, (как правило, не очень продолжительное время).



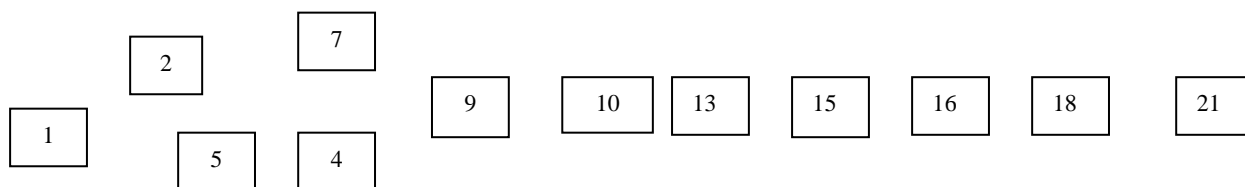


Рис.16  
1 - Электрические; 2 - Магнитные; 3 - Тепловое излучение; 4 - Видимый свет; 5 - Радиочастоты; 6 - Инфракрасное излучение; 7 - Ионизирующее излучение; 8 - Температура воздуха; 9 - Влажность воздуха; 10 - Скорость движения воздуха; 11 - Уровни и перепады давления воздуха; 12 - Степень ионизации воздуха; 13 - Содержание нетоксичной пыли; 14 - Инфразвук (менее 10Гц); 15 - Слышимый звук (10 – 20000Гц); 16 - Ультразвук (свыше 20000Гц); 17 - Общие; 18 - Местные; 19 - Ускорение силы тяжести; 20 - Радиальные ускорения; 21 - Линейные ускорения.

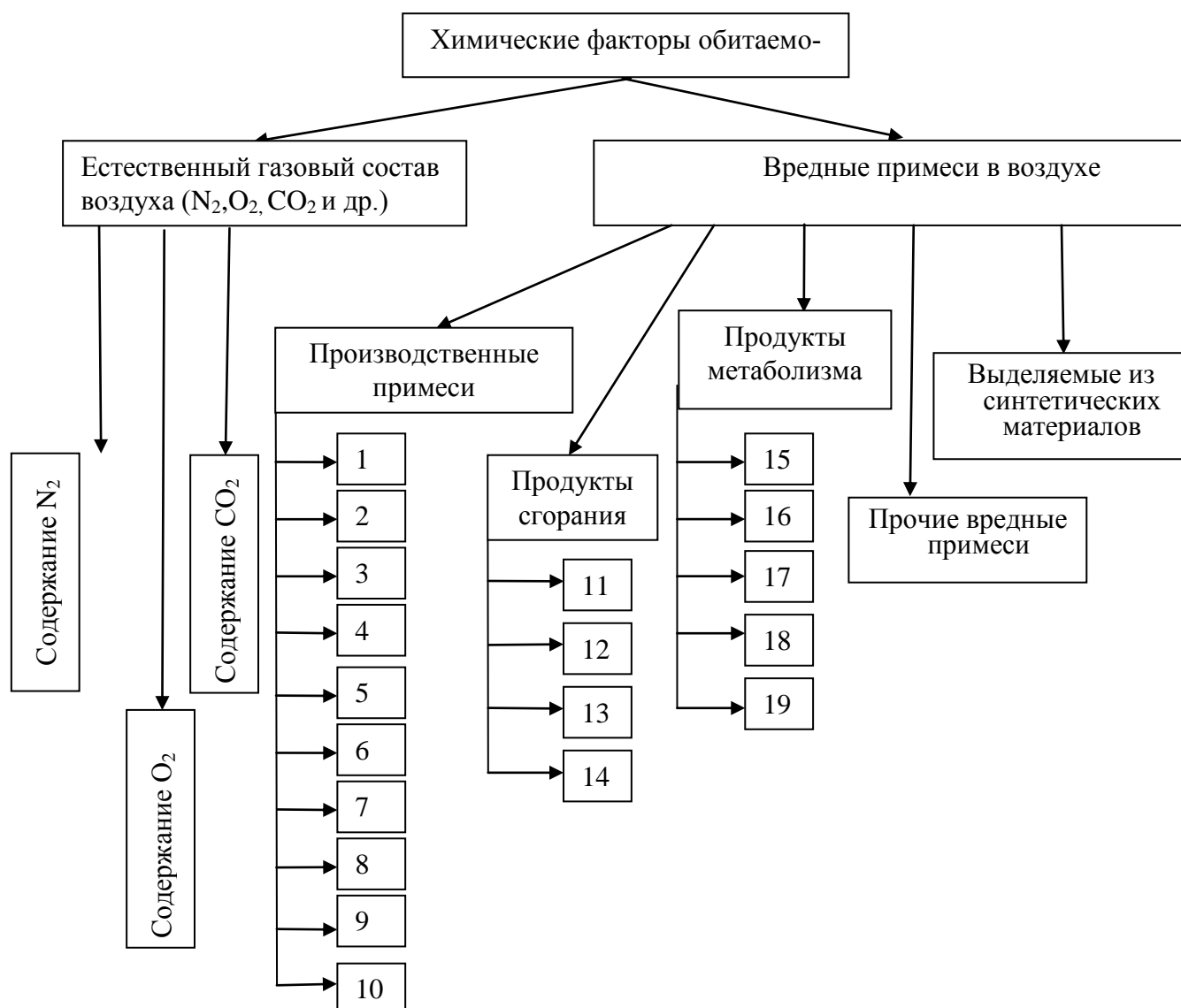


Рис. 17

1-Технические жидкости; 2-Компоненты ракетного топлива; 3-Горюче смазочные материалы; 4 -Аккумуляторные газы (аэрозоли); 5-Озон; 6-Ртуть (пары аэрозоли); 7-Свинец; 8-Окислы азота (газы); 9-Хладагенты (пары); 10-Прочие производственные примеси; 11-Пороховые газы; 12-Выхлопные газы; 13-Альдегиды и кетоны; 14-Прочие продукты гидро-

лиза; 15-Окись углерода; 16-Аммиак; 17-Сероводород; 18-Акролин; 19-Прочие бытовые газы;

## Формы проявления воздействия на организм человека отдельных факторов.

Чаще всего под факторами обитания понимают микроклимат. Влияние микроклимата обусловлено температурой воздуха, влажностью, скоростью движения воздуха, барометрическим давлением.

1. При этом воздействии тепла наблюдается изменение сердечно-сосудистой, дыхательной систем и систем потовыделения, что вызывает:
  - возрастание частоты сердечных сокращений;
  - увеличение ударного объёма сердца, т. е. количество крови поступающее из сердца в сосуды за одно сокращение;
  - резкое возрастание частоты пульса;
  - возрастание частоты дыхания;
  - резкое возрастание выделений пота (за один час человек может выделить до 800 грамм пота);
  - замедление реакций, ослабление внимания.
2. Воздействие влажности и скорости движения воздуха состоит в понижении влажности, что вызывает ощущение сухости. При большом движении воздуха возникает обожжение участков тела горячим воздухом и быстрое замерзание при потоке холодного воздуха.
3. Местная общая вибрация, тряска, толчки приводят к возникновению:
  - вибрационной болезни, вызывающей повышение порогов чувствительности, изменение частоты и силы сокращения сердца;
  - изменение артериального давления при небольших по частоте и амплитуде вибрациях – к снижению давления и, наоборот, при малой частоте и большой амплитуде – нарушение работы вестибюлярного аппарата и органов брюшной полости, расстройство пищеварительной системы;
4. Воздействие химических факторов весьма разнообразно и зависит от химического состава факторов.

### **Ионизирующее излучение (И.И.).**

Ионизирующее излучение – самый мощный фактор воздействия на электронную аппаратуру и человека.

Ионизирующее излучение – излучение, воздействие которого сопровождается образованием электрических зарядов разных знаков. Разновидности ионизирующего излучения приведены ниже (см. рис.18).

Ионизирующее излучение, действуя на среду, может вызвать так называемое вторичное излучение. Итак, излучение может быть первичным и вторичным. Наиболее мольными, обладающими наибольшими проникающими способностью, мало поглощающимися являются гамма – излучения и нейтронное излучение.

Радиоактивность – самопроизвольный распад атомов химических элементов, в результате которых выбрасываются  $\alpha, \beta$  - частицы и  $\gamma$  - излучение.

Космическое (галактическое) излучения и излучения Солнца в наземных условиях эффект воздействия небольшой.

Для искусственных источников присущи относительно небольшой эффект и разнообразие воздействующих факторов (например при взрыве атомной бомбы).

- Ударная волна
- Импульс светового излучения
- Все виды излучений

Ниже приводятся виды воздействий ионизирующего излучения.

Эффекты, обуславливаемый ионизирующим излучением (см. рис.19)

1.Ионизационный эффект – ионизация и возбуждение атомов вещества.

2.Радиационный эффект – изменение значений параметров под воздействием ионизирующего излучения.

3. Радиационный дефект – радиационный эффект проявляющийся в нарушении структуры вещества под воздействием ионизирующего излучения. Радиационный дефект бывает двух видов:

а) Обратимый радиационный дефект – радиационный дефект в веществе, исчезающий с прекращением ионизирующего излучения.

б) Необратимый радиационный дефект – радиационный дефект длительно сохраняющийся после прекращения ионизирующего излучения или не исчезающий.

Радиационный разогрев – радиационный дефект, проявляющийся в повышении температуры

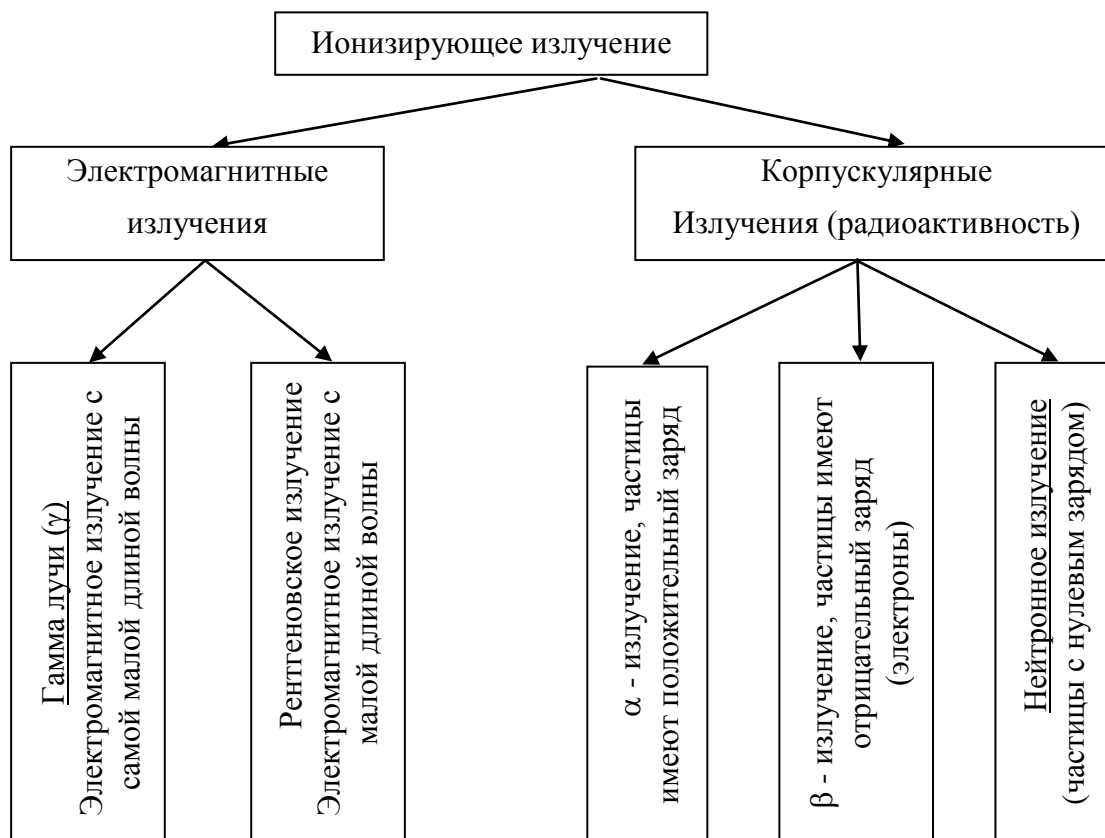


Рис. 18

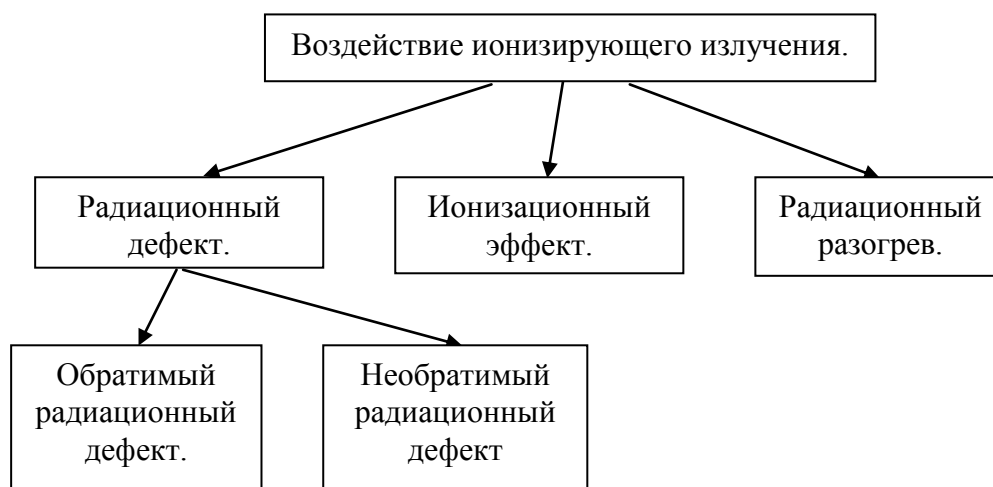


Рис. 19. Эффекты

#### Основные количественные характеристики ионизирующих излучений.

- 1) Интенсивность излучения измеряется в  $\text{Вт/м}^2$  и соответствует количеству энергии перенесенной за 1 сек. через поверхность площадью  $1\text{м}^2$ , расположенную перпендикулярно направлению распространения излучения [ $\text{Э (Дж)/м}^2/\text{сек.}$ ]
- 2) Интенсивность потока частиц характеризуется суммарным количеством частиц, проходящих за 1 сек. через поверхность площадью  $1\text{м}^2$  расположенную перпендикулярно направлению распространения частиц ( $\text{К/м}^2/\text{см.}$ ).
- 3) Величина воздействия ионизирующего излучения на аппаратуру характеризуется дозой излучения, поглощенной аппаратурой и вычисляется как отношение количества поглощенной энергии к массе (в килограммах) аппаратуры (при этом энергия частично отражается частично поглощается).

#### Основные характеристики стойкости аппаратуры к ионизирующим излучениям (И.И.).

Радиационная стойкость – свойство аппаратуры, отдельных элементов материалов и т.п. выполнять свои функции и сохранять значения параметров в пределах установленных норм во время действия (И.И.). Количественной оценкой радиационной стойкости является критерий радиационной стойкости

Критерий радиационной стойкости – предельное численное значение определяющего параметра радиационной стойкости.

Определяющий параметр – параметр, изменение значения которого при воздействии И.И. свыше некоторого определенного значения исключает возможность применения по назначению. Определяющие параметры свой для каждого типа изделия: уровень шумов, проводимость, ток утечки.

#### Влияние ионизирующих излучений на электронную элементную базу.

Влияние на резисторы осуществляется в виде:

- 1) Происходят обратимые и необратимые изменения значения сопротивления
- 2) Увеличивается уровень шумов резисторов
- 3) Ухудшается влагостойкость резисторов

Основная причина влияния ионизирующих излучений – резкое увеличение проводимости из-за ионизационных эффектов в материалах (резкое увеличение проводимости в среде окружающего резистор и материалах).

Гамма излучение вызывает в основном обратимые процессы. После окончания облучения исходное значение определяющего параметра (например, сопротивления) восстанавливается менее чем через 2мсек.

Нейтронное излучение – может стать причиной ухудшения влагостойкости резисторов и обратимых либо необратимых изменений их номиналов. Необратимые дефекты объясняются нарушением их структуры, материалов, нарушением защитных покрытий, опресовки, резистивного слоя.

#### Устойчивость резонаторов к И.И

1. Наиболее устойчивы к ионизирующим излучениям

а) Бороуглеродистые резисторы (увеличение сопротивления на 20%, снижение влагостойкости в 2 раза);

б) Композиционные резисторы (собственные шумы увеличиваются в 2 раза, увеличение сопротивления до 10%)

Более устойчивы к ионизирующим излучениям пленочные углеродистые резисторы (постепенное увеличение сопротивления до 3,5% (0)).

а) Керамические и проволочные резисторы (необратимое увеличение сопротивления менее чем на 2% от исходной величины);

б) Тонкопленочные интегральные резисторы (без существенных изменений величины сопротивления).

### Приемы снижения эффективности воздействия И.И.

- 1) Применять резисторы с номиналом не более 10 кОм.
- 2) Высокоомные резисторы защищать заливкой либо опресовкой эпоксидной смолой. Увеличение толщины защитного слоя в 10 раз позволяет снизить нестабильность резистора в 6-8 раз.
- 3) Применять резисторы как можно меньших размеров.

### Влияние на конденсаторы.

Влияние на И.И. осуществляется в виде:

- 1) Изменение параметров электрической прочности (рабочее напряжение, ТКЕ – температурный коэффициент).
- 2) Изменение сопротивления изоляции, определяющие ток утечки.
- 3) Изменение диэлектрических потерь (дополняющий угол сдвига фаз между векторами тока и напряжения) он определяет активную мощность выделяемую в конденсаторе.

### Основные причины изменения параметров конденсатора.

Изменения в структуре диэлектрика, механическая деформация, ионизация диэлектрика и окружающей среды.

Гамма излучение и рентгеновское излучение вызывает обратимые радиационные дефекты.

Нейтронное излучение вызывает как обратимые так и необратимые радиационные дефекты.

Наибольшей стойкостью к И.И. обладают конденсаторы с неорганическим диэлектриком: керамикой, стекло эмалью, слюдой. Изменение параметров при облучении нейтронами не превышает долей или единиц процентов. Меньше чем через два часа после окончания облучения параметры восстанавливаются для исходного значения. Плохой устойчивостью к И.И. обладают конденсаторы с органическим диэлектриком (бумага, полистирол, лавсан, ортопласт). При облучении сопротивление изоляции падает в 10-20 раз, увеличивается  $\tan\delta$ , номинал ёмкости изменяется на единицы и десятки процентов

Электролитические конденсаторы при облучении претерпевают зачастую разгерметизацию из-за разложения электролита.

Из интегральных тонкоплёночных конденсаторов наиболее устойчивы к И.И. конденсаторы с диэлектриком на танталовой основе ( $Al_2O_3$ ).

### Воздействие И.И. на полупроводниковые приборы.

Полупроводниковые приборы, особенно низкочастотные транзисторы, являются, как правило, слабым местом электронной аппаратуры по отношению к И.И. В связи с этим оценка нижнего уровня радиационной стойкости аппаратуры определяется именно этим слабым местом. В особо ответственных случаях, когда обеспечение особо высокой стойкости аппаратуры к И.И. следует заменять полупроводниковые приборы элементами, имеющими более высокую радиационную стойкость, например, магнитные элементы, электронные лампы и т.п. Конечно, при этом аппаратура, возможно, будет иметь другие эксплуатационные и технические характеристики.

### Транзисторы

Основные явления, наблюдаемые при облучении И.И.

Деградация коэффициентов передачи по току и как следствие изменение вольтамперных характеристик, обусловленных возникновением деградации в полупроводниковом материале.

### Биполярные транзисторы.

- 1) Обратимое возрастание токов  $I_{ко}$  из-за ионизационных эффектов
- 2) Возрастание тока базы и снижение коэффициента усиления по току

Наиболее устойчивыми к И.И. являются:



### Высокочастотные транзисторы.

-большие трудности возникают с мощными транзисторами имеющими, как правило, невысокую радиационную стойкость.

Необходимо уменьшить коэффициент в отдельных каскадах вводя дополнительные каскады усиления, ввести в усилительные каскады обратную связь, повышая напряжение смещения с целью уменьшения чувствительности к увеличению токов утечки.

### Униполярные транзисторы.

Транзисторы данного типа имеют гораздо меньшую радиационную стойкость чем биполярные транзисторы. Наиболее чувствительны к И.И. транзисторы с изолированным затвором (МДП-транзисторы).

### Два вида воздействия на полупроводниковые приборы.

- 1) Ионизирующее действие – оно приводит к возникновению в объёме полупроводника избыточных зарядов, которые, двигаясь под действием градиентов концентрации электрических полей, создают фототоки. После окончания облучения фототоки пропадают, т.е. наблюдаются обратимые дефекты. Фототок – упорядоченное движение фотоэлектронов. Фотоэлектроны электроны, вылетающие из вещества при фотоэффекте.
- 2) Структурные нарушения, обусловленные взаимодействием И.И. с кристаллической решёткой полупроводника. Даже самые незначительные изменения (нарушения) кристаллической решётки вызывает значительные изменения параметров полупроводников, т.е. наблюдаются необратимые радиационные дефекты.

### Полупроводниковые диоды.

Основные искажения:

- 1) Появление фототоков на один-два порядка больше рабочих токов.
- 2) Изменение сопротивления диода.

### Германиевые диоды.

- 1) Нейтронное излучение вызывает изменённые проводимости диодов. При этом в прямом направлении проводимость уменьшается, в обратном увеличивается
- 2) Фотонное излучение вызывает возникновение фототоков, возрастание обратного тока, уменьшение ёмкости р-п перехода. Через несколько дней после прекращения облучения параметры диодов восстанавливаются.

### Кремниевые диоды.

Нейтронное излучение.

- а) Точечно-контактные типы диодов - уменьшается проводимость в прямом и обратном направлении
- б) Плоскостные диоды - проводимость в прямом направлении уменьшается, в обратном направлении с увеличением И.И. в начале растёт, потом падает.

Сильное нейтронное излучение приводит к прекращению работы диодов.

Гамма излучение вызывает обратимые изменения вольтамперных характеристик.

### Туннельные диоды.

Заметное изменение вольтамперных характеристик наблюдается при очень сильном нейтронном излучении. Туннельные диоды устойчивы к ионизирующим эффектам.

### Интегральные диоды.

Более устойчивы к И.И. особенно высокочастотные диоды.

### Интегральные схемы.

Действие И.И. проявляется в обратимых и необратимых изменениях параметров входящих в интегральные микросхемы элементов (резисторов, конденсаторов, транзисторов). Наиболее устойчивы к воздействию И.И. интегральные схемы на основе керамических элементов (керамические твёрдые схемы).

В связи с тем, что логические схемы, как правило менее чувствительны к изменениям коэффициента усиления транзистора по току и к изменению токов утечки переходов, чем линейные схемы, логические интегральные схемы, как правило, имеют большую радиационную стойкость.

#### Способы защиты от ионизирующего излучения.

Основные способы защиты аппаратуры от И.И. сводятся к экранированию. Для защиты от  $\alpha$  и  $\beta$  излучений относительно тонкие металлические (стальные, алюминиевые, медные и др.) экраны снижают эффективность излучения на порядок. Например, стальной экран толщиной 1,5мм снижает эффективность  $\alpha$  и  $\beta$  излучения более чем в 10 раз. Для защиты от гамма и нейтронного облучения тонкие металлические экраны негодны (например, стальной экран толщиной в 15см снижает эффективность не более чем на порядок). Для защиты от этих излучений применяются массивные свинцовые, свинцово-графитные, свинцово-полиэтиленовые.

#### Воздействие солнечной радиации.

Основные составляющие воздействия:

- 1) Видимый свет;
- 2) Ультрафиолетовое излучение;
- 3) Инфракрасное излучение (тепло).

##### Видимый свет:

- химическое разложение некоторых видов пластмасс (например, хлориды);
- образование озона (окисляющее химическое воздействие).

##### Ультрафиолет:

- частичное разложение полимеров, содержащих хлор (полихлорвиниловая изоляция);
- ускоряет (является катализатором) реакции окисления полиэтилена, полистирола.

##### Инфракрасное излучение:

- увеличение температуры.

#### Механические воздействия.

Разновидностями механических воздействий являются:

- 1) Гармонические вибрации, основные параметры которых:
  - а) частота;
  - б) амплитуда;
  - в) продолжительность.
- 2) Ударные нагрузки, основные параметры которых:
  - а) длительность ударного импульса и его форма;
  - б) максимальное число одиночных ударов или их серий;
  - в) мгновенная скорость при ударе.
- 3) Линейные ускорения (инерционные воздействия) основные параметры которых:
  - а) величина ускорения;
  - б) длительность ускорения;
  - в) знак воздействия ускорения.

Ниже приводится краткое описание вышеперечисленных механических воздействий.

Вибрация – длительное знакопеременное колебание, воздействующее на конструкцию.

В чём проявляется вибрационное воздействие. Вибрация представляет собой возбужденные колебания, вынуждающие конструкцию колебаться с частотой вынуждающих колебаний. После прекращения вибрации конструкция некоторое время осуществляет колебания с собственной частотой. Максимальные механические перегрузки конструкция испытывает в том случае, когда частота вибрации совпадает с собственной частотой конструкции, то есть, наблюдается явление резонанса. В этом случае, например, появляются разрушения печатной платы, отдельных элементов на ней, отрыв паяных выводов элементов и проводов, проявляются усталостные явления и изнашивания.

Таким образом, проявление воздействия вибрации состоит в том, что конструкция в целом и каждая деталь, входящая в её состав, начинают совершать вынужденные колебания с частотой источника вибрации. Для каждой конструктивной единицы существует так называемая частота собственных колебаний. При совпадении собственной частоты колебаний и частоты источника вибрации (явление резонанса) происходит наибольшее разрушение конструкции.

Различают два понятия:

- виброустойчивость;
- вибропрочность.

Виброустойчивость - способность конструкции нормально функционировать в условиях воздействия вибрации.

Вибропрочность - способность конструкции противостоять разрушающему воздействию вибрации, выдержать её и нормально функционировать после устранения вибрации.

Удар – кратковременное механическое воздействие, длительность которого примерно равна двойному времени распространения ударной волны через объект подвергшийся удару.

В чём выражается удар?

В момент удара происходит колебание системы на вынужденной частоте, определяемой длительностью удара, а после него на собственной частоте конструкции.

При ударе механическая энергия переходит в энергию деформации, в тепло.

Механический удар возникает при изменении скорости тела за короткий промежуток времени, сопровождающийся полным или частичным переходом энергии запасённой телом в энергию деформации и тепло. Удар происходит при резком торможении или разгоне тела, например при падении прибора, при столкновениях.

При ударе на аппаратуру воздействуют силы. Возникают напряжения и упругие или остаточные деформации, которые часто приводят к разрушениям.

Напряжение и деформация распространяются в материалах изделий не мгновенно, а с некоторыми конечными скоростями. В связи с этим при ударе возникает сложное поле напряжений, изменяющихся и от точки к точке и от времени.

Интенсивность воздействия определяется ускорением, сообщаемым аппаратуре или значением силы, действующей при ударе и направлением и длительностью их воздействия.

Основные параметры удара:

- а) максимальное количество ударов (серия ударов);
- б) длительность ударного импульса;
- в) форма ударного импульса;
- г) мгновенная скорость при ударе.

Ускорение – механическая динамическая или статическая нагрузка на конструкцию. Ускорение проявляется при движении объекта с переменной скоростью (например, при разгоне или торможении, по криволинейной траектории – центробежное ускорение). Таким образом, следует различать линейное и центробежное ускорение.

Основные параметры ускорения:

- величина ускорения;
- длительность воздействия;
- знак воздействия.

Повреждения вызываемые механическими воздействиями.

- 1) нарушение герметичности из-за нарушения паяных, сварных и клеевых швов и появление трещин;
- 2) разрушение корпуса прибора и отдельных его частей вследствие механического резонанса или усталости (обрыв, отслоения, потрескивания);
- 3) обрыв монтажных связей (особенно печатных);
- 4) расслоение многослойных печатных плат;
- 5) отслоение печатных проводников;
- 6) растрескивание керамических подложек;

- 7) временный или окончательный выход из строя разъёмных и неразъёмных электрических контактов (в реле, соединителях, цепях заземления, экранирование и т.д.);
- 8) появление паразитных связей;
- 9) смещение положения органов настройки и управления;
- 10) выход из строя механических узлов (подшипников, зубчатых колёс, крепежа);
- 11) частичные обратимые или необратимые изменения параметров в полупроводниковых элементах из-за смещения энергетических уровней, изменение ширины зоны проводимости;
- 12) сбои цифровых устройств;
- 13) снижение точности работы;
- 14) повышение энергопотребления;
- 15) снижение чувствительности.

#### Основные методы защиты от механических воздействий.

- 1) уменьшение интенсивности источника механических воздействий;
- 2) виброизоляция;
  - а) демпфирование – поглощение механических колебаний за счёт трения в материале упругой опоры (резина, поролон, вибропоглощающее покрытие);
  - б) амортизация – поглощение механических воздействий за счёт применения механических колебательных устройств (пружин, гироскопов);
- 3) применение наиболее жёстких и прочных компонентов.

#### **Помехозащищённость электронной аппаратуры**

*Помеха* – воздействие, приводящее к искажению информации, к искажению правильности работы технического устройства.

Помехи можно классифицировать следующим образом ( см. рис. 20):

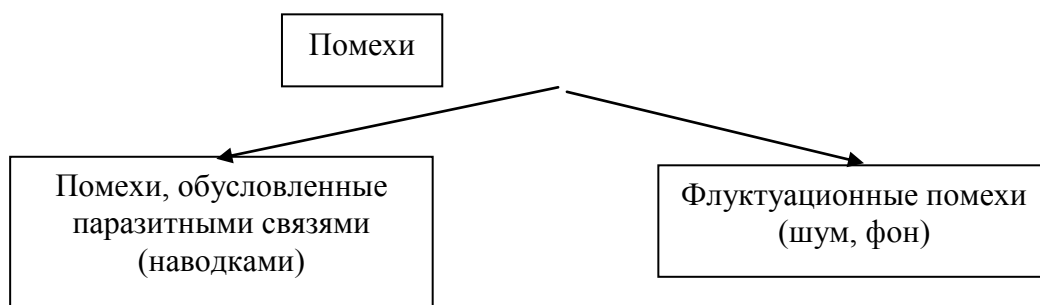


Рис.20.

#### **Виды помех:**

##### Флуктуационные помехи

- Флуктуация – случайное беспорядочное отклонение какой – либо величины от её среднего значения (пример – эмиссия электронов накальной нити вакуумной лампы, флуктуация тока – дробовой эффект и т.п.).
- Флуктуации подвержены величины самой разнообразной природы. Физические, такие, например, как плотность, давление, температура, ток, напряжение. Биологические – вес, размеры особи данного вида.
- Флуктуации неизбежны, их необходимо учитывать в особо точных и чувствительных приборах.

##### Помехи, обусловленные паразитными наводками

*Паразитная наводка* – это не предусмотренная электрической схемой и конструкцией передача напряжения, тока или мощности от одной аппаратуры к другой или из одной части прибора к другой.

Наводки возникают из-за паразитных связей, которые невозможно указать на принципиальной схеме, так как они зависят от конструкции взаимного расположения элементов и не поддаются или трудно поддаются расчетам.

Любая аппаратура или её часть может стать источником помех или приемником помех. Все зависит от соотношения выходной энергии данной части аппаратуры к чувствительности восприятия этой энергии другим элементом. Классификация многообразия паразитных связей дана ниже.

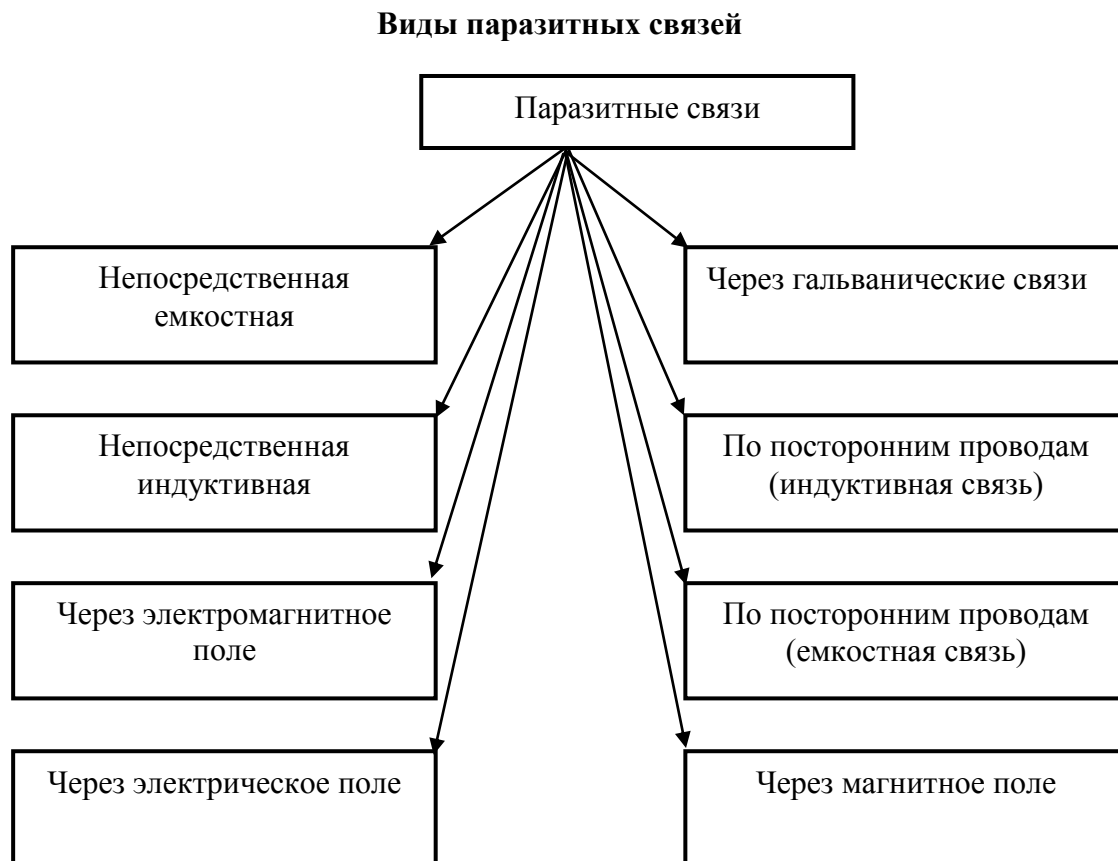


Рис. 21

### Источники и приемники помех

Наиболее вероятные источники помех:

- Сеть переменного тока.
- Мощные генераторы ВЧ, особенно работающие в нелинейном режиме.
- Блокинг-генераторы.
- Импульсные модуляторы.
- Импульсные генераторы.
- Выходные и предоконечные каскады УВЧ, УПЧ, УНЧ.
- Реле и всевозможные включающие и выключающие устройства.
- Выходные и силовые трансформаторы.
- Коллекторные электродвигатели.

Наиболее вероятные приемники помех:

- Все радиоприемники, особенно высокочувствительные и работающие в длинноволновом диапазоне.
- Входные каскады усилителей всех типов.
- Входные трансформаторы УНЧ.

- Спусковые устройства с высокой чувствительностью срабатывания (триггеры, ждущие мультивибраторы).

### Основные задачи по борьбе с помехами

С точки зрения борьбы с помехами (наводками) обычно рассматриваются следующие задачи:

- 1) При разработке следует добиваться того, чтобы все источники помех, имеющиеся в разрабатываемой аппаратуре, не должны мешать нормальному её функционированию (то есть не мешать самой себе).
- 2) Разрабатываемая аппаратура не должна мешать нормальному функционированию окружающей её аппаратуры.
- 3) Аппаратура не должна мешать нормальному функционированию новой разрабатываемой, аппаратуры.

### Методы борьбы с помехами

Методы борьбы решаются следующими способами:

- 1) Путем встраивания помехоподавляющих устройств (экранов, фильтров) во все источники помех.
- 2) Введением помехоподавляющих устройств в приемники помех.

Некоторые наиболее часто встречающиеся паразитные связи в электрических схемах объясняются следующим образом:

Различные электрические элементы, входящие в состав аппаратуры по цепям питания зачастую оказываются электрически и гальванически связанными. Обычно при использовании одного источника напряжения питания к элементам подводится с помощью двух проводов: прямого и обратного. Если же используемые элементы требуют напряжения от нескольких источников, то в целях уменьшения количества проводов обратные провода объединяются в одну шину, которую соединяют с корпусом прибора. При работе электрических схем токи, потребляемые отдельными элементами, существенно меняются (особенно, в цифровой технике), что обуславливает появление скачков тока и напряжения. Так как шины питания имеют паразитные связи, эти скачки создают помехи. Для ликвидации этих помех устанавливаются сглаживающие конденсаторы. Будучи заряженными, до значения источника напряжения, эти конденсаторы являются как бы индивидуальным источником питания!!! Следовательно, методы борьбы выглядят следующим образом:

- 1) В источниках питания обязательно ставятся электролитические конденсаторы - сглаживающие конденсаторы.
- 2) Сокращается длина шин питания за счет так называемого распараллеливания (избегают длинных электрических линий).
- 3) Каждый элемент, подверженный опасности помех, должен иметь сглаживающий конденсатор в цепи питания.
- 4) Группа элементов (целый блок, печатный узел) должен иметь свой сглаживающий конденсатор.
- 5) Устраняется гальваническая связь (связь через активное сопротивление).

### Электромагнитные поля

Одним из наиболее распространенных видов паразитных влияний на аппаратуру является электромагнитное поле. Различают следующие диапазоны частот электромагнитного поля:

Таблица 2.

| Виды частот                     | Диапазон частот, Гц  |
|---------------------------------|--|
| 1. Низкие частоты               | 3 – 3000 Гц  |
| 2. Радиочастоты                 | 3000 Гц – 3000 ГГц ( $3000 \cdot 10^9$ Гц)<br>(1 ГГц (гигагерц) = $10^9$ Гц) |
| 2.1. Высокие частоты (ВЧ)       | 3 кГц – 300 МГц  |
| 2.2. Сверхвысокие частоты (СВЧ) | 300 МГц – 3000 ГГц   |

|                                    |   |
|------------------------------------|---|
| 3. Оптические частоты              | 3000 ГГц – 750 ТГц (750*10 <sup>12</sup> ГГц)<br>(1ТГц (терагерц)=10 <sup>12</sup> ГГц) |
| 4.Рентгеновские, гамма – излучения | 750 ТГц – 10 ПГц<br>(1ПГц (петагерц)=10 <sup>15</sup> ГГц)                              |

Воздействие электромагнитной энергии поля проявляется по-разному в зависимости от расстояния между источником и приемником помех. Существуют так называемые ближняя и дальняя зоны.

Ближняя зона – когда расстояние от источника паразитного поля до приемника помех равно  $\lambda-5\lambda$

$$\lambda = \frac{1}{f} * \nu, \quad \nu = 3 * 10^8 \text{ м / с}$$

Дальняя зона - когда расстояние от источника паразитного поля до приемника помех более  $5\lambda$ .

В ближней зоне преобладает воздействие электрического или магнитного поля, (в зависимости от взаимной ориентации источника и приемника) . Напряженность электрического и магнитного полей убывает обратно пропорциональна квадрату расстояния от источника возбуждающего поля до приемника.

В дальней зоне воздействие оказывают как электрическая, так и магнитная составляющие, причем энергия между ними распределяется равномерно. Обе составляющие одинаково сильны (плоская волна).

Напряженность электромагнитного поля убывает обратно пропорциональна первой степени расстояния (плоская волна).

С увеличением расстояния в первую очередь исчезают связи через электрические и магнитные поля.

С увеличением расстояния во вторую очередь исчезают влияние электромагнитных составляющих.

В последнюю очередь исчезает влияние, передаваемые по проводам и волноводам.

Характер воздействия электромагнитных полей на аппаратуру (по виду компонент, составляющих их) можно распределить следующим образом:

- 1) Вблизи источника электромагнитных помех (на расстоянии меньше  $\lambda$ ) преобладающее воздействие оказывает либо электрическое, либо магнитное поле. Таким образом, задача экранирования от внутренних источников помех сводится к экранированию либо по электрической, либо по магнитной составляющей.
- 2) Защита аппаратуры от внешних полей (на расстоянии больше  $5\lambda$ ) экранирование должно осуществляться одновременно по магнитной и электрической составляющим, энергия между которыми распределяется равномерно (электромагнитное поле).

*С точки зрения экранирования весь диапазон частот условно можно разбить на три поддиапазона:*

1. От 0 до 3000 ГГц – низкочастотная область, соответствующая электростатическому или магнитостатическому режиму работы экрана.
2. От 3000 ГГц до  $5*10^9$  ГГц - высокочастотная область, соответствующая электромагнитному режиму работы экрана.
3. От  $5*10^9$  ГГц до  $10^{11}$  ГГц – сверхвысокие частоты, соответствуют волновому режиму работы экрана.

Таким образом, экранирование бывает:

- Электростатическое, когда  $|E| \gg |H|$  ;
- Магнитостатическое, когда  $|H| \gg |E|$  ;
- Электромагнитное, когда  $|H| = |E|$  .

### Физическая сущность экранирования

Экран, с физической точки зрения, - замкнутая металлическая оболочка, препятствующая попаданию поля в пространство. Занятое электронным устройством. Механизм экранирования двоякий:

- отражение;
- поглощение (вихревые токи) при этом энергия паразитного поля идёт на джоулевое тепло, перемангничивание

Эффективность экранирования зависит от материала экрана, толщины экрана. Количественно эффективность экрана определяется численным значением коэффициентом экранирования. Под *коэффициентом экранирования* понимается отношения величины напряженности паразитного поля до экрана к напряженности паразитного поля после экрана т.е. коэффициент экранирования прошедшего через экран вычисляется как в децибельной форме, так и не в децибельной

Электростатический экран - тонкие металлические листы и даже пленки, электропроводящие краски, проволочные сетки, обладающие хорошей проводимостью, обеспечивающие замыкание помехи на землю. Электростатическое экранирование основано на замыкании электрического экрана на шину с нулевым потенциалом (корпусом, землей). Эффективность экранирования электростатического поля не зависит от толщины и материала экрана, так как токи, протекающие по нему малы. Часто электростатические экраны выполняют в виде тонкого слоя металлизации нижней стороны корпуса ИС. В качестве экрана может использоваться сетка. Окна в сетке должны быть меньше длины волны электрического поля.

Магнитостатический экран – экран изготавливается из ферромагнитных материалов (пермалой, сталь) с большой магнитной проницаемостью. Линии индукции проходят, в основном, по стенкам экрана, которые обладают малым магнитным сопротивлением по сравнению с воздушным пространством (чем толще экран и меньше стыков, тем меньше сопротивление). В магнитостатическом экранировании толщина экрана берется очень большой – от 0,5 до 1,5 мм. Материал – ферромагнетики с большой магнитной проницаемостью (пермалой, ферриты). При наличии такого экрана силовые магнитные линии проходят, в основном, по его стенкам, которые обладают малым магнитным сопротивлением по сравнению с сопротивлением воздушного пространства (эффект шунтирования).

Электромагнитный экран – механизм подавления помех состоит в отражении поля от поверхности экрана (вытеснению внешнего поля из пространства, занятого экраном) и затуханию его в теле экрана (с повышением частоты) и основан на действии возникающих в теле экрана вихревых токов.

Для экрана используются материалы, содержащие алюминий, медь, серебро, золото, марганец, бериллий с низким удельным сопротивлением.



## Лекция № 8

### Защита конструкторской аппаратуры от воздействия влаги

В процессе производства, хранения и эксплуатации аппаратура может подвергаться воздействию влаги (водяного пара), содержащейся в окружающем пространстве. Содержание влаги в воздухе зависит от температуры и давления.

Величины, характеризующие массу водяного пара, находящегося в воздухе:

1. Упругость или парциальное давление водяного пара. Измеряется в Паскалях и характеризует количество влаги, находящееся в атмосферном воздухе.
2. Абсолютная влажность - это масса водяного пара, содержащегося в единице объема при нормальных условиях (давление 760 мм рт. ст. = 0,1 МПа ).
3. Относительная влажность – выраженное в процентах отношение фактической абсолютной влажности к максимально возможной.
4. Точка росы – температура полного насыщения воздуха водяным паром.

Воздействие влаги появляется в том, что происходит разрушение структуры материала. Проявляется это по-разному:

- в металлах происходит коррозия;
- в изоляционных материалах поглощением влаги и как следствие понижением изоляционных свойств.

При этом резко сокращается срок службы металлических компонентов. Так, например, срок службы компонентов, содержащих металлические детали (черный металл) сокращается в 2 - 2,5 раза. Срок службы компонентов содержащих детали из алюминиевых сплавов в 2 раза.

При воздействии влаги:

- снижаются электроизоляционные свойства;
- нарушается сопротивление изоляции;
- растут диэлектрические потери;
- разрушается структура резисторов и изменяется их сопротивление;
- накапливаются объемные заряды в биполярных полупроводниковых интегральных схемах;
- в виду того, что микро миниатюризация электронной аппаратуры приводит к снижению расстояний между токонесущими частями, попадание влаги вызывает деградацию параметров (штепсельные разъемы, переходные платы, межслойное пространство многослойных плат с печатным монтажом);
- коррозия металлизации интегральных схем;
- проникновение влаги в пластмассовые корпуса из-за недостаточной их герметизации.

*Собственно влияние влаги на электронную базу носит обратимый характер, однако при прохождении электрического тока эти изменения становятся необратимыми.*

### Способы влагозащиты аппаратуры

Для защиты применяются так называемые *влагозащитные конструкции*.

*Монолитные оболочки* – составляют неразрывное целое с защищаемым узлом. Сложность создания оболочек объясняется тем, что они часто служат несущей конструкцией, теплоотводом, защитой от электрических воздействий, ионизирующих излучений, пыли, света, микроорганизмов.

*Полые (пустые) влагозащитные оболочки* защищают от механического контакта с оболочкой, что обеспечивает работу в более широком диапазоне температур, и исключают химическое воздействие оболочки и защищаемого компонента. Полые оболочки, как правило, имеют более высокую эффективность влагозащиты, но имеют значительные габариты, массу, стоимость. Наиболее эффективно использование полых оболочек для групповой гер-

метизации. Стоимость полых оболочек высокая, ремонтоспособность низкая. Ниже показано многообразие влагозащитных конструкций.

### Воздействие колебаний атмосферного давления.

#### *Атмосферное давление*

На поверхности земли колебания атмосферного давления незначительны, поэтому они существенного влияния на аппаратуру не оказывают. Однако, аппаратура, используемая в высокогорных работах, в подземных и подводных условиях испытывают влияние атмосферного давления, которое существенно отличается от нормального. Особенно сильное воздействие испытывает аппаратура, устанавливаемая на борту летательных аппаратов и морских судов.

Изменение *атмосферного давления* проявляется *непосредственно* и *косвенно*.

*Непосредственное воздействие* состоит в том, что изменяются характеристики элементов. Например, у конденсаторов с воздушным диэлектриком изменяется емкость и допустимое рабочее напряжение.

*Косвенное воздействие* состоит в том, что, например, при повышении давления, ухудшается условие воздушного охлаждения аппаратуры вследствие уменьшения плотности воздуха.

### Классификация конструкций аппаратуры по конструкторскому исполнению

Все многообразие конструкций современной электронной аппаратуры может быть разбито на две группы (см. рис.25 ).



Рис. 25.



Рис. 24.

### **Моноблочная конструкция (глобальная)**

Аппаратура не разбивается на части, отдельные функциональные узлы.

Данная конструкция применяется при конструировании аппаратуры:

- у которой мало реализуемых функций, вследствие чего не целесообразно
- разбивать на части;
- с минимальными внутренними и внешними размерами;
- для аппаратуры изготовленной в малых количествах или имеющих малый срок службы.

#### **Плюсы**

Низкие затраты на конструирование. Габаритные минимальные размеры

#### **Минусы**

Относительно высокие затраты на сборку, настройку и контроль.

### **Блочно-модульная конструкция**

Аппаратура разбивается на части, каждая из которых является узлом-модулем, являющимся составной частью блока

#### **Плюсы**

- Возможность изменения общей функции аппаратуры путем замены отдельных модулей;
- возможность создания и усовершенствования различных типов аппаратуры при использовании различных модулей;
- облегчение ремонта и технического обслуживания (ТЭЗ);
- упрощение технологии изготовления.

При создании блочно – модульной конструкции разбиение аппаратуры на части осуществляется либо по функциональному признаку, либо с позиции технологии изготовления.

При разбиении по функциональному признаку аппаратура делится на части с учетом функций выполненных каждой частью. При этом каждая отдельная часть является узлом самостоятельно выполняющих определенные функции, что резко сокращает число внешних связей

При разбиении с позиции технологии изготовления аппаратура делится на части, каждая из которых удобна с позиции изготовления. Этот подход менее прогрессивный.

Разбиение на части (на модули ) осуществляется исходя из соображений:

- функциональной завершенности;
- конструктивной завершенности;
- метрологической завершенности;
- электрической завершенности;
- дополнительными требованиями.

1. функциональная завершенность - характеризует способность реализовать без помощи дополнительных средств конечное число функций.

2. конструктивная завершенность - предполагает возможность выполнения в виде конструктивного элемента одного из уровней иерархии (а так же средств механической фиксации и электрической коммутации при установке в качестве элемента в конструктивном блоке) модуля более высшего уровня. Завершенность, как правило, безотносительна к функциональному назначению.

3. электрическая завершенность - наличие в модуле средств электрического сопряжения с модулями определенного класса.

4. дополнительные требования - при проектировании модуля предъявляется требование к автономности электрических конструкций, информационной электрической, экономической совместимости, способность непосредственного сопряжения модулей без использования дополнительных средств.

При проектировании конструкции аппаратуры по доступности различают следующие

разновидности конструктивного исполнения:

- с гибким основанием;
- с поворотом в плоскости узла;
- с поворотом относительно перпендикулярной плоскости узла;
- с использованием последовательного шарнирного соединения блоков (ширма);
- с роликами по направляющим;
- с ребром по направляющим;
- на системе рычагов;
- на телескопических направляющих;
- раскрывающиеся.

### Унифицированная конструкция

Конструкция аппаратуры рассматривается как множество конструктивных частей, элементов и узлов различной сложности, массогабаритных размеров и функционального своеобразного назначения.

Все многообразие конструктивных частей различной сложности, массогабаритных размеров и своеобразного назначения разбивается на функционально отличающиеся друг от друга группы (ряды).

Унификация конструкций входящих в один ряд, предполагает, что конструктивно можно собрать типовой базовый элемент (кирпичик). Другими словами, все многообразие конструкций входящих в один ряд можно по сложности можно условно разделить на уровни от простого к сложному ( уровни входимости). Это означает конструкция более высокого уровня (более сложная конструкция) составляется из элементов входящих в состав более низких уровней (менее сложных конструкций). Таким образом, можно считать, что элементы одного уровня находятся друг по отношению к другу в иерархическом порядке. В каждом есть простейший элемент – типовой базовый кирпичик, находящийся в низу иерархической структуры ряда и есть самый сложный собранный из более простых элементов ряда и находящийся на верху иерархической структуры.

При этом разбиение на ряды базируется на следующих принципах:

- каждый из рядов должен быть типовым, т.е. состоять только из типовых элементов, число которых должно быть ограничено
- более сложная конструкция может быть получена из множества менее сложных типовых базовых элементов (кирпичиков) взятых в определенном количестве (наподобие детского конструкторского набора)

Таким образом все многообразие конструкторских узлов и элементов представляет собой типизированную и унифицированную систему. Для аппаратуры одного и того же класса (т.е. предназначенных для работы в одной и той же области) эти системы кирпичиков должны быть одной и той же, т.е. единой.

Таким образом, можно говорить о единой унифицированной системе типовых конструкций ее можно представить (ЕУСТК) в виде некоторого множества рядов:

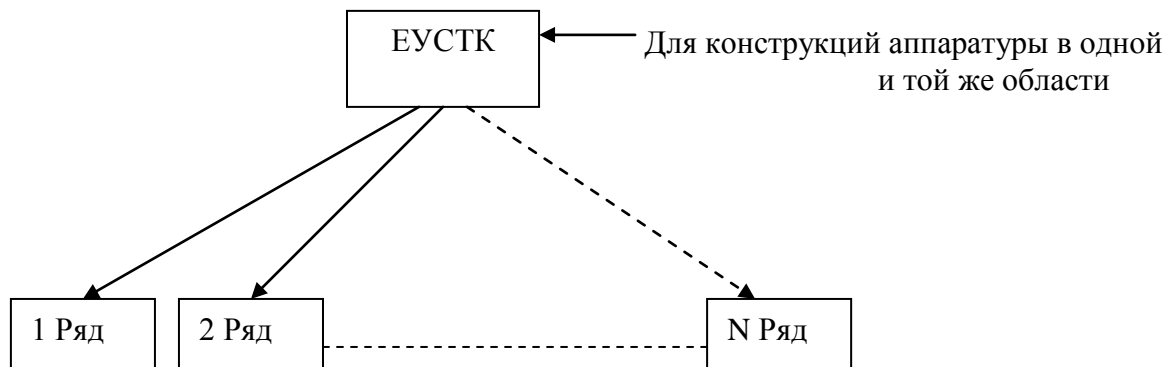


Рис. 26.

Содержание рядов:

- 1) несущие конструкции внутренней установки. Эти узлы и элементы используются для установки размещения на них (они несут на себе) деталей входящих в данную сборочную единицу. Например, печатная плата является несущей конструкцией т.к. на ней размещены радиоэлементы.
- 2) несущие конструкции внешней установки, к этим элементам относят различные ножки, ручки, приспособления для переноски, элементы крепления, на лицевой, задней панели и корпусе прибора;
- 3) элементы и узлы внешней и внутренней коммутации, обеспечивающие необходимые электрические соединения;
- 4) элементы крепления конструктивных узлов друг к другу и исключающие взаимное перемещение сопряженных частей;
- 5) защитные конструкции – разнообразные крышки, дверцы, кожухи, замки и и т.п.

В зависимости от функционального назначения, сложности аппаратуры количество рядов может быть разным.

### **Иерархия ряда типовых конструкций**

Особенностью единой унифицированной системы типовых конструкций является конструкторская иерархия.

Иерархия- греческое слово. Hierarchie, hieros – священный, arche – власть.

Конструкторская иерархия своеобразная сопоставимость различных по сложности конструкторских частей и узлов аппаратуры.

Конструкторская иерархия реализуется в нескольких уровнях разукрупнения аппаратуры, габаритные размеры которых стандартизированы и предполагает последовательное объединение более простых конструктивных узлов в более сложные.

#### **Плюсы иерархии:**

- 1) при разделении всей конструкции на отдельные конструктивно законченные части появляется возможность организовать одновременное изготовление отдельных частей и тем самым сократить длительность общего цикла изготовления;
- 2) возникает возможность разбраковки на уровне отдельных узлов;
- 3) облегчается доступ к отдельным частям конструкции и повышается ремонтпригодность.

#### **Минусы иерархии:**

- 1) потеря плотности упаковки;
- 2) увеличение масса - габаритных размеров;
- 3) увеличение стоимости из-за необходимости дополнительных работ по сборке и монтажу.

### **Конструкторская иерархия элементов, узлов и устройств Электронной аппаратуры**

Различают пять следующих уровней (КТУ – 0).

Исходные неделимые унифицированные элементы, в создании которых не вкладывается труд конструктора разработки аппаратуры:

- покупные электрорадиоэлементы (ЭРЭ)
- интегральные микросхемы

#### Уровень 1 (КТУ – 1)

К этому уровню относятся ячейки, типовые элементы замены (ТЭЗ)

Эти конструктивные единицы объединяют элемент 0-го уровня в схемные сочетания, имеющие более сложные функции.

Эти конструктивные единицы не имеют лицевой панели и содержат единицы, десятки, а иногда и сотни элементов 0-го уровня.

Типичным представителем КТУ – 1 является плата с печатным или проводным мон-

тажом и с установленными на ней функциональными элементами, элементами коммутации, крепление и т.п.

К этому уровню относятся гибридные большие интегральные схемы (БГИС) полученные путем механического и электрического объединения обычных безкорпусных микросхем ( и кристаллов полупроводниковых приборов) на общей плате.

#### Уровень (КТУ – 2)

Конструктивные единицы представляющие собой механическое и электрическое объединение элементов уровня – 1 (КТУ – 1)

#### Блоки, субблоки, панели

Части единицы этого уровня содержат лицевую панель не имеющую самостоятельного применения

#### Уровень 3 (КТУ – 3)

Конструктивные единицы в виде стойки или шкафа, заполняемых единицами КТУ – 2 , элементами их крепления и монтажа

#### Уровень 4 (КТУ – 4) Комплекс

Совокупность шкафов (стоек) соединенных в единое целое кабелями связи (система).

В настоящее время существует большое число единых унифицированных систем типовых конструкций предназначенных для различных видов аппаратуры, в том числе базовые несущие конструкции радиоэлектронной аппаратуры. Система унифицированных типовых конструкций государственной системы приборов и устройств автоматизации, конструкционная система телевизионной студийной аппаратуры, конструкционная система самолетной аппаратуры и т.д.

Многие солидные фирмы, например зарубежные типа IBM , для больших серий однотипной аппаратуры применяют собственную типовую конструкционную систему. В России ЕС ЭВМ, СМ ЭВМ, Евромеханика. Международные стандарты МЭК 297 .Микропроцессорная конструкционная система за рубежом САМАК (США) , Intermas (Германия), была внедрена система КАМАК в России.

### **Задачи монтажно-коммуникационного и топологического конструкторского проектирования**

Главной особенностью современного конструирования электронной аппаратуры является использование функционально-узлового метода, при котором сложные функциональные узлы составляются из простейших функциональных узлов, каждый из которых располагается на одной ПП.

Данный метод имеет много преимуществ и, в частности, открывает большие возможности для автоматизации конструирования. Ниже приводится алгоритм разработки конструкций функционального узла выполняемого на печатной плате.

Наиболее трудоёмкими, рутинными задачами, которые приходится решать при современном конструировании электронной аппаратуры, являются задачи монтажно-коммуникационного и топологического проектирования.

Основными задачами монтажно-коммуникационного и топологического проектирования являются следующие задачи:

- 1) покрытие;
- 2) разрезание на части;
- 3) компоновка;
- 4) размещение;
- 5) трассировка.

Качество решения этих задач определяет практическая реализация функции вида:

$$K=f(K_n, K_k, K_p, K_{tr}),$$

где  $K_n$ ---показатель качества покрытия,

$K_k$ ---показатель качества компоновки,

$K_p$ ---показатель качества размещения,  
 $K_{тр}$ ---показатель качества трассировки,  
Рассмотрим каждую из этих задач подробнее.

### **Задача покрытия**

Задача данного класса решается в двух аспектах:

- 1) формирование (определение) оптимального типового набора модулей, собственно для выполнения покрытия (типизация, унификация);
- 2) покрытие функциональных схем модулями (элементами) полученного в предыдущем пункте набора.

Данная задача состоит в осуществлении преобразования функциональной схемы в электрическую, т. е. покрытие функциональной схемы модулями из заданного набора. При этом функциональная схема превращается в схему соединения выводов конструктивных элементов (резисторы, конденсаторы, транзисторы, интегральные схемы и т. п.).

В связи с большим многообразием элементов, наряду с задачей покрытия часто возникает необходимость определения оптимального набора этих элементов для каждого конкретного типа схем, минимизация числа типов элементов набора в проектируемом устройстве.

### **Качество покрытия**

Исходными данными для решения задачи покрытия являются:

- функциональная схема устройства;
- перечень типовых элементов используемого набора модулей;
- результат – принципиальная схема;

Необходимо найти:

---такое распределение функций покрываемой электрической схемы по функциям отдельных конструктивных элементов, при котором достигается экстремум целевой функции. При этом в качестве целевой функции используются критерии оптимизации. Чаще всего используются следующие.

Виды критериев:

- 1) общее число модулей, необходимое для реализации схемы проектируемого устройства;
- 2) суммарная стоимость модулей, покрывающих схему проектируемого устройства;
- 3) число типов используемых модулей;
- 4) число межмодульных соединений и т. п.

### **Разрезание на части**

Работа начинается с анализа электрических схем. На основании этого анализа выбирается типовой элемент замены (ТЭЗ) и рассчитываются его размеры.

Схемное содержание типового элемента по возможности должно быть функционально законченным, обеспечивая тем самым независимость электрической проверки. Далее осуществляется объединение типовых элементов в блоки, шкафы и т. д.

При разрезании:

- 1) количество связей между типовыми элементами должно быть минимальным (минимизация штырьков штепсельного разъёма);
- 2) количество типов элементов должно быть минимальным (типизация).

### **Задача компоновки и размещения**

Слово «компоновка», в переводе с греческого языка, означает---«складывать», «составлять».

Задача компоновки---распределение элементов схем по конструктивным и функциональным узлам различного уровня сложности.

Задача может решаться в одном из двух вариантов:



а) снизу-вверх---последовательное объединение по возрастанию сложности (плата---панель---стойка---устройство---система);

б) сверху-вниз---последовательное разбиение узлов высокой сложности на узлы меньшей сложности.

Разнообразие методов компоновки приводится ниже:

1) принципиальную электрическую схему в приборе следует разбивать на функционально законченные части;

2) размер наиболее крупной функциональной части должен быть таким, чтобы в ней содержалось более 200 штук ИС. При этом суммарная тепловая мощность рассеивания не будет принимать 10Вт, что позволяет обеспечивать естественными способами охлаждения нормальный тепловой обмен;

3) целесообразно в пределах одной функциональной части (в пределах одной платы) выделять функционально самостоятельные подчасти.

Основные критерии:

---число элементов в узле, число внешних связей;

---суммарная площадь, занимаемая элементами.

Наиболее часто используют критерий внешних связей.

Задача компоновки заключается в распределении элементов устройства по блокам. В качестве элементов могут выступать корпуса микросхем, а в качестве блоков--- типовые элементы замены (ТЭЗы), связанные друг с другом с помощью разъёмных соединений. При такой организации конструкции устройства, очевидно, что количество соединений между блоками должно быть как можно меньшим,---при этом упрощается конструкция и возрастает помехоустойчивость.

Задача компоновки обычно включает в себя как собственно компоновку, так и размещение элементов друг относительно друга. При этом главная задача---обеспечить нормальное функционирование независимо от паразитных связей.

Задача компоновки здесь состоит в том, что определяется число элементов, которое может быть включено в модуль.

Причины влияния элементов друг на друга:

1) энергетическое несовершенство элементов по преобразованию энергии источников питания в энергию выходного сигнала, т. е. паразитное тепловыделение элементов в процессе функционирования, для устранения которого требуется снизить связи (разнести элементы друг от друга, создать теплоотводы и т. д.);

2) емкостные и индуктивные элементы требуют для нормальной работы определённого объёма пространства, в котором возникают электрические и магнитные поля. Это требует, в свою очередь, создания экрана и т. п.

3) Таким образом, при установке элементов, приходится учитывать не фактические геометрические их размеры, а размеры несколько большие, учитывающие все вышеуказанные особенности функциональных элементов; учитывать обобщающую геометрическую модель (ОГМ);

4) необходимость обеспечения хороших условий по монтажу, настройке, ремонту отдельных устройств, необходимость обеспечения доступности, легкосъёмности и т. п.

### **Задача размещения элементов**

После того, как решена задача компоновки, требуется расположить элементы, скомпонованные в одном подразделении. Действительно, от того, как будут размещены элементы (например, микросхемы) в определенной печатной плате, зависит длина соединительных проводов, от которых, в свою очередь, зависит уровень помех и время распространения сигналов. Таким образом, быстродействие и помехоустойчивость всего устройства при заданной принципиальной схеме в большей степени определяется расположением микросхемы на печатной плате.

В процессе размещения уплотняются электромагнитные и температурные поля, паразитные связи.

Задача размещения состоит в том, что внутри каждого, полученного после компоновки узла, осуществляется отыскание такого взаимного расположения элементов, которые исключает влияние паразитных связей между ними.

Наибольшее распространение получили критерии размещения, позволяющие:

- 1) минимизировать измеряемую длину всех соединений схемы;
- 2) минимизировать число полученных проводников.

### Классификация методов компоновки

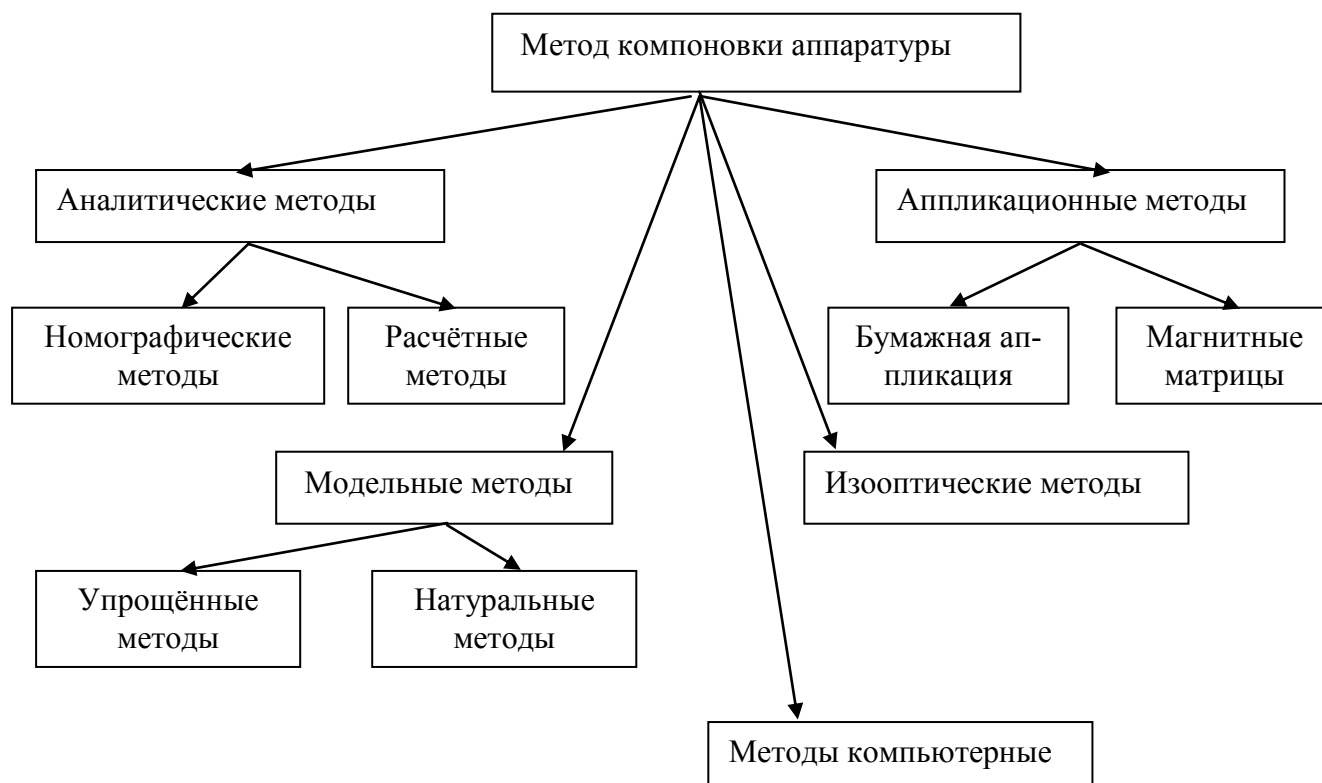


Рис. 27

### Аналитическая компоновка.

#### Расчётные методы

Необходимость учёта условий эксплуатации, электрических, магнитных и тепловых полей возникающих паразитных связей---основная сложность компоновки печатной платы.

Этот учёт требует очень сложного расчёта так называемых обобщённых геометрических моделей (ОГМ), геометрически учитывающих все перечисленные факторы.

Поэтому в инженерной практике чаще всего пользуются упрощёнными моделями элементов. Таковыми являются  $V_{уст}$  и  $S_{уст}$ .

При небольших нагрузках (по мощности)  $K_{нагр}=(0,1 \dots 0,3)$ Вт. Размеры ОГМ берутся:

$$V_{уст}=1,5 \cdot X_{max} \cdot Y_{max} \cdot Z_{max},$$

$$S_{уст}=1,3 \cdot X_{max} \cdot Y_{max}.$$

При значениях  $K_{нагр}>0,3$  эти объёмные и плоскостные модели применять нельзя и применяются более сложные расчёты.

### **Номографическая компоновка**

Компоновка основана на использовании номограмм таблиц, исключающих необходимость вычисления установочных параметров отдельных элементов. Готовые численные значения берутся из номограмм.

### **Модельная компоновка**

Используются пространственные модели:

- а) плоскостные;
- б) объёмные. } по размерам элементов

Изготавливаются в виде упрощённых геометрических форм: кубов, цилиндров, параллелепипедов.

Используются материалы:

- пенопласт на клею;
- магнитные кубики.

### **Натуральная компоновка**

Используются макеты из реальных элементов, соединённых в полном соответствии с принципиальной схемой прибора.

### **Машинная компоновка**

Используются компьютерные пакеты обеспечивающие использование принципов перебора и оценки возможных вариантов расположения элементов и возможных мест трассировки соединений (при минимизации суммарной длины трасс).

### **Аппликационная компоновка**

В основе метода:

на тонком картоне, плотной бумаге или миллиметровке вычерчивают необходимые проекции элементов. Количество проекций зависит от сложности элементов РЭА. (рис. )

Для малогабаритных элементов аппликации вычерчивают в увеличенном масштабе (2:1, 5:1 и более), а для крупногабаритных---в уменьшенном. Затем вырезают по контуру изображения элементов, которые и будут собственно аппликациями.

Если элемент имеет несколько разнохарактерных выходов, или его части могут перемещаться в пространстве (в процессе работы), то все эти особенности необходимо учесть при вычерчивании его аппликации.

После подготовки необходимого количества аппликаций на листе ватмана, бумаге с координатной сеткой, или миллиметровке заданных размеров начинают раскладывать аппликации в соответствии с требованиями принципиальной схемы, условиями эксплуатации, тепловыми режимами и т. п. Если полученный эскиз удовлетворяет требованиям монтажа, то производят расчёт паразитных связей, тепловых режимов и т. п.

**Тимплеты**---магнитные аппликации.

### **Изооптическая компоновка**

- 1) Используется специальная термочувствительная подгонка, на которую расставляются термомодули элементов. При этом на подложке видно в цвете термополе отдельных элементов
- 2) Можно подложку накладывать на реально работающие элементы и наблюдать поля. Цвет характеризует температуру ( $t^{\circ}\text{C}$ ).

### **Трассировка межсоединений**

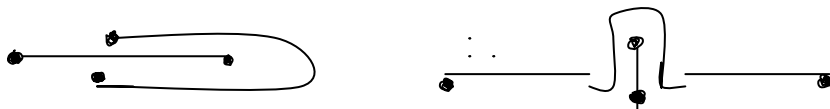
Данная задача состоит в определении трасс соединений между выводами блоков в соответствии с принципиальной схемой и с учётом конструктивных ограничений. При этом

под трассой понимается множество связанных отрезков соединяющих части одной электрической цепи.

Важнейшей задачей трассировки является задача проведения печатных проводников трассировки печатных плат--- это одна из самых трудоёмких задач конструкторского проектирования.

Задача трассировки распадается на следующие этапы:

- 1) составление схемы соединений;
- 2) составление кратчайших соединений между элементами;
- 3) указание порядка трассировки



- 4) распределение по слоям платы;
- 5) минимизация числа пересечений в одном слое.

Наиболее распространёнными критериями являются:

- минимум суммарной длины трасс;
- минимум числа соединений трасс длины больше заданной;
- минимум числа переходов между слоями;
- минимум числа слоёв платы;
- минимум паразитных помех.

## Лекция №9

### Обобщенный алгоритм разработки конструкции прибора.

Последовательность действий разработчика по выбору рационального конструкторского решения проектируемого прибора можно представить в виде следующего обобщенного алгоритма (см. рис. 27).

При разработке печатного узла решаются следующие задачи:

- 1) Схемотехническая – трассировка печатных проводников, минимизация числа слоев и т.д.
- 2) Задачи по помехоустойчивости – расчет паразитных наводок, экранировка.
- 3) Теплотехнические – температурный режим печатной платы, тепло отвод и т.д.
- 4) Конструктивные – размещение элементов на печатной плате, посадочные элементы, конструкции подвески
- 5) Технологические – выбор метода изготовления, защита от внешних факторов.

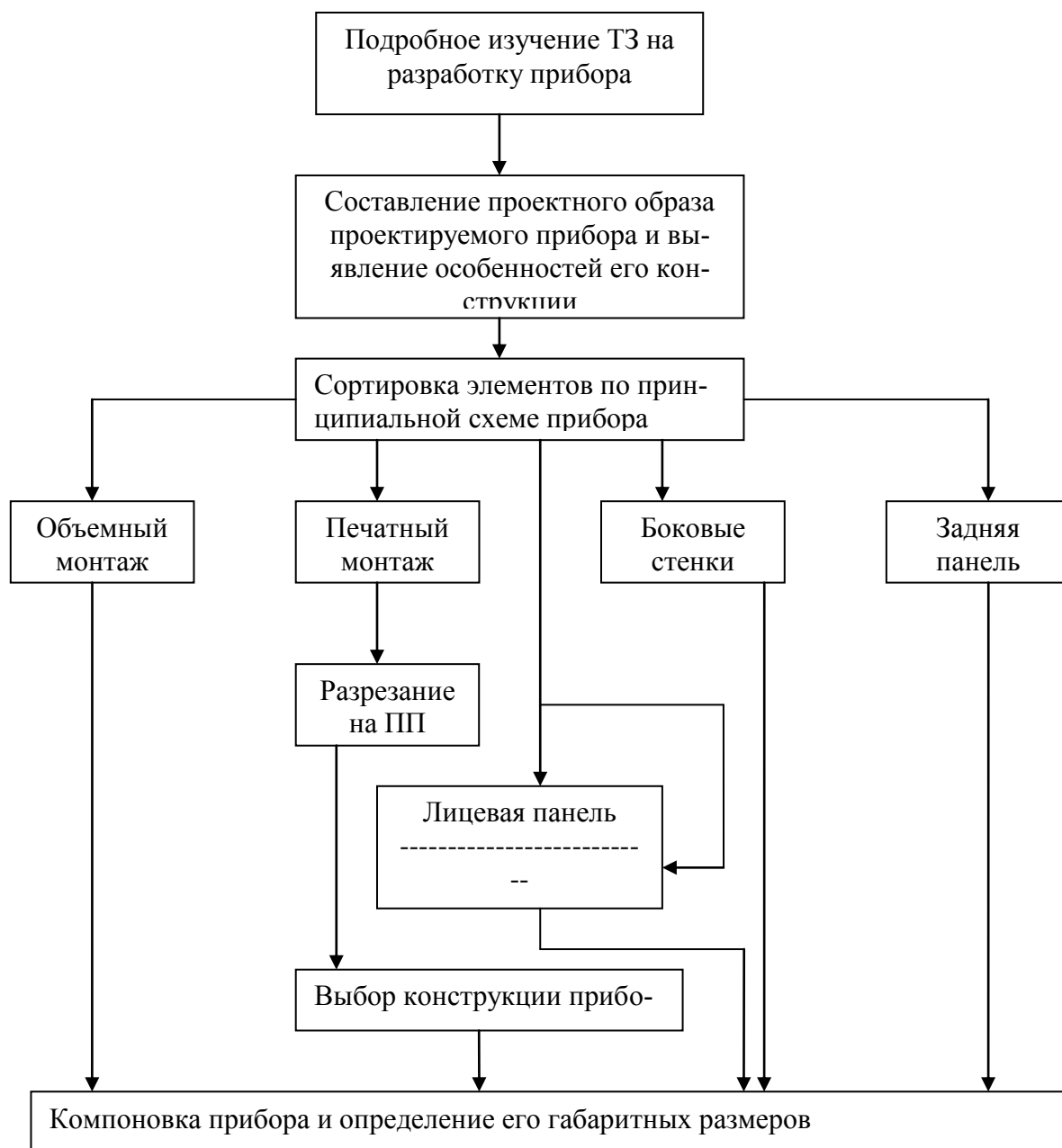


Рис. 27

**Алгоритм разработки конструкции печатного узла.**

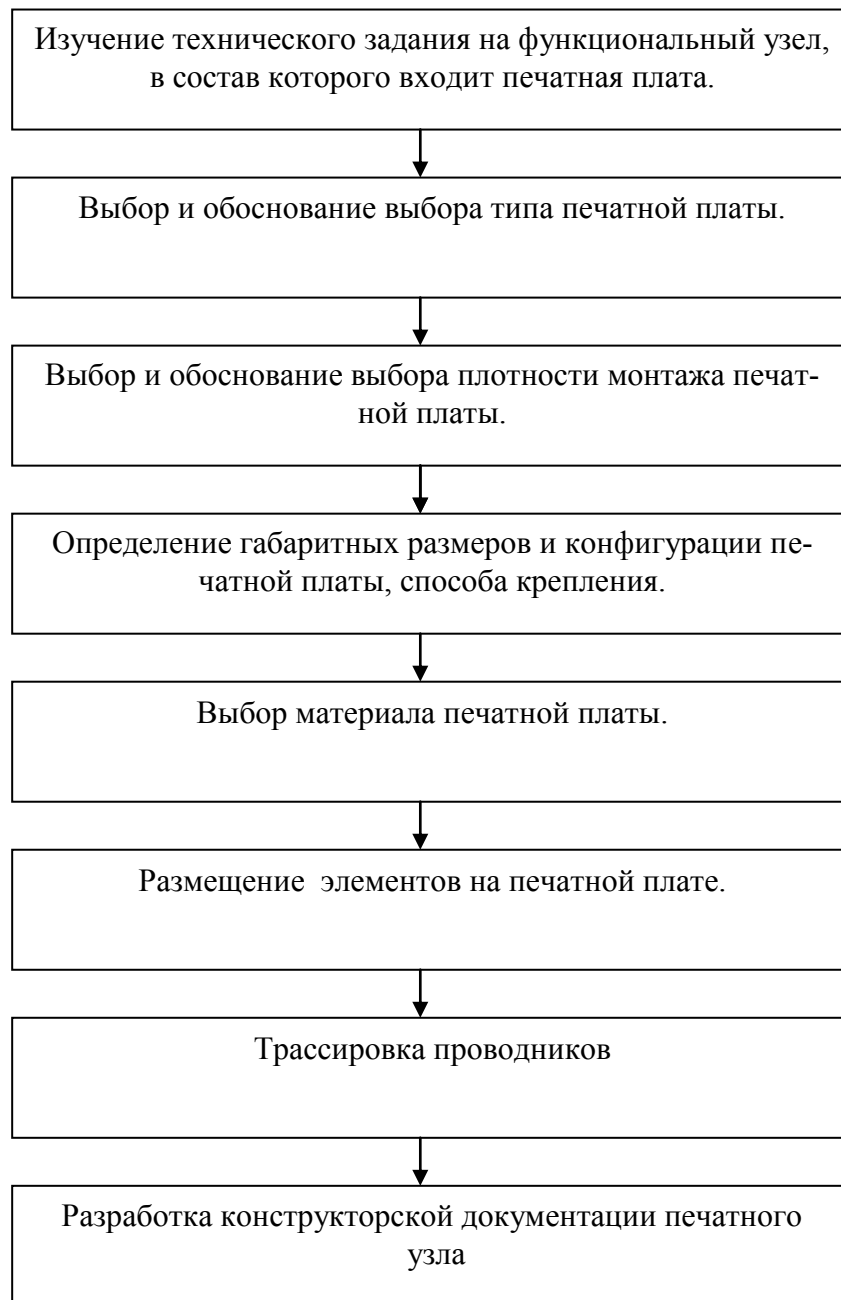


Рис. 28.

## Выбор и обоснование выбора типа печатной платы



Рис. 29.

### **Достоинства ОПП и ДПП**

Простота и низкая трудоемкость изготовления. Высокая точность выполнения проводящего рисунка

### **Недостатки ОПП и ДПП**

Низкая плотность размещения элементов, большие габариты, значительная масса

### **Достоинства МПП**

Большая плотность монтажа

### **Недостатки МПП**

Высокая сложность и стоимость изготовления. Пониженная точность выполнения проводящего рисунка.

ка.

## Классификация материалов для печатных плат (ПП).

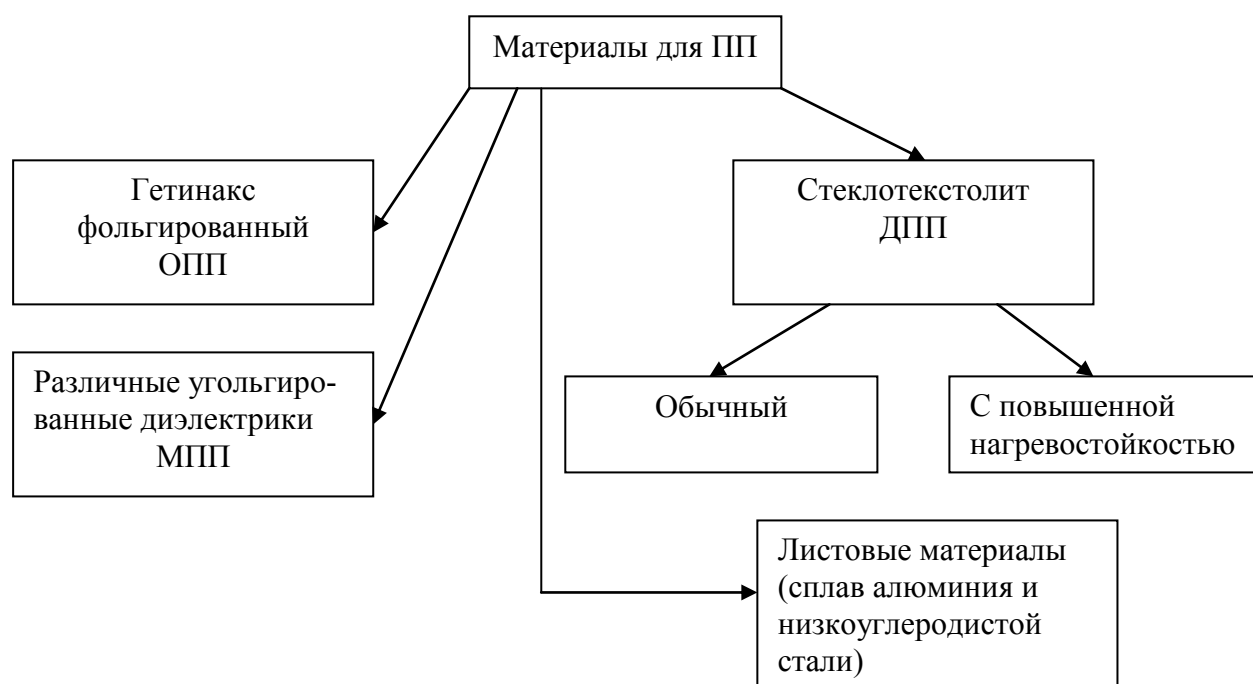


Рис. 30.

### Свойства материалов для ПП

Основные свойства материалов ПП которые учитываются при их выборе и соотносятся с ожидаемыми условиями эксплуатации и способами изготовления:

#### 1. Механические свойства

- прочность на изгиб и ударную вязкость
- температурный коэффициент линейного расширения
- механическая деформация под нагрузкой
- максимальные рабочие температуры
- время пайки
- прочность проводящего слоя на отрыв
- геометрические размеры (габаритные размеры ПП)

#### 2. Электрические свойства

- сопротивление изоляции
- диэлектрическая постоянная

Наибольшее распространение (при отсутствии особых требований) получили гетинакс и стеклотекстолит.

Гетинакс - самый дешевый вид материала, поэтому используется до последнего времени особенно в бытовой аппаратуре. Отдельные виды горят. Плохо переносят перегрев, хрупок. Средние электрические свойства.

Стеклотекстолит - высокая прочность и электрические свойства. Наиболее предпочтителен.

Листовой металл – обладает высокой теплопроводностью

### Выбор материала печатной платы

Для ОПП и ДПП в основном применяется гетинакс и стеклотекстолит. Для МПП фольгированный диэлектрик (как правило с фольгированным проводящим слоем).



### **Параметры характеризующие плотность печатного монтажа**

По плотности печатного монтажа печатные платы разделяют на две группы:

Тип А – пониженная плотность монтажа

Тип В – повышенная плотность монтажа

Плотности печатного монтажа характеризуются численными значениями нескольких параметров, основными из которых являются следующие:

$t$  – ширина печатного проводника

$S$  – расстояние между печатными проводниками

$S_0$  – расстояние между контактными площадками или печатными проводниками или контактной площадкой

$d$  – диаметр отверстий

$d_k$  – диаметр контактной площадки

От плотности печатного монтажа зависит точность выполнения проводящего рисунка.

Принято характеризовать точность выполнения проводящего рисунка печатной платы классом точности, который связан с размещением элементов проводящего рисунка в узком месте.

Существует четыре класса точности, каждой из которых характеризуется своими государственными численными значениями вышеуказанных параметров ( $t$ ,  $S$ ,  $S_0$ ,  $d$ ,  $d_k$  и т.п.)

#### **Основные значения параметров**

- ширина печатного проводника берется обычно от 0,5 до 12 мм.
- если ширина проводника берется более 12 мм то необходимо делать вырезы т.е. проводник делается в виде сетки. Это делается для того чтобы не скапливался припой (вес, габариты)
- допустимая ширина печатного проводника определяется плотностью электрического тока протекающего по нему. Предельно допустимым значением плотности тока является 1,5 А/мм. При этом максимальный нагрев проводника не превышает 80°C
- длина печатного проводника определяется допустимой паразитной емкостью, индуктивностью и сопротивлением изоляции
- рекомендуется брать длину печатного проводника не более 100 мм
- наименьшее допустимое расстояние между печатными проводниками определяется паразитными помехами и составляет
  - а) постоянный ток до 150В – 0,6 мм
  - б) переменный (сетевой) от 60 до 250 вольт – 2-3 мм

Рекомендуется использовать первый класс точности. Толщина печатной платы обычно берется 1мм и 1,5 мм.

#### **Достоинства и недостатки классов точности**

Первый класс – наименьшая плотность (тип А) высокая плотность изображения

|                 |   |  |
|-----------------|---|--|
| Второй класс    | } | плотность повышенная (класс В)<br>сложность обеспечения точности<br>изготовления |
| Третий класс    |   |  |
| Четвертый класс |   |  |

## **Лекция №10. СЧМ.**

Основной и наиболее существенной особенностью технических систем является то, что все они создаются для удовлетворения тех или иных потребностей человека, т.е. основные их характеристики сориентированы, направлены на человека. И чем полнее, качественнее удовлетворяются эти потребности, тем более совершенной считается техническая система.

Итак, любая техническая система работает на человека, на удовлетворение его потребностей. При этом естественно возникает необходимость тщательного изучения самого человека, его особенностей, его возможностей, его "рабочих" характеристик. Необходимо осуществлять подгонку аппаратуры под способности, возможности человека, а не наоборот.

Таким образом, проектирование технических систем представляет собой сложную задачу требующего хорошего знания и понимания двух полюсов: техника с одной стороны и человека с другой стороны. Усложнение технических систем привело к тому, что сам процесс функционирования многих из них очень тесно связан с человеком и порой человек является как бы составной неотъемлемой частью системы, одним из ее блоков, таким блоком, без использования которого применение системы по назначению становится либо малоэффективным, либо бессмысленным, либо даже невозможным (например автомобиль, измерительный прибор и т.п.) Весьма характерной в этом смысле является медицинская диагностическая и особенно терапевтическая аппаратура, использование которой без пациента (без человека) не имеет смысла. Таким образом, перед инженером-проектировщиком стоит достаточно сложная проблема -создание технической системы типа СЧМ (система человек-машина). Взаимодействие человека-оператора с системой при ее эксплуатации осуществляется через конструкцию аппаратуры и происходит по определенным закономерностям, связанным с психофизиологическими возможностями человека, конструктивными особенностями аппаратуры и факторами окружающей среды.

Структурная схема системы типа СЧМ имеет следующий вид (см.рис.31):

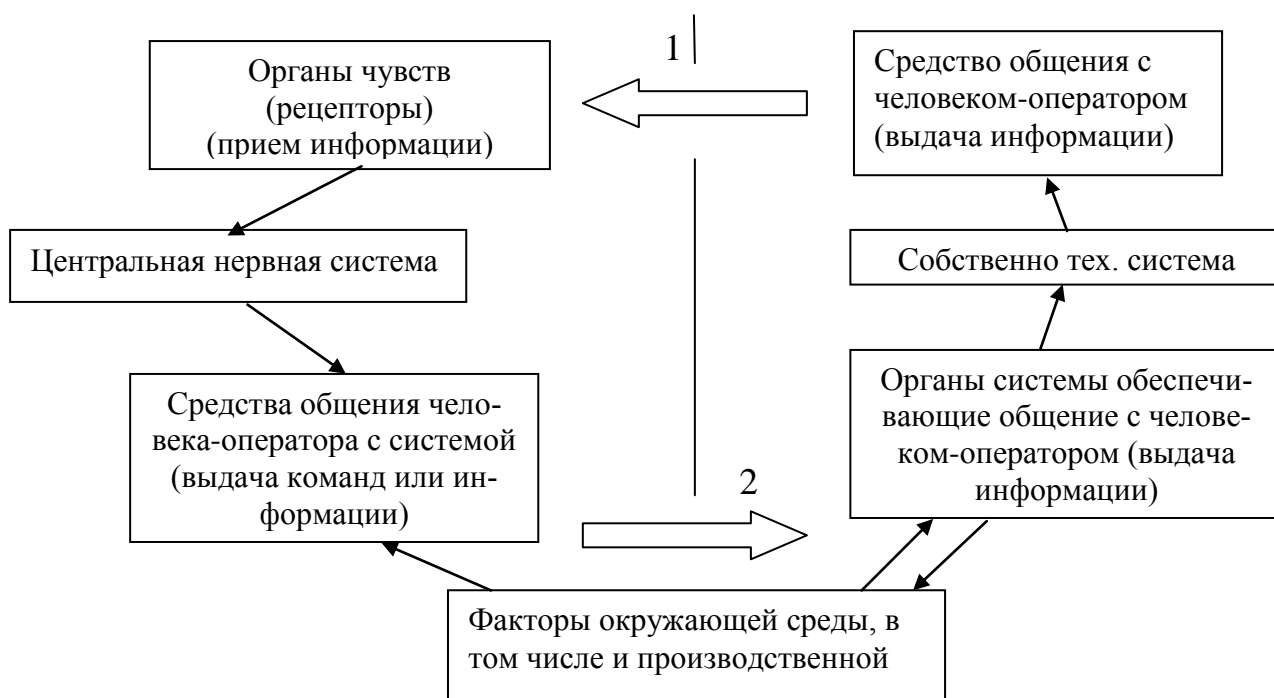


Рис. 31.

Характерной особенностью СЧМ является наличие в ней двух участков взаимодействия: 1 и 2. Участок 1 обеспечивает восприятие человеком информации, которая отображается индикаторными элементами аппаратуры; участок 2 - связь между органами движения человека и органами управления аппаратуры. Очевидно, что нормальное функционирование СЧМ возможно только в том случае, если создано оптимальное согласование составных частей системы на этих участках в условиях воздействующих факторов. Такое согласование осуществляется не только системным, схемотехническим решением, но и выбором соответствующей конструктивной реализации аппаратуры.

#### Отличие СЧМ от обычных технических систем.

Технические системы, в состав которых входит человек-оператор принято относить в отличии от обычных технических систем к классу систем человек-машина (СЧМ). Системы этого класса в отличии от чисто технических систем характеризуются рядом особенностей, обусловленных деятельностью человека-оператора. Основным из них являются следующее-

##### 1. Универсализм.

Каждая конкретная система предназначена для выполнения ограниченного числа заранее известных задач. Человек в принципе может выполнять множество разных задач и различными способами. Поэтому и СЧМ также обладает более широкой универсальностью, которая проявляется в том, что человек может, используя по-новому те или иные свойства системы применять ее для решения других задач, которые не планировались при проектировании системы и не предусматривались инструкцией.

## 2. Повышенная адаптивность.

Адаптивность СЧМ заключается в значительно большем диапазоне приспособляемости системы к изменяющимся условиям функционирования. Эта приспособляемость осуществляется двумя путями - изменениями алгоритмов работы системы и изменениями характеристик системы по отношению к входным сигналам. Наличие первого пути позволяет человеку с помощью машины решать одну и ту же задачу посредством разных алгоритмов. Второй путь характеризуется значительным диапазоном приспособления человека к изменяющимся входным сигналам.

## 3. Высокая помехоустойчивость.

Благодаря наличию у человека информационных каналов с разными уровнями помехоустойчивости (зрение, слух и т.д.) возможно использование дублирующего восприятия для повышения помехоустойчивости системы.

## 4. Повышенное резервирование.

Возможность контроля и даже выполнения функции отдельных элементов системы человеком-оператором.

## 5. Изменчивость.

Способность работать по разному при изменении условий работы и состояния человека (болезни, утомление).

## Плюсы и минусы включения человека в состав технической системы.

Основные плюсы - высокое совершенство и универсальность человека.

Основные минусы - большое количество (по сравнению с техникой) промахов, ошибок, неточностей (например, по причине утомления).

Большой процент числа отказов сложных систем происходит из-за ошибок допущенных оператором (40% в ракетной технике, 63,5% в ВМФ и до 70% в ВВС, по сообщениям ВВС США отмечалось, что ошибки человека-оператора были причиной 234 из 313 воздушных катастроф в 1961г. Статистика показывает, что от 20% до 50% повреждений оборудования происходит по вине человека).

Комплексный, системный подход к изучению систем типа СЧМ явился методологической основой рождения новой отрасли знания - эргономики. Термин эргономика (греческое слово: ergon - работа + nomos - закон) был принят в Англии в 1945году, когда группа английских ученых положила начало организации эргономического исследовательского центра. В СССР 20-х годах был принят термин эргономия, а в настоящее время принят [английский\_термин]. В Германии принят термин антропотехника.

Разумеется, в той или иной степени указанные проблемы ставились и ранее, некоторые из них находили известное решение в исследованиях психологии, физиологии и гигиены труда. В ходе этих исследований усиливалось взаимодействие названных наук, возникла необходимость взаимопроникновения некоторых из них.

Изучение и проектирование систем "человек-машина-среда" создали предпосылки для объединения технических дисциплин и наук о человеке и его трудовой деятельности, что обусловило появление новой психофизиологической проблематики. Эргономика сложилась на стыке психологии, физиологии, гигиены труда и технических наук. Все они, за исключением технических наук, изучают один и тот же объект, но при этом рассматривают человека в труде с разных точек зрения и пользуются для этого разными методами.

С точки зрения гигиены труда рассматриваются вопросы влияния условий труда и производственной среды на организм человека, вопросы профилактики и охраны труда.

С точки зрения физиологии рассматриваются вопросы изменения функционального состояния организма человека под влиянием его трудовой деятельности, фи-

физиологическому обоснованию организации трудового процесса, длительному поддержанию работоспособности оператора (физиология труда).

Инженерная психология - область психологической науки, изучающая психофизиологические возможности человека при его деятельности в СЧМ.

Рассматриваются вопросы влияния психической напряженности, утомления, эмоциональных факторов, особенностей нервно-психологической организации человека на эффективность его деятельности в системе СЧМ.

Таким образом, эргономика – научная дисциплина, комплексно изучающая человека (группу людей) в конкретных условиях его (их) деятельности, связанной с использованием технических средств (машин).

Основные задачи решаемые эргономикой:

1. Распределение функции между человеком-оператором и машиной-техникой.
2. Проектирование информационных моделей (связь человека и машины).
3. Проектирование условий обитаемости.
4. Проектирование рабочего места оператора.
5. Организация трудовой деятельности оператора.
6. Отбор операторов.
7. Обучение, тренировка операторов.

Основные эргономические показатели системы типа СЧМ.

Специфика и большое своеобразие систем типа СЧМ проявляется в том, что для их характеристики используется целый ряд особых показателей, отражающих эргономические особенности.

Основными эргономическими показателями являются:

1) Гигиенические показатели, характеризующие гигиенические условия жизнедеятельности и работоспособности человека при его взаимодействии с техникой и средой. Они определяются соблюдением норм метеорологической среды и микроклимата и ограничивают отрицательное воздействие вредных факторов внешней среды, то есть содействуют удовлетворению важнейших биологических потребностей человека, без чего деятельность оператора будет протекать крайне неэффективно. Эти показатели охватывают целый ряд аспектов: освещенности, температуры, влажности, давления, радиации, токсичности, шума, вибрации, гравитационной перегрузки, ускорения и т.п.

2) Антропометрические показатели определяют соответствие машины антропометрическим свойствам человека, то есть типичным характеристикам: размеры, вес и форма человека и его отдельных частей тела. Они должны также определять физиологически рациональную позу, способствующую эффективному выполнению человеком оперативной задачи и предохранения мозга его от быстрого утомления.

3) Физиологические показатели – определяют соответствие машины физиологическим свойствам человека, например, биохимическим (силовым, скоростным).

4) Психофизиологические показатели - определяют соответствие машины особенностям функционирования органов чувств человека (порогу слуха и зрения, порогу осязания, обоняния и т.п.).

5) Психологические показатели - определяют соответствие машины психологическим особенностям человека (психология труда, общая психология - особенности восприятия, памяти, психомоторики мышления, образование и закрепления навыков и т.п.)

6) Социально-психологические показатели - определяют соответствие конструктивного решения технической системы и организации рабочих мест, характеру и степени группового взаимодействия, межличностных отношений.

Эргономичность техники.

Основные составные части Эргономичности техники.

Раскроем содержание понятия "эргономичность техники". Ниже изображена схема эргономических свойств технических систем (техники), см.рис. Эргономичность складывается из ряда эргономических составных частей (свойств), к которым относятся управляемость, обслуживаемость, осваиваемость и обитаемость. Первые три описывают свойства тех-

ники, при которых она органично включается в оптимальную психофизиологическую структуру деятельности человека (группы людей) по управлению, обслуживанию и освоению техники. Под обитаемостью понимается эргономическое свойство техники, при котором условия ее функционирования приближаются к оптимальным с точки зрения жизнедеятельности работающего человека (группы людей), а также обеспечиваются уменьшение или ликвидация вредных последствий функционирования техники для окружающей среды. Эргономические свойства техники представляют собой определенные предпосылки, возможности деятельности человека, относящиеся к ее объективным условиям.

### **Классификация СЧМ**

Пока не существует общепринятой единой системы классификации СЧМ. Существует несколько способов классификации:

- по функциям выполняемым оператором
- по числу действующих операторов
- по назначению СЧМ
- по способу обработки информации
- по особенностям обмена информацией между СЧМ и оператором
- по особенностям оборудования пункта оператора.

Наиболее распространённые из них являются следующие классификации:

1. Классификация систем по функциям, выполняемым оператором:

- а) системы первого рода, в которых функционирование СЧМ осуществляется в основном автоматически, а оператор подключается к работе эпизодически.
- б) системы второго рода, деятельность оператора заключается в разрешении непрерывной цепи, возникающих у него задач.

2. Классификация по числу, действующих операторов:

- один оператор
- несколько операторов

При этом в зависимости от уровня решаемых в процессе работы операторами задач, различают следующие разновидности СЧМ:

- а) уровень выполняемых задач одинаковы для любого оператора
- б) иерархический уровень деятельности операторов

3. Классификация СЧМ по их назначению содержит очень большое разнообразие систем:

- по способу обработки информации
- по особенностям обмена информацией между СЧМ и оператором
- по особенностям оборудования пункта оператора.



| Основные свойства эргономичности техники  |   |   |   |
|---|---|---|---|
| Управляемость   | Обслуживаемость   | Освояемость   | Обитаемость   |
| <p>Соответствие распределения функций между человеком (группой людей) и техникой, оптимальная структура их взаимодействия при достижении поставленных целей.</p> <p>Соответствие конструкции технического объекта (или отдельных его элементов) и организации рабочего места оптимальной психофизиологической структуре деятельности по его управлению.</p> <p>Соответствие содержания задаваемой техникой деятельности по управлению, оптимальному уровню сложности и разнообразия действий человека. Соответствие задаваемой техникой напряженности деятельности, минимальной напряженности, при которой достигается наивысшая эффективность управления. Соответствие задаваемых техникой режимов трудовых процессов оптимальной временной структуре действий работающих людей.</p> | <p>Соответствие конструкции технического объекта (или отдельных его элементов) оптимальной психофизиологической структуре деятельности по его эксплуатации, обслуживанию и ремонту.</p> | <p>Заложенные в технике возможности быстрого ее освоения (приобретения необходимых знаний, умения и навыков управления). Задаваемые техникой требования к уровню развития профессионально значимых психофизиологических функций человека. Задаваемые техникой требования к характеру и степени группового взаимодействия при ее управлении.</p> | <p>Соответствие условиям функционирования техники биологически оптимальным параметрам рабочей среды, обеспечивающим человеку нормальное развитие, хорошее здоровье и высокую работоспособность. Возможность уменьшения или ликвидации вредных для природной среды условий функционирования техники.</p> |

## Лекция № 11

### Что учитывается при распределении функций между СЧМ и оператором.

При разработке систем типа СЧМ возникает задача распределения функций этой системы между техникой и человеком. При этом вопрос ставится так, что поручить делать машине и что (как функции системы) отдать в сферу действия человека.

В проблеме распределения функций между человеком и машиной переплелось большое число существенных человеческих и машинных факторов, которые необходимо учитывать при проектировании систем "человек-машина". Первым выделил проблему распределения функций инженер психолог К. Крейк (1945 г.). Более четко ее сформулировал П. Фитс (1951 г.), который предложил конкретный перечень из двух пунктов, в котором давалось сравнение основных преимуществ человека и машины с точки зрения в системе их использования в системе управления (по скорости, мощности, памяти и т.д.). В последующие годы сформулировался ряд вполне определенных критериев распределения функций между человеком и машиной, которые используются при проектировании сложных систем и оправдали себя на практике.

Сложилось такое положение, когда многие функции в системе "человек-машина" может успешно выполнять как человек, так и техническое устройство. Отсюда вытекает большая принципиальная проблема: какую функцию в системе управления поручить человеку, а какую машине, чтобы обеспечить их целесообразное взаимодействие и эффективную работу системы? Целесообразность организации той или иной действующей системы "человек-машина" сейчас может оцениваться по тому, насколько выполняемые в ней человеком и машиной функции соответствуют их возможностям.

Для качественного решения данного вопроса необходимо учитывать следующее:

1. Человек-оператор обладает несравнимо большим многообразием способов и программ действий по сравнению с машиной.

а) техническое устройство действует по вполне определённой, заранее заданной схеме и его действие возможно всегда описать алгоритмом, иногда достаточно развитым и универсальным.

Оператор может достигнуть одной и той же цели самыми разнообразными способами, т.к. алгоритмы его работы более гибкие и изменяющиеся.

б) техническое устройство реагирует на определённый комплекс входных сигналов и на его выходе существует некоторый конкретный набор ответных действий.

Человек же воспринимает громадное множество сигналов и располагает бесконечным числом вариантов ответных действий.

в) Каждое техническое устройство в данный момент имеет вполне определённую передаточную функцию, связывающую его входными и выходными сигналами. И если одно устройство заменить на другое, такого же типа, то передаточная функция останется неизменной. Передаточная же функция у каждого человека своя. Она зависит от особенностей его высшей нервной деятельности, от его профессиональных, личностных качеств и существенно изменяется в зависимости от отношения человека к решаемой задаче, от психического и физического состояния и от многих других трудно учитываемых факторов.

2. Человек требует для выполнения предписанных ему функций (операций) определённых условий как внутреннего, так и внешнего типа, при этом качество выполнения человеком ряда операций в реальное время работы системы может быть значительно выше или ниже, чем машиной (в зависимости от содержания выполняемой операции).

3. Человек, работающий в составе СЧМ, является социально ответственным за результаты, получаемые после функционирования системы.

Ни одно устройство такой социальной ответственности не несёт.

4. Человек может делать далеко не всё, поэтому зачастую применение технических устройств является необходимым. Однако, следует знать, что замена человека техникой не всегда целесообразна (даже тогда, когда принципиально это возможно), так часто это бывает очень дорого и не всегда надёжно.



5. Машина, даже очень совершенная, в случае сбоев или одиночных отказов может дать абсурдные результаты.

### **Алгоритм распределения функций (Качественный метод)**

В настоящее время вопрос о распределении функций решается следующим образом:

1. Составляется перечень всех задач и операций, подлежащих решению системой и определяются наиболее вероятные характеристики их появления, а также особенности решения (частота появления, время выполнения и т.д.).

2. Вначале для машины отбираются операции, успешно выполняемые машинами и плохо выполняемые человеком и, наоборот (на основе сопоставительного анализа).

3. Весь остальной перечень операций, подлежащих решению СЧМ, ранжируется (расставляется в ряд) по одному или нескольким важнейшим характеристикам, например:

а) по количеству признаков выполнения каждой операции в зависимости от обстановки (срочность, важность и т.п.)

б) по достоверности информации, используемой при выполнении операций

в) по вероятности появления операций

г) по допустимому времени выполнения операций

д) по логической и вычислительной сложности выполнения каждой операции и т.п.

4. Операции, обладающие наибольшим количеством возможных вариантов выполнения: операции, выполняемые при низкой достоверности информации, а также операции с малой вероятностью их появления в системе и большим допустимым временем выполнения при незначительной логической и вычислительной сложности отдаются предпочтительно человеку – оператору. Операции противоположных свойств отдаются машине.

Указанный путь не обеспечивает получение окончательного варианта распределения функций, а лишь гарантирует сокращение выбираемых вариантов для последующей оценки. Оценка осуществляется по определению уровня качества выполнения распределяемых функций. Результатом этой оценки может быть один из следующих исходов:

1. Машина и операторы выполняют возложенные на них операции с заданным качеством (в этом случае необходимо посмотреть возможность сокращения штатов и затрат на систему).

2. Либо оператор, либо машина не может выполнять все первоначально назначенные операции с заданным качеством (в этом случае следует перераспределить операции).

3. Как оператор, так и машина не могут выполнять возложенные на них операции с заданным качеством (в этом случае следует увеличить расходы на систему или увеличить штат операторов, а может быть сделать и то и другое).

### **Перечень функций, по выполнению которых машина превосходит человека.**

Машина превосходит человека:

- быстротой реакции на сигналы (в 100 тысяч раз быстрее человека).

Если нервной клетке для восприятия единицы информации требуется  $10^{-2}$ с, то элемент ЭВМ выполняет это действие за  $10^{-7}$ с.

- высокой точностью измерения, переработки и выдачи сигналов
- объемом восприятия отдельных сигналов
- способностью хранить информацию без потерь (машина не забывает) и оперативно освобождаться от ненужной информации (не требуется переучиваться)
- точным многократным выполнением повторных стереотипных действий
- надёжностью выполнения длительных и сложных вычислительных операций
- отсутствием усталости и повышенной надёжностью работы в тяжёлых условиях внешней среды, например (шум, высокие или низкие температуры, недостаток кислорода и т.п.)
- высокой пропускной способностью

- способностью выполнять одновременно несколько простейших операций.

### **Перечень функций, по выполнению которых человек превосходит машину.**

Человек превосходит машину:

- широкой избирательностью информационного входа, человек способен воспринимать целые комплексы самых разнообразных признаков предмета, представленных сигналами различных модальностей (зрительной, слуховой, тактильной)
- способностью к гибкой адаптации и наиболее полному отражению объекта
- легкостью преодоления трудности при восприятии неопределенной, двусмысленной информации
- способностью оценивать показатели вероятностного порядка
- константностью восприятия (размеров, формы, цвета) позволяющая ему, независимо от условий предъявления объекта, узнавать данный объект
- наличием способности качественной переработки информации и получение обобщающих умозаключений (резюме, итог)
- повышенной надёжностью принятия правильного решения при неожиданных ситуациях, когда резко изменяются входные сигналы
- способностью принимать правильные решения при недостатке информации (использование интуиции)
- способностью распознавать и отсеивать ненужную информацию
- способностью использовать искажённую информацию
- способностью сосредоточить внимание на главном
- способностью самопрограммирования, т.е. способностью решать задачу при отсутствии алгоритма
- способностью воспринимать, перерабатывать и выдавать различные типы сигналов: опознавать образы и делать обобщения
- способностью длительно хранить достаточно большое количество информации и использовать её в нужный момент без затрат времени на поиск.

Использование одного лишь качественного метода не позволяет решить проблему распределения функций между человеком и машиной. Причина этого состоит в том, что:

Во-первых, перечень сравнительных преимуществ и недостатков человека и машины основан на самых общих и не очень точных представлениях о характеристиках человека и машины и относится лишь к сопоставимым параметрам человека и машины.

Во-вторых, передача функций машине или человеку не может определяться только преимущественными возможностями её выполнения.

Для более основанного распределения функций необходим учёт большого количества факторов эффективного, стоимостного, психологического и социологического характера.

В общем случае условия определяющие оптимальность распределения функций должны выбираться на основании назначения требований предъявляемых системе. Чаще всего требуется обеспечить: максимум эффективности СЧМ при заданных ограничениях на затраты и условия операторов.

### **Особенности операторов в СЧМ медицинского назначения**

Классический состав системы СЧМ включает в себя множество технических средств и человека-оператора или группы операторов, участвующих в функционировании всей системы. Без работы этих операторов функционирование системы невозможно.

Для подавляющего большинства систем медицинского назначения характерно наличие еще одного вида оператора-пациента, участие которого при функционировании системы существенно отличаются от работы обычного оператора. Это зачастую пассивный блок

СЧМ, на который направлен весь эффект системы, и хотя, без его участия СЧМ может функционировать, при этом теряется ее смысл.

Способ сопряжения таких операторов (обычного и оператора-пациента) с системой СЧМ весьма различны, так как задачи стоящие перед ними совершенно различны. Условия обитания и рабочие места этих операторов тоже существенно различны.

Вопросы оператора СЧМ типа пациент плохо проработаны.

Оператор типа пациента может иметь несколько разновидностей.

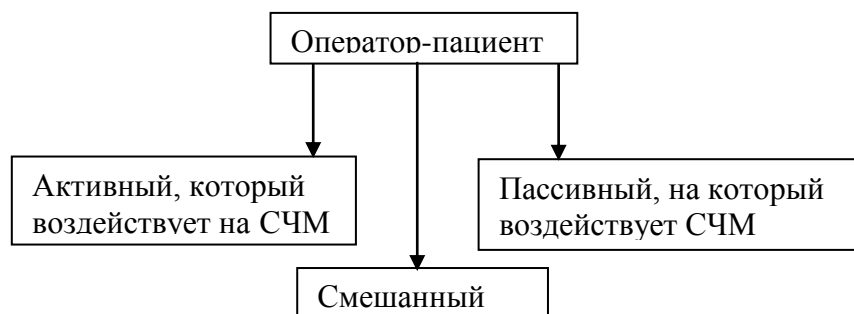


Рис. 32

Нейтральный оператор чаще всего является источником сигналов, представляющих собой преобразование параметров физиологической активности в электрические сигналы. Эта ситуация характерна для контроля состояния пациента.

#### Влияние оператора-пациента на характеристики СЧМ

Наличие оператора-пациента накладывает дополнительные требования к аппаратуре такие как: аппаратура должна быть

- безопасна
- высоконадёжна
- удобна в работе
- не имела пугающего вида
- не создающей в процессе функционирования болевых и других неприятных ощущений
- строго хронометрированных дозы воздействия на оператора.

## **Лекция № 12.**

### **Каналы связи оператора с внешней средой.**

**Связь оператора с внешней средой осуществляется через органы чувств или анализаторы (органы чувств).**

Анализаторы состоят из следующих трёх основных частей:

1. рецептор, в котором под влиянием раздражения от внешних сигналов различной физической природы возникают возбуждения.
2. проводящие нервные пути (нервные волокна) транслирующие возникающие возбуждения.
3. мозговые участки в коре больших полушарий головного мозга, где формируется ощущение (световое, слуховое, осязательное и т.д.).

Оператор обладает следующими анализаторами:

- зрительный, с помощью которого человек познаёт объём, форму, величину, цвет предмета, направление и расстояние на котором предмет находится. Глаз представляет очень сложную оптическую систему.

- слуховой, с помощью которого воспринимаются механические колебания частиц окружающей среды, различают колебания по частоте, амплитуде и направлению (бинауральность слуха).

-вестибулярный, когда с помощью так называемого отолитного аппарата позволяет оценить положение головы или всего тела, воспринимать вибрации и ускорение объекта.

-двигательный, с помощью которого правильно оценивается состояние суставного чувства.

-осязательный (кожный), с помощью которого человек оценивает форму предметов на ощупь (без помощи зрения).

-температурный – это различные тепловые и холодовые рецепторы кожи и слизистых оболочек, при их возбуждении возникает ощущение холода или тепла, представление о температуре среды или каких-либо предметов.

-вкусовые и обонятельные (вкусовые рецепторы, расположены в виде сосочков на поверхности языка, и обонятельные - особые клетки, расположенные в полости рта) различают различные вкусы и запахи.

Все перечисленные анализаторы обладают общими свойствами:

- чувствительность;
- адаптация (приспособление к выполнению своей функции);
- сенсбилизация (повышение чувствительности).

### **Общие параметры анализаторов оператора. Характеристики зрительного анализатора.**

#### **1. Восприятие интенсивности светового потока.**

Восприятие интенсивности – это ощущение, характеризующее световую энергию, излучаемую поверхностью, т.е. то, что обычно называют яркостью или освещенностью.

Существует шкала оценки интенсивности:

- едва заметен;
- хорошо виден;
- неприятно ярко.

Наиболее чувствительными к освещенности являются периферийные места сетчатки глаза. Поэтому наиболее неприятен слепящий свет при прямом направлении, и особенно при попадании снизу и со стороны виска.

#### **2. Восприятие светового контраста.**

Контраст – степень воспринимаемого различия между двумя яркостями, разделенными в пространстве.

Контрастная чувствительность возрастает с возрастанием угловых размеров объектов.

#### **3. Восприятие пространственных характеристик.**

Основной параметр – острота зрения, т.е. тот минимальный угол, под которым две точки видны как отдельные.

#### **Особенности зрительного анализатора.**

Наибольшее количество информации (до 80%) человек получает за счет зрения. Это обстоятельство приводит часто к тому, что на пультах оператора устанавливается огромное количество различных индикаторов, шкал и т.п. (информационное перенасыщение)

Глаз способен воспринимать электромагнитные излучения с длиной волны от 300 до 950 нм (1 нм – нанометр =  $10^{-9}$  м).

- Чувствительность глаза зависит от времени суток (колебания  $\pm 25\%$ ) и от освещенности (дневное зрение – колбочки, сумеречное – палочки).

- Наибольшая видимость в диапазоне зеленого цвета.

- Восприятие глазом, процесс не просто физический (оптический), но и психофизиологический.

- Человек отчетливо видит и движущиеся и неподвижные объекты, и близкие и далекие.

- Изображение перевернуто на  $180^\circ$ .

- Изображение цветное.

- Глаз постоянно находится в движении горизонтальном и вертикальном, поворачивается более чем на  $80^\circ$ .

- Время наведения глаза в одну точку около 165 мсек.

При уменьшении контрастности острота зрения снижается. Острота зрения изменяется при удалении от центра сетчатки глаза.

Зрительный канал характеризуется полем зрения и глубиной зрения.

- поле зрения – величина пространства, охватываемая двумя глазами: в горизонтальном направлении –  $120...160^\circ$ ;

в вертикальном направлении – вверх  $55...60^\circ$ , вниз  $65...73^\circ$

При восприятии цвета поле зрения суживается.

- глубина зрения (дальность) – видение очень удаленных предметов.

#### 4. Восприятие спектральных характеристик.

- Восприятие цветов *различно для дневного и сумеречного зрения.*

- Дневное зрение максимально чувствительно к *желто-зеленому* цвету, поэтому объекты, окрашенные в эти цвета, кажутся наиболее яркими.

- Восприятие цвета зависит от яркости. При увеличении яркости воспринимаемый оттенок сдвигается в сторону желтого или зеленого и даже голубого цветов.

- Минимальное расстояние для взрослого человека с нормальным зрением, на котором может быть рассмотрен объект, составляет 14 – 15 см.

- Величина адаптация глаза к освещенности:

при переходе из светлого помещения в темное, чувствительность глаза (палочек) за 1 час возрастает в 200 тысяч раз;

при переходе из темного помещения на свет, адаптация происходит за несколько десятков секунд (ослепление).

- Чувствительность глаза к цвету изменяется в несколько десятков раз. Особенности восприятия *различных цветов* обуславливают необходимость правильного выбора цветовой индикации. Наиболее распространенными цветами являются красный, желтый, зеленый и белый. Синий цвет принимается очень резко, так как глаз мало чувствителен к нему. Яркость цветных индикаторов должна быть вдвое выше яркости фона, а сам фон желательно иметь темным. *Мощным средством повышения цветовой индикации является применение мерцания с частотами от 3 Гц до 10 Гц, при длительности каждой вспышки не менее 0.05 сек.*

- Острота зрения максимальна, если время наблюдения больше 0.5 сек., при меньшем времени она резко падает.

- Оригинальным является совместное одновременное воздействие зрительных и слуховых факторов:

а) при звуковых раздражениях в области частот, соответствующих максимальной чувствительности уха, наблюдается повышение чувствительности глаза к *зелено-голубым* лучам;

б) при использовании области частот, соответствующих средней чувствительности уха, повышается чувствительность глаза к *желтым* лучам;

в) при использовании области частот, соответствующих пониженной чувствительности уха, повышение чувствительности глаза к *красным* лучам.

И вообще рекомендуется для того, чтобы глаз не изменял свою чувствительность при переводе взгляда с освещенных шкал и надписей на затемненное пространство и наоборот подсветку рекомендуется делать красным светом. Этот свет в затемненных помещениях не приводит к дополнительной утомляемости глаза за счет изменения его чувствительности, что благоприятно сказывается на работе оператора.

#### 5. Временные характеристики восприятия.

- Зрительный анализатор способен воспринимать очень короткие световые сигналы длительностью в доли секунды, *однако зрительное определение яркости, цвета и формы* требует больше времени.

- Прерывистое свечение, при частоте мигания достигающей так называемой критической частоты (КЧМ), воспринимается как немигающий свет.

- При снятии сигнала зрительное ощущение сразу не пропадает, остается так называемый последовательный образ длящийся:

0.1 – 0.2 сек. для центрального зрения;

0.1 – 0.32 сек. для периферического зрения.

Эта инерция зрения зависит от яркости.

- При небольших яркостях возникает отрицательный последовательный образ, (яркие поверхности кажутся темными, темные – светлыми).

#### 6. Восприятие движения и ускорений.

Восприятие движения и ускорений связано с наличием неподвижного ориентира.

## **Лекция №13** **Слуховой анализатор**

1) Общий диапазон частот воспринимаемых ухом составляет от 20 Гц до 20000 Гц и сильно меняется в зависимости от индивидуальностей оператора, его пола и возраста.

- Восприятие звука в диапазоне 3 – 6 Гц вызывает гнетущее состояние человека.

- Превышение верхнего предела, при большой силе сигнала, характеризуется болевым ощущением. Болевые ощущения могут возникнуть и в любой части диапазона слышимости, если сила звука составляет 130 – 140 дБ.

- Громкость звука связана с частотой, т.е. одинаковые по силе звуки разных частот воспринимаются как разные по громкости.

- Слуховой анализатор высоко чувствителен к изменению высоты звука.

- Ощущение высоты звука зависит от степени его громкости. Низкие тона с увеличением громкости кажутся более низкими, высокие – более высокими.

2) Наибольшая чувствительность уха приходится на диапазон 1000 Гц - 3000 Гц. На крайних частотах порога слышимости такой, что раньше, чем появится ощущение звука, возникает чувство боли.

#### 3) Восприятие пространства.

Это так называемый биноуральный слух, в основе которого лежит разница в уровне громкости звука приходящего в одно и другое ухо, различия во времени прихода или в фазе. Очень слабые и очень сильные звуки локализуются плохо.

4) Разрешающая способность слуха по углу (без поворота головы на источник звука) - 15°...20°С и соответственно 3°...4°С (при повороте).

5) Минимальное время адаптации 200 мсек. (различно для разных людей). В среднем от 1 до нескольких минут.

6) Если звук продолжается более 500 мсек или менее 200 мсек, то он кажется меньшим по силе, чем на самом деле. И вообще, при длительном воздействии слабые звуки кажутся более громкими и, наоборот, громкие более слабыми (адаптация).

7) Особенностью восприятия звуковых раздражений является то, что возможно их восприятие не только через уши, но и через кости черепа. Наивысшей чувствительностью обладают темя и зубы.

8) Большое значение имеет непрерывное воздействие музыки или просто шума на работу оператора, при этом наблюдается повышение или снижение темпа работы, увеличение или снижение чувствительности к некоторым раздражениям, понижение или повышение чувствительности к болевым ощущениям (шум дождя, дискотеки и т.п.).

#### 9) Временные характеристики.

Слуховые ощущения имеют следующие особенности:

- короткие звуки (миллисекунды) ощущаются как менее громкие по сравнению с длительными звуками той же силы;
- громкость очень сильных звуков в результате адаптации снижается в процессе звучания;
- очень велика чувствительность к перерывам между звуками (чувствует интервалы до 0,5 миллисекунды),

#### 10) Маскирование звуковых сигналов.

Различают два вида маскировки:

- маскировка одновременная;
- маскировка последовательная (остаточная).

При первой сигнал и помеха действуют одновременно. При последовательной маскировке полезный сигнал передается после того как помеха перестала действовать.

Чем ближе частота помехи и сигнала, тем сильнее эффект маскировки;

Для более высоких сигналов эффект как правило больше, для низких сигналов влияние помех мало;

Существует явление *обратной маскировки*, когда последующий сигнал, тормозит восприятие предыдущего сигнала.

### Осязательный (тактильный) анализатор.

**-Тактильная чувствительность человека – способность воспринимать механические раздражения кожи.**

- Общее количество тактильных точек у человека около 500000.
- Особенно ими богата кожа ладоней рук и кончиков пальцев.
- Кроме того, эта поверхность чувствительна к воздействию температуры.
- Расстояние между двумя точками различных участков кожи, воспринимаемых как отдельные лежит в пределах 11-70 мм.
- Использование тактильного анализатора позволяет определить *характер поверхности предмета, формы предмета, твердость, упругость, мягкость*.
- Этот тип анализатора используется, когда зрение и слух заняты или когда нужны дополнительно подтверждающие сигналы.

Характеристики тактильного анализатора:

#### 1)Восприятие интенсивности механического стимула.

- Чувство прикосновения или давления являются очень нестабильными.
- Наиболее чувствительны кончик языка, средне чувствительны кончики пальцев, наименее чувствительны пятки.
- Большая зависимость от толщины кожи. Чем кожа толще, тем менее чувствительно.
  - Кожа, покрытая коротким волосным покровом, обладает очень большой чувствительностью.

#### 2)Восприятие частотных характеристик.

Виброчувствительность – диапазон:

(5-20Гц)– ощущение колебаний

если реже – ощущение отдельных толчков

Наибольшая чувствительность к вибрации на частотах 200-300 Гц.

#### 3)Восприятие пространства.

Способность *пространственной фиксации стимулов* при последовательном нанесении стимулов (в зависимости от места прикосновения) от 2 до 8 мм

на языке – 1 мм

на бедре – 68 мм

на предплечье – 14 мм

#### 4)Временные характеристики

Характеризует быстрое развитие адаптации, т.е. затухание чувства прикосновения или давления.

При снятии стимула чувствительность быстро восстанавливается.

В диапазоне 1-15 Гц, после тренировок, возможно, различить 7-8 разных сигналов по частоте подачи стимулов.

## Двигательный анализатор

Этот тип анализатора является органом мышечно-суставного чувства и тесно связан с двигательным аппаратом. Он определяет выполнение и координацию движений, и величину прилагаемых усилий. Обычно используются движения конечностей рук (пальцев рук) и ног. Наиболее точные и тонкие движения осуществляются движением пальцев и локтевых суставов.

### Силовые характеристики двигательного акта.

- Сила сокращения мышц человека является величиной варьирующей (меняющейся) в чрезвычайно большом диапазоне.
- Особо значительных вариаций оператор может достигнуть за счет физической тренировки.

- Сила сжатия (в среднем) мужчины норм. физ.разв.

для правой руки – 50 кг (правша)

для левой руки – 45 кг

За счет тренировки можно увеличить эти значения более чем вдвое.

Для систем типа СЧМ оператору чаще важна не сила, а время, в течение которого необходимо эту силу удерживать.

Максимальные значения усилий оператора (силы), решающим образом зависят от утомления, от точности в работе, от толчков, тряски и т. д.

Для рукояток:

оптимальные – 2-4 кг.

максимальные – 10 кг.

Для кнопок, тумблеров и переключателей:

легкого типа - 140-150 г.

тяжелого типа – 600-1200 г.

Для ножных педалей управления, используемых:

редко до 30 кг.

часто 2-5 кг.

Для рычагов ручного управления используемых:

периодически - 12–16 кг

постоянно - 2-4 кг.

Точность пространственных перемещений зависит не только от двигательного анализатора, но и зрительного контроля.

Движения, осуществляемые вытянутой рукой, менее точны, чем полусогнутой.

Точность движений возрастает с увеличением усилия более 400 г, но при очень больших усилиях (15-18 кг) падает из-за быстрого утомления.

Разгибательные движения, точнее, чем сгибательные.

### Скоростные характеристики двигательного акта

- Диапазон скоростей, развиваемых при движении рук человека очень широк: от 0,01 см/сек – при точной, плавной рег-ке до 8000 см/сек при метании.

- Наиболее часто используемая скорость 5-800 см/сек, при этом максимальная точность при скоростях 20-25 см/сек.

- Скорость зависит от направления движения:

а) движения к себе совершаются быстрее, чем движения от себя;

б) вертикальные движения рукой осуществляются быстрее, чем горизонтальные;

в) вращательные движения быстрее поступательных;

г) на скорость движения оказывают большое влияние нагрузки;

д) на скорость движения оказывают большое влияние переменный темп и переключение с одного типа движения на другой;

е) время выполнения движения на подаваемый сигнал складывается из двух частей:



- 1) время восприятия и переработки информации (очень сильно меняется в зависимости от алгоритма).
- 2) Время выполнения самого движения (наиболее устойчивое и постоянное)

## Лекция № 14

### Рекомендации по применению анализаторов

#### Точностные характеристики оператора СЧМ.

Точностные характеристики оператора определяются точностными характеристиками его рецепторов, и являются наиболее слабым звеном СЧМ. Тренировка оператора позволяет несколько повысить точностные характеристики оператора. Для наиболее важных систем целесообразно, в целях повышения точности использовать двух и более параллельно работающих операторов. Экспериментально доказано, что если при работе одного оператора возникает одна ошибка, то при одновременной и независимой работе двух операторов число ошибок уменьшается в 300 раз, так как вероятность совпадения совершения ошибок одновременно обоими операторами ничтожно мала.

#### Специфика применения анализаторов при использовании количественной информации.

Обычно для передачи количественной информации используется зрительный, слуховой и кожный канал восприятия.

Зрительный канал обеспечивает наибольшую точность определения величины сигнала, особенно при использовании цифровых кодов, и т.д. Он позволяет сравнивать и измерять информацию одновременно по нескольким сигналам.

### Кодирование информации

#### Способы кодирования визуальной информации.

##### 1. Кодирование размером.

Использование размера в качестве признака кодирования предполагает, например, соотносить площади знака с какой-либо характеристикой реального объекта (величина цели, расстояние и т.д.). Для обозначения скорости движения можно использовать, например, длину линии с делениями.

##### 2. Кодирование формой.



Кодирование формой является в высшей степени универсальным средством представления информации на зрительных индикаторах благодаря большому множеству различных символов, а также предшествующему опыту, на который можно опираться при интерпретации символов. Легко различаются и распознаются простые геометрические фигуры, состоящие из небольшого количества элементов. Фигуры, составленные из простых линий, различаются лучше, чем фигуры, имеющие кривизну и много углов. Треугольники и прямоугольники более легки для восприятия, чем круги и многоугольники.

При выборе между контурными и силуэтными знаками предпочтения следует отдавать последним. Однако при использовании силуэтных фигур (заполненный цветом контурный знак) необходимо иметь в виду два ограничения:

- невозможность использования внутренних деталей для кодирования дополнительных характеристик;
- недопустимость сочетаний в одной фигуре контурных и силуэтных знаков, поскольку это ведет к резкому возрастанию (в 2-3 раза) времени выполнения поиска задач.

##### 3. Буквенно-цифровое кодирование.

Важным условием различимости букв и цифр является выбор их формы. Экспериментальные данные показывают, что иногда даже малозаметные различия в форме букв и цифр влияют на правильность их опознания. Во вновь разрабатываемых шрифтах стремятся,

прежде всего, избежать смешивание сходных знаков и выделить характерные признаки, отличающие знаки друг от друга. Арабский цифровой алфавит состоит из знаков, многие из которых не удовлетворяют требованию хорошей различимости. Например, такие цифры, как 7 и 9, 5 и 6, 3 и 5, отличаются друг от друга только одним или двумя признаками. В связи с этим в условиях дефицита времени при опознании этих цифр часто допускаются ошибки. Большую точность и скорость опознания обеспечивают цифры, образованные прямыми линиями: 1,4,7. В соответствии с особенностями восприятия цифр целесообразно использовать специально модифицированные конфигурации цифр и шрифтов.

#### 4. *Кодирование цветом.*

Кодирование цветом является эффективным средством повышения продуктивности выполнения операций по приему и переработке зрительной информации: одновременное использование символьного кода и цвета повышает точность и скорость выполнения задач поиска, опознания. Человек может точно идентифицировать не более 10-12 цветовых тонов, что ограничивает возможную длину алфавита при цветовом кодировании данного канала при поступлении информации поступающей одновременно более чем от одного источника сигнала.

#### 5. *Кодирование яркостью.*

Кодирование яркостью имеет наименьшую точность. Кодирование яркостью менее предпочтительно по сравнению с другими способами кодирования, поскольку сигналы различной яркости могут утомлять оператора и отвлекать его внимания. Кроме того, при одновременном предъявлении на экране сигналов различной яркости, более яркий из них могут маскировать сигналы меньшей яркости. Для большинства практической цели достаточно использовать два уровня яркости: яркий и тусклый или свет и темноту, горит, и не горит. Обычно используется не более четырех уровня яркости.

#### 6. *Кодирование частотой мелькания (мигания).*

Мелькание сигнала является одним из наиболее эффективных средств выделения объекта на экране индикаторе. Так, в общем, объеме отображения, содержащим сто формуляров, мелькание критического формуляра с частотой 3 Гц приводит к сокращению времени поиска более чем на 50 % по сравнению предъявлением без мелькания. При использовании частоты мельканий сигналов в качестве кодовой категории не рекомендуется применять более 4 градаций этого признака. При частоте мельканий равной 2,5 Гц, точность зрительной оценки количества вспышек очень высока. С увеличением частоты мельканий точность оценки числа вспышек падает. Пороговой величиной для непосредственной зрительной оценки частоты мелькания является частота 6-8 Гц. Поскольку мелькание сигналов быстро приводит к развитию зрительного утомления, следует ограничивать количество мерцающих объектов в поле зрения оператора (не более 2-3 знаков одновременно). Во избежание искажений контуров мелькающего знака целесообразно, что бы мелькал не весь знак, а только его часть. Используется не более 4 частот мигания.

#### Уменьшение нагрузки по зрительному каналу.

Наиболее количество информации (до 80%) человек получает за счет зрения. Это обстоятельство приводит часто к тому, что на пультах оператора устанавливается огромное количество различных индикаторов, шкал и т.д. Предельная способность приема информации составляет около 50 бит/сек. Эта величина достаточно большая, но нужно иметь в виду, что пользоваться этой (принятой с такой скоростью) информацией оператор затрудняется, так как требуется дополнительное и достаточно существенное время для осмысления этой информации и еще более требуется времени оператору, что бы выдать в качестве ответа какой-либо управляющий сигнал или выполнить движение.

Для облегчения работы оператора целесообразно организовать работу оператора по обработке информации не по количественным алгоритмом, а по качественным. Так, например, стрелочный индикатор с большим количеством делений и цифр дает большое количество информации, хотя полностью отсутствует качественная информация. Поэтому, выделив на шкале область минимальных и максимальных значений измеряемого параметра и окрасив

диапазон максимальных, минимальных значений и нормальных значений в разные цвета, можно освободить оператора от необходимости «декодирования» информации, то есть преобразование её численного значения в качественную форму, норма, минимум, максимум, больше – меньше, в норме – не в норме. Прием качественной информации гораздо проще, чем количественной.

1. Увеличение количественной информации уменьшает качественную и наоборот.
2. Одновременное увеличение качественной и количественной информации затрудняет работу оператора.

Примером формирования качественной информации является следующее:

Комбинация нескольких стрелочных индикаторов в одном общем корпусе (если проверяется состояние родственных параметров). Нормальное положение стрелок, в этом случае, должно образовывать легко запоминающуюся фигуру, например, крест, прямое или обратное Т и т.д. при отклонении какого либо параметра от нормы положение стрелок нарушается. Достаточно одного взгляда оператора, что бы по нескольким приборам оценить ситуацию.

Для облегчения работы оператора с информацией необходимо форму информации согласовывать с объемом оперативной памяти оператора и отводить достаточные интервалы времени для перекодирования информации. Пример: по возможности подачи цифровой информации не в десятичной форме.

3. Уменьшение нагрузки на глаз.

Чтобы глаз не изменял свою чувствительность при переводе взгляда с освещенных шкал и надписей на затемненное пространство и наоборот подсветку рекомендуется делать красным светом. Этот цвет в затемненных помещениях не приводит к дополнительной утомляемости глаза за счет изменения его чувствительности, что благоприятно сказывается на работе оператора.

Зрительный канал обеспечивает наибольшую точность определения величины сигнала, особенно при использовании цифровых кодов, шкал и т.д. Он позволяет сравнивать и измерять информацию одновременно по нескольким сигналам.. Очень важное значение имеет время наблюдения показаний индикаторов. При большом их количестве информации не может быть снята (обозрена и осмыслена при одном положении глаз оператора).

$$T_{набл} = \sum_{i=1}^k \Delta t_i n_i + \sum_{i=1}^k \Delta \tau_i n_i + \Delta t_{co}$$

$k$  – количество индикаторов

$\Delta t_i$  – время, необходимое для снятия показаний с индикатора

$n_i$  – периодичность контроля (число наблюдений индикатора)

$\Delta \tau_i$  – время, необходимое для перевода взгляда с одного прибора на другой

$\Delta t_{co}$  – время спонтанного отвлечения

4. К вопросу о выборе скорости общения с оператором.

Минимальное время от момента появления сигнала до начала ответного движения (латентный период) для наиболее часто применяемых анализаторов характерны следующие цифры:

- зрительный анализатор 0,15-0,22 сек
- слуховой анализатор 0,12-0,18 сек
- тактильный анализатор 0,09-0,22 сек

величина латентного периода зависит не только от характеристики анализатора, но и от интенсивности возбуждения. Чем сильнее раздражитель, тем меньше длительность латентного периода (за исключением сверх сильных раздражителей), которые могут вызвать охранное торможение. Уменьшению этого периода способствует важность получаемой информации, а также скоростные характеристики органа выполняющего движение.

5. Целесообразность использования анализаторов.

Обычно для передачи количественной информации используется зрительный, слуховой и кожный каналы восприятия.

Слуховой канал по точности восприятия количественной информации может конкурировать со зрительным только при передаче количественной информации в виде речевых сообщений. Точность приёма количественной информации закодированной с помощью частоты или интенсивности звукового сигнала, повышается при использовании эталона. Человек способен различать 16-25 градаций тональных сигналов, отличающихся по высоте или громкости.

Кожный канал при передаче количественной информации значительно уступает зрительному и слуховому каналам. С его помощью можно различить не более 10 градаций и то только лишь после соответствующей тренировки.

Тактильные индикаторы.

Эффективность передачи тактильной информации определяется в основном формой ручек различных устройств управления, поэтому ручки управления должны иметь специальную форму легко различимую на ощупь.

Весьма эффективным является применение тактильного анализатора для информирования оператора на появление чрезвычайной (не стандартной) ситуации путём покалывания.

### Многомерная информация.

Использование многомерных сигналов, различающихся по нескольким признакам, способствует более компактной и экономной передаче информации.

Зрительный канал наиболее приспособлен для приёма данного типа информации. При этом информация может быть закодирована одновременно с помощью интенсивности и цвета световых раздражителей, формы, площади, пространственного расположения сигналов и т.д.

Слуховой канал. Данный канал позволяет использовать при передаче многомерных звуковых сигналов интенсивность и частоту, тембр и ритм. Значительно ограничено использование данного канала при поступлении информации поступающей одновременно более чем от одного источника сигналов.

Кожный канал. Обладает значительно меньшими возможностями для приема многомерных сигналов, чем два предыдущих.

### **Режим работы оператора.**

Принято различать четыре вида режима работы оператора:

1) Учебно-тренировочный, при котором практически задачи решаются условно и у оператора отсутствует ответственность присущая реальным условиям работы. Большую роль играет заинтересованность оператора в работе (например, интерес к учёбе), чем больше желание учиться, тем лучше работает оператор в данном режиме.

2) Минимальный режим. При данном режиме работы решаются наиболее простые задачи, в наиболее благоприятных условиях при малой загрузке оператора, невысокой цене ошибки и невысоких требованиях к различным характеристикам оператора. При минимальном режиме определённый комфорт способствует расслаблению оператора, снижению внимания и, в конце концов, оператор из состояния оперативного покоя может перейти в состояние характеризующееся потерей связи с ситуацией и её осмысливания. В этом состоянии вследствие пониженной активности у оператора появляются ошибки в самых простых действиях. Возникновение подобной ситуации характеризуется большими временными задержками оператора в принятии решений и реакции, таким образом, работа оператора в минимальном режиме сопряжена с опасностью отказа оператора. Ситуации близкие к минимальному режиму могут возникать, например, у пилота на тех участках, где управление осуществляется автопилотом режима автопилотирования. Чем выше способность оператора

противостоять действию расслабляющих и дезорганизирующих факторов, тем выше эффективность его работы в данном режиме.

3) Экстремальный режим (максимальный). Данный режим работы характеризуется сложностью решаемых задач за счёт значительного ограничения времени, опасности и большой цены ошибки или сильно ощущаемого ухудшения условий деятельности оператора (состояния его здоровья). Когда оператор без высокой внутренней мобилизации и использования внутренних резервов уже не может удовлетворительно выполнять возложенные на него действия. Особо часто данный режим возникает в случае аварии, опасности тяжёлых последствий в результате утомления, монотонной работы. Работа оператора в максимальном режиме требует от оператора высоко развитого самообладания, умения не поддаваться действию различных субъективных и объективных стресс-факторов, умения быстро анализировать создавшуюся обстановку, умения в неожиданных условиях нестандартным методом найти правильное решение.

В длительно продолжающемся максимальном режиме возможности оператора используются до такой степени, что может наступить срыв его деятельности.

4) Оптимальный режим работы отличается широким использованием привычных для оператора навыков и умений, временные и функциональные загруженности оператора средние. Трудно подобрать оператора с такими качествами, которые обеспечивали бы высокую надёжность системы. Тем более нельзя найти оператора с такими характеристиками, которые создавали бы ему высокую надёжность для всех систем и всех возможных в них режимах.

Сопоставление вышеперечисленных режимов работы показывает, что они не только сильно отличаются друг от друга, но отчасти и противоречивы.

Например, такие действия как высокая активность, подвижность могут быть весьма полезными в экстремальном и нормальном режиме, но нежелательными для минимального режима, поэтому даже для одной конкретной системы следует тщательно подбирать режимы работы оператора исходя из поставленных задач. Один оператор может быть устойчив к стресс-факторам, но не устойчив к действию фактора монотонности, другой может быть устойчив к тому и другому, но плохо работать при наступлении утомления.

Таким образом, в идеале для каждого режима работы требуется свой оператор, а для всей системы операторная группа. На практике зачастую приходится одним оператором, хотя это чревато отказом.

### **Надёжность оператора.**

Надёжность оператора – это комплекс его свойств обуславливающих способность оператора поддерживать требуемые рабочие качества в условиях его деятельности, способность безотказно действовать в течение определённого интервала времени.

Базовая надёжность – потенциальная способность к качественной работе.

Прагматическая надёжность – фактически надёжность, проявляющаяся в реальных условиях.

Отказ оператора – невыполнение предписанных действий или снижение качества их выполнения за пределы, необходимые для достижения цели.

Отказы бывают активными и пассивными, внезапными и постепенными, явными и неявными:

- а) активные – неправильное опознание сигнала, неправильное выполнение действия
- б) пассивные – ошибки памяти, внимания
- в) внезапные – возникают скачкообразно
- г) постепенные – результат накопления сдвигов ухудшения качества работы
- д) явные – проявляются сразу
- е) неявные – проявляются в последствии.

Для количественной характеристики оператора вводятся следующие показатели:

$\lambda$  – интенсивность отказов

$p(t)$  – вероятность безотказной работы

$f(t)$  – частота отказов

Оператор является весьма своеобразным блоком СЧМ так как в отдельных случаях может брать на себя выполнение некоторых функций других блоков при их отказе.

ИТАК

Надёжность оператора обусловлена следующими факторами:

- 1) степень инженерно-психологической согласованности техники с психофизиологическими возможностями оператора для решения поставленных задач
- 2) уровнем обучения и тренированности оператора при выполнении поставленных задач
- 3) состояние человека и психологический настрой (настроение, болен, здоров, недомогание)
- 4) возраст
- 5) пол
- 6) удачность сочетания психофизической особенности человека с выполняемой работой (характер)
- 7) внешними условиями работы
- 8) удобством рабочего места
- 9) продолжительностью работы с организацией рабочего цикла
- 10) сложность выполняемых функций (наличие вычислительных, логических операций).

### **Отбор оператора.**

Пригодность человека к конкретному виду трудовой деятельности определяется методами профессиональной ориентации (профориентации) и профессионального отбора (профотбора).

Профориентация – это система мероприятий, направленных на выявление личностных особенностей, интересов и способностей у каждого индивидуума для выбора профессии наиболее соответствующей его индивидуальным возможностям.

Профотбор – это система мероприятий, позволяющая выявить кандидатов, которые по своим индивидуальным личностным качествам наиболее пригодны к обучению и дальнейшей профессиональной деятельности по конкретной специальности. Профотбор предусматривает оценку у конкретного индивидуума состояния здоровья, физического развития, уровня общеобразовательной подготовленности, социальных данных, профессиональных способностей и включает медицинский, образовательный, социальный и психофизиологический отбор.

В задачу медицинского отбора входит выявление тех людей, которые по состоянию здоровья могут заниматься данным видом трудовой деятельности. Медицинский отбор – исходный в комплексе профессионального отбора, а остальные виды отбора проводятся лишь среди лиц, которые по состоянию здоровья признаны годными.

Образовательный отбор направлен на выделение тех лиц, исходные знания которых обеспечивают успешное овладение данной специальностью или непосредственное выполнение профессиональных обязанностей.

Социальный отбор выполняет очень много функций, в том числе и чисто профессиональных. Его задачей является уменьшение текучести кадров и обеспечение удовлетворённости человека своим трудом. Для этого выясняют мотивы обращения к данной специальности, степень знакомства с коллективом и т.п.

Психофизиологический отбор предназначен для выявления лиц, которые по своим способностям и индивидуальным психофизиологическим возможностям соответствуют требованиям, предъявляемым спецификой обучения и деятельности по конкретной специальности (педагог, воспитатель).

Некоторые рекомендации по комплектованию коллективов.

При комплектовании коллектива подбор индивидуумов необходимо проводить на основании учёта следующих основных характеристик:

*Морально – политические качества.* В целом эти качества определяются требованиями Морального кодекса. В коллективе, где постоянно выполняются нормы морали всеми его членами, возможность возникновения конфликтной ситуации резко уменьшается.

*Профессиональные данные.* В состав коллектива следует включать индивидуумов, на подготовку которых требуются примерно одинаковые затраты времени и средств (учебная совместимость), что позволит всем его членам выполнять работу примерно на одинаковом квалификационном уровне.

*Данные анализа межличностных отношений и индивидуальных психологических особенностей.* Эти особенности проявляются в установлении групповой нормы отношений и психологической совместимости.

Как показывают экспериментальные исследования, большинство членов группы постепенно вырабатывают свою определённую групповую норму отношений. Решение, принятое группой, иногда оказывает большее воздействие на мотивацию и поведение отдельных её членов, чем решение, принятое вне группы.

Как правило, группа имеет официальную структуру отношений, при этом положение лидера занимает старший группы! (официальный лидер), выполняющий управленческие и организаторские функции.

Наряду с официальным лидером в группе существует и так называемый “эмоциональный” лидер, который регулирует внутриколлективные отношения, ослабляет напряжённость, восстанавливает групповую сплочённость, поддерживает эмоциональный тонус. При подборе коллектива операторов желательно, чтобы функции официального и эмоционального лидеров сочетались в лице старшего группы или между лидерами были отношения, основанные на взаимопомощи и уважении друг к другу. Хорошая психологическая совместимость индивидуумов в коллективе достигается, как правило, в том случае, когда уровень психомоторной и мыслительной деятельности у них достаточно высок и равнозначен. Удовлетворительная психологическая совместимость наблюдается также при совместной деятельности лиц, обладающих быстрыми мыслительными свойствами и медленным моторным реагированием, с лицами, склонными только к быстрому моторному реагированию.

*Эмоциональная устойчивость.* При комплектовании коллектива и разделении функциональных обязанностей между операторами по степени ответственности следует на более важные ответственные должности назначать операторов, имеющих более высокую эмоциональную устойчивость.

По возможности в коллективе желательно иметь некоторое количество операторов с высокой эмоциональной устойчивостью, которые могли бы при возникновении стрессовой ситуации или психологической неустойчивости части операторов сохранить способность к правильному принятию решений и оперативному управлению.

*Медицинские показатели, физическое развитие и физическая подготовленность.* Подбор операторов по медицинским показателям сводится к тому, что человек должен быть практически здоров и пригоден к выполнению функциональных обязанностей в определённом виде профессиональной деятельности.

Физическое развитие и физическая подготовленность играют важную роль особенно при комплектовании коллективов, которым предстоит выполнять совместную работу в ограниченном по площади и объёму помещении (кабинете, отсеке и т.п.). В данном случае предпочтительно подбирать индивидуумов со средним физическим развитием (рост, вес и т.п.), так как, например, очень высокий рост или большой вес могут привести к дискомфорту в процессе работы.

### **Информационная модель для работы оператора-имитатора системы.**

Информационная модель есть организация в соответствии с определённой системой правил совокупность информации о состоянии и функционировании СЧМ и внешней среды.

Она является для оператора своеобразным имитатором, отражающим все существенно важное для управления, т.е. тем источником информации, на основе которого он формирует образ реальной обстановки, производит анализ и оценку сложившейся ситуации, принимает решение, обеспечивает правильную работу системы и выполнение возложенных на нее задач, а также наблюдает и оценивает их реализации.

### **Основные характеристики информационной модели.**

1. Модель должна быть наглядной, т.е. оператор должен иметь возможность воспринимать сведения быстро и без кропотливого анализа. Только при этих условиях ему не потребуется много времени на информационную подготовку решения.

2. В информационной модели представлены лишь те свойства, отношения, связи которые существенны, имеют функциональное значение, т.е. участвуют в работе.

3. Одним из важнейших средств достижения лёгкой воспринимаемости, или "читаемости" информационной модели является её правильная организация её структуры. Это означает, что в информационной модели должны быть представлены не коллекция или набор сведений, так или иначе упорядочены, а они должны находиться в определённом и очевидном взаимодействии.

4. Восприятие ситуации, как проблемой облегчается, если в информационной модели представлены:

- Отображение конкретных изменений свойств элементов ситуации, которые происходят при их взаимодействии. В этих случаях изменения свойств отдельных элементов воспринимается не изолированно, а в контексте ситуации в целом. Более того, изменение свойств одного элемента воспринимается как симптом изменения ситуации в целом, что провоцирует поиск и распознавание оператором того или иного симптома неисправности комплекса.

- Отображение динамических отношений управляемых объектов. При этом связи и взаимодействия информационной модели должны отображаться в развитии. Допустимо и полезно даже утрировать или усиленное отображение тенденции развития элементов ситуации, их связей или ситуации в целом.

- Отображение конфликтных отношений, в которые вступают элементы ситуации.

5. Информация представляется оператору не в натуральном, а в закодированном виде. При этом становится особо важной проблема создания особого языка, понятного человеку и одновременно могущего быть использованным машиной.

6. Объём информации того или иного рода, который может быть хорошо усвоен оператором, не может быть задан ему произвольно. Он должен быть определён для данных условий работы или уже на основе имеющихся оценок работы оператора, или при помощи специального эксперимента.

### **Техническое обеспечение информационной модели**

Классификация технических средств используемых при применении зрительного анализатора.

Получаемая оператором зрительная "визуальная" информация выдаётся с помощью следующих визуальных средств:

- \* Светофоры.
- \* Счётчики.
- \* Сборные мнемосхемы.
- \* Шкалы.
- \* Светопланы.

Светофоры- индикаторные лампы, табло, светящиеся кнопки, светящиеся клавиши и комбинации их.



Характерные рабочие черты информации наличие или отсутствие свечения. Для улучшения наблюдаемости часто используется мерцающий свет (3-10 Гц)

Счётчики- самые точные устройства так как дают цифровую информацию.

Различают:

- \* Электромеханические.
- \* Люминисцентные или знакового типа.

Монодисплей- малогабаритные сегментные люминисцентные индикаторы.

Шкалы:

\* Неподвижная шкала и подвижная стрелка (изменения параметра в широких пределах)

- \* Подвижная шкала, неподвижная стрелка (в узких пределах)

Мнемосхемы- наглядное отображение деятельности оператора.

Светопланы- электроннолучевые трубки, дисплеи.

### **Информационные средства оператора.**

Операторское рабочее место в современной системе СЧМ оснащена большим числом разнообразных устройств отображения информации и элементов, назначение которых состоит в том, чтобы дать оператору достаточно полную картину в любой момент времени, так как оператор обязан в любую минуту точно и быстро ориентироваться.

Эти устройства по функциональному назначению:

1. Отображающие (обзорные)
2. Сигнальные
3. Указывающие
4. Регистрирующие.

#### **Отображающие устройства (обзорные)**

Отображающие устройства являются наиболее сложными и позволяют оператору представлять картину в целом, что важно в аварийных ситуациях, когда нахождение является небезопасным.

Неоценима роль таких устройств при выводе из состояния аварийной ситуации или при оценке сложности или опасности ситуации (начался пожар, появился газ и т.п.)

Исключительная роль этих устройств также для оценки общей ситуации, когда оператор имеет возможность всё окинуть взглядом и по чисто внешним данным убедиться, что все идет хорошо.

Устройства отображения бывают обычно в виде табло, экранов и т.п.

Наиболее широко распространенными являются отображающие устройства на базе телевизионной техники.

Отображающие устройства используются в основном для дорогостоящих систем, работающих в процессе контроля в изоляции от оператора.

Сигнальные элементы предназначены для создания сигналов, характер которых находится в определенной, чаще всего критической зависимости от значения величины параметра.

Сигнальные элементы могут быть следующих видов.

- механические сигнализаторы (стойки, сигнальные клапаны, флажки и т.п.)
- электрические световые сигнализаторы: лампы накаливания, прожекторы, световоды.
- электромеханические: звонки, сирены, гудки, реле с сигнальными флажками, электромагниты.
- пневматические: свистки, гудки.

Все эти элементы предназначены для светового или акустического воздействия на оператора.

### **Указывающие элементы**

С помощью устройств данного типа осуществляется контроль численных значений измеряемых величин. Большинство указывающих элементов представляют собой шкалы, цифровые индикаторы и т.п.

### **Регистрирующие элементы-устройства**

Предназначены для автоматической регистрации или записи величин параметров в виде цифр, букв, графиков и т.п.

Объем информации поступающей к оператору настолько большой, что возникает необходимость так компоновать информационные элементы, чтобы обеспечивая необходимую полноту они не перегружали оператора, т.е. давали компактную и четкую информацию о контролируемом объекте.

В зависимости от назначения системы СЧМ, а также требований к контролю принимают различные виды комплектации информационных элементов или различные типы информационных моделей.

### **Индикаторное табло оператора**

Этот вид информационной модели СЧМ базируется на делении всей информации поступающей к оператору на три группы:

- \* количественная
- \* качественная
- \* дополнительная.

Количественная информация включает в себя абсолютные значения измеряемых параметров верхний и нижний допуск.

Качественная информация включает в себя основные данные систем, блоков и узлов, параметры которые вышли за пределы допуска. Причем целесообразно разделить эту информацию на две группы.

\* оперативная качественная информация- характеризующая состояние систем, блоков и узлов в данный момент времени.

\* постоянная- характеризующая в течении всего испытательного срока.

Дополнительная информация включает в себя различного рода пояснительные и вспомогательные данные, облегчающие и упрощающие работу оператора( инструкции, рекомендации, справки и т.п.), примером индикаторного табло оператора может служить табло приведенное на рис.

Мнемосхема ( мнемоническая схема, схема для памяти)

Мнемосхема представляет собой упрощенное изображение укрупненной схемы ОК. Мнемосхема является дополнением к индикаторному табло оператора.

Различают три типа мнемосхем:

- \* мимические
- \* световые
- \* полусветовые

На мимической схеме, которая является схемой несвещающегося типа, схема объекта контроля изображается сплошными цветными накладками( плитками) или красками. Отдельные элементы в виде квадратов, ромбов, кружков и т.п. окрашены в различные цвета. Рядом с элементами располагаются сигнальные лампы в основном двух цветов: красный цвет соответствует их включенному состоянию, зеленый выключенному. Мигающий свет того или иного сигнализатора соответствует сигналу- внимание, что обычно бывает при несоответствии имеющихся ситуаций заданных например аварийной ситуации и т.п.

На световой схеме все элементы объекта контроля отображаются световыми символами различных цветов. Сигнализация состояния отдельных элементов осуществляется с помо-

щью зажигания, гашения или мигания символа соответствующего этому элементу или целого участка мнемосхемы.

В настоящее время применяются в основном следующие световые мнемосхемы:

1. Стекланные мнемосхемы закрашенные с внутренней стороны темной непрозрачной краской и местами незакрашенными, где нанесены символы элементов. Освещаются эти мнемосхемы изнутри разноцветными лампами с рефлекторами.

2. Мнемосхемы набранные из светопроводниковых элементов. Символ образуется изогнутыми светопроводами. В качестве светопроводов чаще всего используются стеклянные трубки заполненные жидкостями разных цветов.

3. Электролюминисцентные, которые обычно представляют собой токопроводящие стекла и рисунками выполненными электролюминофорным составом, некрытым к токопроводящей краской. При подключении напряжения 100-200в. с частотой 400-500 между токопроводящим стеклом и проводящей краской рисунок светится зеленым, голубым или оранжевым светом в зависимости от вида люминофора.

На полусветовой мнемосхеме, в отличии от световой светятся только элементы объекта контроля, остальные части изображения нанесены накладными цветными полосками.

*Технические средства используемые при применении слухового анализатора.*

Акустические средства:

- \* Громкоговорители.
- \* Телефоны.
- \* Свистки.
- \* Сирены.
- \* Вибраторы(зуммеры)

Громкоговорители:

- \*Монофонические
- \*Стерефонические

Телефоны:

- \* Головные
- \* Ушные (вкладываются в раковину уха)
- \* Остефоны (для плохо слышащих)
- \* Ларингофоны (воспринимают лишь вибрацию голосовых связок, не чувствительны к акустическим шумам.)

## **Лекция № 15-16**

### **Эргономика рабочего места оператора**

Под рабочим местом понимается пространство, оснащенное необходимыми техническими средствами (средствами отображения информации, органами управления, вспомогательным оборудованием) в котором осуществляется деятельность оператора или группы операторов совместно выполняющих работу. По степени механизации рабочие места делятся на автоматизированные, механизированные и рабочие места, где выполняются только ручные работы. Рабочие места подразделяются на индивидуальные и коллективные. В зависимости от специализации рабочие места могут быть: универсальными, специализированными.

#### **Эргономические требования к рабочему месту оператора**

Рабочее место должно быть приспособлено для конкретного вида труда и для работников определенной квалификации с учетом их физических и психических возможностей и особенностей.

При проектировании рабочего места необходимо исходить из конкретного анализа трудового процесса человека на данном оборудовании и учитывать антропометрические данные, физиологические и психофизиологические характеристики трудового процесса, санитарно-гигиенические условия работы, требования технической безопасности, соблюдения технической эстетики.

Разновидности:

а) по степени автоматизации

- автоматизированные;
- механизированные;
- ручные,

б) по количеству операторов, участвующих в работе

- индивидуальные;
- коллективные.

При конструировании рабочих мест должны быть соблюдены следующие общие требования:

- достаточное рабочее пространство для работающего человека, позволяющее осуществлять все необходимые движения и перемещения при эксплуатации и техническом обслуживании оборудования;
- приемлемые каналы связи: физические, зрительные, слуховые связи и т.д. между работающим человеком и оборудованием, а также между людьми в процессе выполнения общей трудовой задачи;
- оптимальное размещение рабочих мест в производственных помещениях, а также безопасные и достаточные проходы для работающих людей;
- необходимое естественное и искусственное освещение для выполнения трудовых задач, технического обслуживания;
- допустимый уровень акустического шума и вибрации, создаваемых оборудованием рабочего места или другими источниками шума и вибрации;
- должны быть предусмотрены необходимые средства защиты работающих от действия опасных и вредных производственных факторов (физических, химических, биологических и психофизиологических);

конструкция рабочего места должна обеспечивать быстроту, безопасность, простоту и экономичность технического обслуживания в нормальных и аварийных условиях: полностью отвечать функциональным требованиям и предлагаемым условиям эксплуатации.

При организации рабочего места необходимо принимать во внимание:

1. рабочую позу (работа «сидя», «стоя», «сидя-стоя»);
2. конфигурацию и способ размещения панелей индикаторов и органов управления;
3. потребность в обзоре рабочего места (пульта);
4. необходимость использования рабочей поверхности для письма или других работ, для установки телефонных аппаратов, а также хранения инструкций и других материалов, используемых работающими людьми или обслуживающим персоналом;
5. пространство для ног и стоп при работе «сидя».

### **Рабочие сиденья**

Приспособления, обеспечивающие поддержание рабочей позы для выполнения работы в положении «сидя», различны: кресла, стулья, табуреты различных типов, откидные сиденья (стенные), сиденья-опоры.

Независимо от профессионального назначения имеется несколько требований, общих для сидений длительного пользования.

1. Сиденье должно обеспечивать позу, способствующую уменьшению статической работы мышц.
2. Сиденье в целом и его элементы должны создавать условия для возможности изменения рабочей позы.
3. Конструкция сиденья не должна затруднять деятельности сердечно -сосудистой, дыхательной и пищеварительной системы; она не должна вызывать болезненных ощущений, возникающих в результате давления элементов сиденья на тело человека.
4. Глубина сиденья не должна быть чрезмерно большой.
5. Передний край сиденья должен быть закруглен.

6. Свободное перемещение сиденья относительно рабочей поверхности, в случае обширной рабочей зоны - вращение сиденья.

7. Наличие ряда регулируемых параметров (высота сиденья, угол наклона спинки, высота спинки).

8. В конструкции сидений должны быть учтены требования безопасности, общие и частные.

9. В большинстве видов производства, за исключением тех, где существуют специфические технологические ограничения, желательно использовать полумягкую обивку рабочего сиденья, материал обивки должен быть не скользящим, влагоотталкивающим, неэлектризующимся, воздухопроницаемым.

### **Эргономика зрительной деятельности оператора. Зрение и работа.**

Если 80% знаний о внешнем мире дает нам зрение, то не меньший процент трудовой деятельности человека проходит под контролем зрения. Хорошее освещение улучшает гигиенические условия работы и в конечном результате повышает производительность труда. И поскольку практически всякая работа идет под контролем глаз, можно говорить о зрительной деятельности как важной составной части любого трудового процесса.

#### **Зрительная деятельность**

На качество и скорость выполнения любой работы, требующего активного контроля с помощью зрения, существенное влияние оказывают следующие факторы:

1. условия, в которых выполняется зрительная работа;
2. анатомо-физиологическое состояние зрительного анализатора оператора и то, насколько обоснованным было его направление на данную работу при профотборе;
3. степень усталости и способы преодоления зрительного и общего утомления.

Зрительное утомление, в конечном счете, становится основным препятствием к качественному выполнению. Зрительной работы у опытного и физически здорового специалиста. Оно наступает тем быстрее, чем сложнее или, наоборот, монотоннее работа, чем не совершеннее зрительный анализатор, чем хуже гигиенические условия труда и ниже степень адаптации к ним.

#### **Освещение при зрительной работе оператора**

Многие зрительные функции, такие как острота зрения, контрастная чувствительность, а также скорость различения деталей и т.д., зависят от яркости фона. Отсюда следует, что условия освещения играют важнейшую роль в эффективности выполнения зрительной работы.

Хорошее освещение должно удовлетворять целому ряду требований, которые можно разделить на количественные и качественные. Количественные требования определяются общим уровнем необходимой освещенности, качественные - спектральным составом света и распределением его в пространстве.

С физиологической точки зрения наиболее благоприятным для человека является естественное освещение, применяемые источники искусственного освещения значительно отличаются друг от друга по спектральному составу. Выбор того или иного источника зависит от характера задачи. Многочисленными экспериментами установлено, что люминесцентные лампы (типа ЛД и ЛДЦ), спектр излучения которых близок к рассеянному дневному свету, создают более благоприятную световую обстановку, чем лампы накаливания при том же уровне освещенности. При люминесцентном освещении состояние зрительных функций, связанных с различением цветов, мало отличается от их состояния при естественном освещении. Лампы типа ЛД и ЛДЦ широко применяются для освещения рабочих мест при выполнении работ, связанных с различием цвета. Если же зрительная работа связана с различием особо мелких деталей и требует большой точности выполнения и при этом не нужно раз-

личать цвета, следует применять люминесцентные лампы белого цвета (типов ЛБ и ЛХБ). Во многих случаях рекомендуется использовать смешанное освещение.

Необходимая освещенность на рабочем месте устанавливается в зависимости от класса точности выполняемой работы.

Нормируемая освещенность определяется размером детали, различения, ее контрастом с фоном и степенью светлоты (коэффициентом яркости рабочей поверхности). Например, при работах наивысшей точности требуется освещенность 1500-5000 лк, а малой точности - 200-30 лк.

### **Эргономическая компоновка рабочего места оператора**

При оснащении рабочего места, выборе его габаритных размеров следует соблюдать модульный (функционально-узловой) принцип, предполагающий использование единой (для данного типа рабочих мест) базовой конструкции. Целесообразно предусматривать также возможность включения в рабочее место дополнительных технических средств и варианты их размещения. Рабочее место включает как основные, так и вспомогательные средства труда. Специфика организации рабочего места зависит от характера решаемых задач и особенностей предметно-пространственного окружения:

- типы средств управления производственным процессом и способы их размещения;
- рабочее положение тела;
- необходимость в специальной одежде и средствах индивидуальной защиты;
- возможность пауз для отдыха.

Предметы труда целесообразно располагать в пределах максимальной и минимальной границ досягаемости с целью исключения частых наклонов и поворотов корпуса работающего. Часто используемые средства должны размещаться ближе к основному технологическому оборудованию, к рабочему сидению. Предметы и средства труда должны быть расположены так, чтобы исключить движения переключивания предметов из одной руки в другую. В целях эргономики (в эргономическом аспекте) производственных площадей возможна вертикальная планировка рабочего места, особенно для размещения редко используемых средств и предметов труда.

При компоновке рабочего места оператора наиболее важными данными о функциях опорно-двигательного аппарата являются следующие:

1. поза при работе и во время «активного покоя»;
2. характер и частота изменения позы при различных манипуляциях, наиболее типичная поза при определенном виде деятельности;
3. характер рабочих движений рук;
4. положение головы, характер ее движения;
5. данные о скорости и степени мышечного утомления и нарушениях координации движений;
6. энергетическая нагрузка в период рабочей деятельности.

На рис.33 даны зоны досягаемости рук в горизонтальной плоскости в соответствии с вышеописанными принципами, где:

- «a» - зона максимальной досягаемости;
- «b» - зона досягаемости пальцев при вытянутой руке;
- «v» - зона легкой досягаемости ладони;
- «g» - оптимальное пространство для грубой ручной работы;
- «d» - оптимальное пространство для тонкой ручной работы.

Зона, в пределах которой оператор видит приборы, не поворачивая головы, называется центральной зоной зрения. Она ограничена углом  $\gamma=60^\circ$ . В этой зоне размещаются наиболее важные и часто используемые средства управления и индикации.

На рис.34 показано расположение зон деятельности и наилучшей видимости.



3. Рабочая поза оператора должна обеспечивать его длительную работоспособность и безошибочность действий. От расположения головы зависит обзор панелей, от расположения туловища - продолжительность пребывания в данной позе и способность развивать физическое усилие при работе с органами управления.

4. Положение сидя наиболее предпочтительно с точки зрения обзора, подвижности и безошибочности действий, а также с точки зрения наименьшего уставания. Для увеличения досягаемости применяются специальные кресла, обеспечивающие перемещение вверх-вниз, вперед-назад, вращение вокруг оси и т.п.

5. Высота сиденья оператора от пола должна быть более 450 мм, уровень глаз оператора от пола в положении сидя 1200 мм, платформа на которой находятся руки оператора 700 мм.

6. Проектируя рабочее место оператора и определяя размещение элементов управления необходимо добиваться, чтобы любая командная функция совершалась с помощью минимального числа операций, то есть количество и траектория рабочих движений должны быть сокращены до минимума (очень важна выработка машинальности выполнения действий).

7. Элементы управления необходимо располагать так, чтобы работа распределялась равномерно между правой и левой рукой оператора, причем правой рукой должны выполняться наиболее ответственные операции, требующие наибольшей точности или наибольшей силы (предполагается, что оператор не является левшой). Необходимо избегать такого расположения органов управления, при котором возникает необходимость перекрестной работы двумя руками.

8. Управление пультом должно осуществляться за счет движений предплечья и кисти рук, допуская движение плечевого сустава только в виде исключения.

9. Наиболее ответственные элементы управления (особенно предотвращающие аварии) должны находиться в оптимальной зоне досягаемости рук до 350 мм от центра пульта. Наименее удобные места отводятся для устройств связанных с настройкой, калибровкой и проверкой – они могут быть вынесены за пределы передней панели, если только эти операции, не являются обычными рабочими операциями.

### **Окружающая среда и рабочее место оператора**

Основными факторами внешней среды, влияющими на работоспособность оператора являются:

1. Освещенность и цвет рабочего места;
2. Акустические шумы и вибрация;
3. Температура, влажность и давление атмосферного воздуха.

#### **Освещение и цвет**

1. Нормальная освещенность операторского места составляет 200-400 лк. Однако, если в процессе работы приходится иметь дело с мелкими деталями, работать с большой скоростью, высокой точностью и в течении длительного времени, то уровень освещенности должен быть не менее 1000 лк.

2. Недопустима блескость - ослепление оператора какой-нибудь ярко освещенной поверхностью, которую легко устранить применением защитных экранов и правильным расположением светильников.

3. При выборе цвета для окраски помещений и аппаратуры следует руководствоваться следующими соображениями:

- Теплые тона - красный, желтый, оранжевый создают впечатление бодрости, возбуждения. При длительном воздействии красного цвета повышается пульс и давление крови, снижается производительность.

(Пример: обои, цвет накидок работников по ремонту желтого полотна)



- Холодные тона - синий, зеленый, фиолетовый - создают впечатление покоя. Одновременное применение теплых и холодных тонов создает ощущение беспокойства. На этом основано применение красного цвета наряду с зелеными для сигнализации об аварийных ситуациях. (Пример: цвета светофоров).

### **Шум и механические вибрации**

Шумы и механические вибрации очень сильно воздействуют на психику и работоспособность человека. Они снижают производительность труда, увеличивают число травм и ошибок. Физическая реакция организма человека на шумы проявляется в замедлении реакции на внешние раздражители, в повышении мускульного напряжения и в ослаблении внимания.

В отдельных случаях незначительный шум благоприятно действует на психику человека (шум дождя, шум от колес поезда).

Отсутствие шума вообще влияет отрицательно, об этом свидетельствуют результаты испытаний в сурдокамерах.

Большое значение имеет продолжительность времени в течении которого длится шум. Если звук меньше 0,15 сек., то, несмотря, на его силу он воспринимается как очень негромкий.

### **Сила звука измеряется в децибелах:**

Нормальный уровень шума - не выше 40-45 дБ. Для сравнения: шепот на расстоянии 1,5 м. и шелест листьев в саду при легком ветре - 10 дБ, нормальная речь - 40 дБ, максимальная громкая речь в комнате - 80 дБ, шум самолета вблизи - 120 дБ.

В идеальных условиях, при удвоении расстояния от источника шума, сила шума снижается на 6 дБ. Особенно важны значения, связанные с повреждением слуха. Повреждение слуха не происходит, если звук в 100 дБ воспринимается не более восьми часов, 120 дБ - не более 5 минут, 130 дБ - не более 30 сек. (пример с боксом на заводе).

### **Действие вибрации**

Вибрация вызывает ухудшение зрительного восприятия (читать вредно в транспорте). Снижение остроты зрения мало реагирует на вибрацию, примерно также как системы из масс и пружины. Когда частота вибрации приближается к 5 гц (близка к собственной частоте колебаний тела человека) ее воздействие становится особенно неприятным. Поэтому следует добиваться обеспечения транспортных средств и кресел для оператора специальными амортизаторами.

### **Температура и относительная влажность воздуха.**

Влияние температуры и влажность воздуха зависят от того, как одет человек, какую он выполняет работу, какова скорость движения воздуха.

1. Для легко одетого человека, находящегося в покое, требуемая температура воздуха при незначительной скорости движения воздуха и относительной влажности от 30 до 70% составляет (+21)-(+24)°C.

2. Для человека, выполняющего работу средней активности, требуемая температура воздуха снижается до +13 - +16°C, а при сильной активности (тяжелая физическая нагрузка) требуемая температура составляет -2 - +2 °C.

Повышение относительной влажности сверх 70% требует повышения температуры для улучшения условий работы, однако создает впечатление подавленности, недостатка воздуха, вызывает вялость. Низкая относительная влажность (менее 20%) в сочетании с высокой температурой вызывает ощущение сухости, усиливает потребность организма в воде, что, в свою очередь, расслабляет организм.

Для большинства людей изменение атмосферного давления от 800 до 660 мм.рт.ст. (высота 2000 м) проходит безболезненно. Переход из среды с атм. Давлением 760 мм.рт.ст. (уровень моря) к высоте 4000 - 5000 м (давление 400 - 500 мм.рт.ст.) требует, как правило, акклиматизации.

Таким образом, для обеспечения надежной работы оператора необходимо устранить все неблагоприятные воздействия внешней среды и создать ему условия комфорта.

### **Основные принципы конструирования пультов**

Наиболее эффективное управление системой может быть достигнуто, если конструирование пульта оператора проведено в соответствии со следующими принципами:

1. Принцип значимости и частоты использования элементов: все связанное и наиболее существенными и часто повторяющимися операциями должно располагаться в наиболее удобных местах (в поле зрения и под рукой оператора).

2. Принцип последовательности действий: на пульте элементы целесообразно располагать в порядке выполнения операций слева направо, сверху вниз (принцип чтения книги).

3. Принцип совмещения воздействия и ответа на воздействие: информационные элементы должны быть максимально сближены или хотя бы пространственно соотнесены, то есть расположены на одной вертикали или горизонтали.

4. Принцип объединения: все однотипные, работающие по одной программе элементы панели управления должны образовывать выделенную каким-то образом единую группу элементов (одновременно загорающиеся и погасающие транспаранты, приборы с одинаковыми показателями, тумблеры одновременного включения и т.п.).

5. Принцип функционального соответствия: элементы управления и информационные элементы должны группироваться по их назначению применительно к подсистемам (разбиение панели на блоки).

6. Принцип оптимизации: число элементов панели должно быть минимизировано при сохранении надежной и точной работы системы.

7. Принцип соответствия двигательным психофизиологическим особенностям человека: положениям «включено», «пуск», «работа», должны соответствовать включения ручек вверх, от себя, по часовой стрелке, при кнопочном управлении - нажатие верхних левых кнопок.

8. На практике удовлетворить одновременно всем требованиям этих принципов невозможно, тем более что ряд из них противоречат друг другу. В таких случаях приоритет отдается принципам, обеспечивающим наибольшее удобство работы оператора в каждом конкретном случае.

### **Рекомендации по конструированию органов ручного управления**

1. Плавная работа органов управления;
2. Направление вращения ручки управления должно совпадать с направлением движения стрелки;
3. Увеличение параметра (при регулировке ручки) по часовой стрелке;
4. Включение – вверх, нажато. Выключение наоборот;
5. Количество переключателей, приводимых в действие оператором должно быть минимальным, чаще всего применяются оба направления, расположенные в зоне наибольшей доступности;
6. Число рабочих движений оператора и их траектория должны быть минимальными;
7. При работе оператора с помощью обеих рук его движения должны быть синхронными и симметричными;
8. При выполнении рабочих движений руки не должны закрывать часть пульта, используемого в работе;
9. Избегать такого расположения органов управления и индикации, при котором оператору приходится скрещивать и менять руки;
10. Органы управления, а также относящиеся к ним индикаторы целесообразно располагать группами (функциональными зонами с особой окраской: зона индикации, зона режимов, зона светового мигания);

11. Для изменения позы при длительной непрерывной работе за пультом в конструкции предусматривается пространство для ног. Расстояние от пола до середины пульта 650 – 700 мм;
12. При размещении за одним пультом двух операторов ширина рабочего места для каждого из них должна быть не меньше 800 – 1000 мм;
13. Индикационная часть пульта должна быть расположена так, чтобы линия зрения оператора была перпендикулярна к поверхности информационного прибора;
14. Органы управления делятся на основные легко доступные, постоянно используемые оператором во время работы и вспомогательные, используемые при настройке, регламентных работах и ремонте;
15. Ручки основных (оперативных) органов управления размещаются на передних панелях приборов. Вспомогательные – на любых панелях (кроме передней) и даже внутри прибора при условии личного доступа;
16. Органы управления, которые изменяют режимы работ системы, должны находиться в стороне от часто употребляемых оператором ручек;
17. Для приведения в действие органов ручного управления многократного использования должны затрачиваться минимальные усилия, но так, чтобы не терялось ощущение четкости срабатывания и осязания движения (обычно величина предельных значений оговаривается в ТТ);
18. Около каждого датчика управления, настройки и контроля должны быть надписи и обозначения, указывающие назначение и действие этих органов;
19. Выполняются следующие значения положения ручек органов электрического управления.