

Серия  
КЛАССИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТСКИЙ УЧЕБНИК

---

---

# КЛАССИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТСКИЙ УЧЕБНИК

---

## Редакционный Совет серии

### Председатель совета

*В.И. Нифадьев*, д-р техн. наук, профессор, академик НАН КР,  
ректор Кыргызско-Российского Славянского университета  
имени первого Президента Российской Федерации Б.Н. Ельцина

### Члены совета:

*В.М. Лелевкин*, д-р физ.-мат. наук, профессор, проректор  
по научной работе КРСУ, академик МАИ,

*Л.Ч. Сыдыкова*, д-р юрид. наук, профессор, проректор  
по международным связям КРСУ,

*С.Ф. Усманов*, д-р техн. наук, профессор, проректор  
по учебной работе КРСУ;

*Н.А. Бровко*, д-р экон. наук, профессор, декан  
экономического факультета КРСУ,

*Г.Д. Джунушалиева*, д-р ист. наук, доцент, зав. кафедрой  
«Реклама и связи с общественностью» гуманитарного  
факультета КРСУ,

*А.Г. Зарифьян*, канд. мед. наук, профессор, декан  
медицинского факультета КРСУ,

*Б.А. Какеев*, д-р мед. наук, профессор, зав. кафедрой  
патологической физиологии медицинского факультета КРСУ,

*Г.В. Лоцев*, канд. техн. наук, доцент, декан  
естественно-технического факультета КРСУ,

*Р.М. Муksiнов*, д-р архитектуры, профессор, декан  
факультета архитектуры, дизайна  
и строительства КРСУ, академик ААиС,

*Б.Г. Тугельбаева*, д-р юрид. наук, профессор,  
декан юридического факультета КРСУ

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ  
КЫРГЫЗСКОЙ РЕСПУБЛИКИ  
ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ  
КЫРГЫЗСКО-РОССИЙСКИЙ СЛАВЯНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
имени первого Президента Российской Федерации Б.Н. Ельцина

ЕСТЕСТВЕННО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ

Кафедра «Приборостроение»

**Н.А. Рагрин**

**РАСЧЕТ  
И КОНСТРУИРОВАНИЕ  
ПРИБОРОВ**

**Учебник**

Допущено Министерством образования и науки  
Кыргызской Республики в качестве учебника  
для студентов высших учебных заведений

Бишкек 2021

УДК 621.8-1/-9:681.2

ББК 34.9

Р 14

**Рецензенты:**

*М.М. Шамсутдинов*, д-р техн. наук,  
профессор КРСУ им. Б.Н. Ельцина,

*Э.С. Абдраимов*, д-р техн. наук, профессор, зав. лаборат.

Института машиноведения и автоматики НАН КР,

*Т.С. Мамбеталиев*, канд. техн. наук, доцент, председ.

Совета директоров ОАО «Кыргызалтын»

Рекомендован к изданию

Ученым советом ГОУВПО КРСУ

**Рагрин Н.А.**

Р 14 РАСЧЕТ И КОНСТРУИРОВАНИЕ ПРИБОРОВ: учебник. –  
Бишкек: Изд-во КРСУ, 2021. – 146 с.

ISBN 978-9967-19-852-4

В учебнике приведена классификация различной по назначению аппаратуры, показаны этапы проектирования и конструирования аппаратуры, особенности ее конструкции, типовых узлов и устройств, описаны методы повышения качества и надежности приборов и систем, способы защиты от внешних воздействий.

Предназначен для студентов, магистрантов, аспирантов преподавателей технических вузов машиностроительных и приборостроительных направлений и специальностей.

УДК 621.8-1/-9:681.2

ББК 34.9

© ГОУВПО КРСУ, 2021

ISBN 978-9967-19-852-4

© Рагрин Н.А., 2021

## **ВВЕДЕНИЕ**

Приборы предназначены для обеспечения качества, надежности и производительности труда практически во всех отраслях народного хозяйства, на этапах проектирования, подготовки производства, производства и эксплуатации изделий, а также необходимы при выполнении научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ. Приборы широко используются не только при проектировании и производстве изделий, но и как часть самих изделий практически во всех сферах деятельности человека. Невозможно представить деятельность человека без использования приборов.

Начало XXI века характеризуется значительным повышением точности приборов и минимизацией их габаритов. Повышение точности приборов способствует повышению качества научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ и, соответственно, повышению качества разрабатываемых изделий и технологии их изготовления. Наряду с этим, развитие приборостроения базируется на повышении требований к качеству информации, обеспечение которых стало возможным в результате повышения качества приборов, обеспечивающих сбор и систематизацию информации. Вместе с классическими измерительными, управляющими и преобразующими приборами, для которых определяющими являются преобразование энергии и материалов, значительное развитие получили приборы и системы, обеспечивающие получение, хранение, передачу и преобразование информации. В отличие от машин, в последнее время большинство приборов рассматриваются как системы по выполнению определенных функций.

Приборы становятся одним из решающих факторов развития народного хозяйства, обеспечивают исключение из технологии производства изделий неавтоматизированных операций, тем самым способствуют повышению производительности труда.

Основной задачей автоматизации современного производства является необходимость управления физическими процессами и осуществление контроля за их выполнением, что выдвигает но-

вые требования к приборостроению и обуславливает широкие перспективы его развития. В современном приборостроении весьма актуальной задачей является автоматизация научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, а также возможность руководства производственными процессами.

# Глава 1 ПРИБОРЫ КАК ТЕХНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ

## 1.1 Классификация приборов

Приборы – механические устройства, осуществляющие функции измерения, контроля, регулирования, управления, преобразования энергии и информации и т. п. [1].

### 1.1.1 Классификация приборов по назначению

По назначению приборы можно разделить на следующие группы:

**Измерительные приборы** – служат для косвенного или прямого сравнения измеряемого параметра с единицей измерения. Например, термометры, манометры, гальванометры, и т. п.

**Контрольные приборы** – определяют наличие и величину отклонения значений контролируемого значения от заданных пределов. Например, приборы для контроля веса, электрического сопротивления, размеров, и т. п.

**Регулирующие приборы** – регулируют и автоматически поддерживают в заданных пределах значение обусловленной ходом процесса величины. Например: регуляторы температуры, давления, скорости.

**Управляющие приборы** – осуществляют изменение какой-либо характеристики управляемого процесса в зависимости от условий хода процесса по заранее заданной программе.

**Специальные приборы** – применяются в установках специального назначения и при научных исследованиях.

### 1.1.2 Классификация приборов по применяемости

**Приборы для обработки данных** – микроЭВМ, компьютеры, вычислительная техника.

**Приборы для техники связи** – телефонные и сотовые аппараты, радио- и телеприемники, телетайпы, звуковоспроизводящая и звукозаписывающая аппаратура (динамики, усилители, микрофоны), радио- и телепередающая аппаратура, студийная аппара-

тура, приемные и передающие антенны, радиолокационная, радиопеленгационная и радиорелейная аппаратура, аппаратура связи (кабели, провода, искатели, координатные соединители, различные оконечные устройства и устройства высокочастотной связи) и др.

**Приборы для измерительной техники** – служат для измерения линейных размеров (линейки, плитки, штангенциркули, микрометрические винты, микрометры, микроскопы, телескопы, компараторы, координатные измерительные приборы, приборы для измерения шероховатости поверхности и др.); для измерения времени (часы, реле времени, специальные часы); для измерения усилия (весы всех типов, динамометры); для измерения электрических величин (лабораторные и промышленные приборы для измерения напряжения, тока и производных от них величин); оптические и электронные микроскопы, навигационная аппаратура, астрономические приборы, фотограмметрические приборы для топографической съемки, промышленной фотограмметрии, лазеры и др.

**Приборы для автоматизации** – это средства управления и регулирования (регуляторы с устройствами управления и регистрации, цифровые управляющие системы с различной логической структурой; чувствительные элементы (измерительные преобразователи и датчики давления, температуры, объема и др.); исполнительные устройства (электродвигатели, магнитные, мембранные, поршневые приводы и др.); механические реле и бесконтактные логические схемы; запоминающие устройства, реле времени, счетчики, сдвиговые регистры, аналого-цифровые и цифроаналоговые преобразователи, микропроцессоры, микроЭВМ и др.).

**Приборы для фото- и кинотехники** (фотоаппараты, фотокамеры др.).

**Медицинские и лабораторные приборы** (для терапии и профилактики, например тренажеры, облучатели, кардиографы, приборы для диагностики, а также для проведения операций, протезирования, выполнения физико-химических анализов и др.).

**Приборы для промышленности** – например, для соединения проводов: паяльные и намоточные машины; манипуляторы, промышленные роботы и др.; устройства для производства микроэлектронных элементов, например для микро- и прецизионной литографии, зондовые тестеры, координатные столы и т. д.

**Приборы для домашнего хозяйства** – это узлы швейных и стиральных машин, пылесосов, холодильников, микроволновых печей, входящих практически во все изделия бытовой техники.

**Технические игры** – это оптические, механические и др. игры, игровые автоматы и компьютеры и т. д. [3].

## 1.2 Структурная схема и принцип работы приборов

«Несмотря на отмеченное выше многообразие приборов, структурную схему большинства из них можно представить следующим образом (рисунок 1.1). Чувствительный элемент (ЧЭ) подает сигнал на преобразователь (П), преобразованный сигнал усиливается услителем (У) и измеряется измерительным механизмом (ИМ), отсчетным или регистрирующим. Система, включающая чувствительный элемент и преобразователь, называется датчиком. Система, включающая усилитель и измерительный механизм, называется системой измерения. На рисунке 1.1 эти системы обведены пунктиром. Источник питания (ИП) служит для питания обеих систем посредством электрической цепи (ЭЦ) [4].

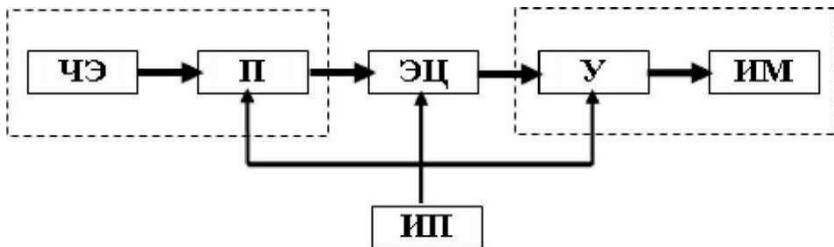


Рисунок 1.1 – Структурная схема прибора

У большого количества приборов принципом работы датчика являются незначительные механические перемещения при изме-

нении измеряемой величины. Измерение этих довольно малых перемещений с высокой точностью возможно только при наличии усилителя, усиливающего сигналы датчика и передающего их на измерительный механизм (отсчетное или регистрирующее устройство). Например, в механических приборах усилителем служит шарнирно-рычажный или зубчатый механизм. Часто поступающий с датчика неравномерный электрический сигнал усиливается, выравнивается и преобразуется в равномерное движение стрелки по отсчетной шкале прибора.

Можно сказать, что приборы в основном состоят из трех частей: датчика, усилителя и отсчетного устройства, при этом усилитель является составной частью любого прибора.

Усилители обладают общими для всех механизмов или их определенных групп признаками, позволяющими применять общие методы их разработки и проектирования. С точки зрения методов кинематического анализа совершенно безразлично, исследуется механизм усиления работы двигателя внутреннего сгорания, перемещения рабочего элемента разрывного пресса или манометрического прибора, если у них одинаковые кинематические схемы.

### **1.3 Виды и типы схем приборов**

При разработке автоматических систем управления применяют определенные схемы, соединяющие между собой различные средства автоматизации и приборы, а также с объектом управления. В зависимости от используемых средств автоматизации и приборов, а также линейных связей, в проектах автоматизации разрабатываются схемы, различающиеся по видам и типам.

Виды схем обозначаются буквами русского алфавита и определяются в зависимости от видов элементов и связей, входящих в состав изделия.

Различают десять видов схем: пневматическая – П, гидравлическая – Г; электрическая – Э; газовая – Х; энергетическая – Р; вакуумная – В; кинематическая – К; деления – Е; оптическая – Л; комбинированная – С.

Схемы деления изделия на составные части (Е) разрабатываются для определения состава изделия. Комбинированные схемы выполняются, только в том случае, если в состав изделия входят элементы разных видов.

Классификацию схем по видам и типам устанавливает ГОСТ 2.701–84.

По типам схемы подразделяют в зависимости от назначения, и обозначаются арабскими цифрами. Установлено восемь типов схем: объединенная – 0; структурная – 1; функциональная – 2; принципиальная (полная) – 3; соединений (монтажная) – 4; подключения – 5; общая – 6; расположения – 7.

Объединенная схема совмещает различные типы схем одного вида. Видом и типом определяются наименование и код схемы. Код схемы должен состоять из буквенной части, определяющей вид схемы, и цифровой части, определяющей тип схемы. Например, схема газовая функциональная – Х2, схема гидравлическая соединений – Г4 и т. д. Наименование комбинированной схемы определяется видами схем, входящими в ее состав, и соответствующим типом, например оптическая схема подключения – Л5. Наименование объединенной схемы определяют видом и типами схем, входящими в ее состав, например схема кинематическая соединений и подключения – КО. При выполнении объединенных и комбинированных схем необходимо соблюдать правила, установленные для соответствующих видов и типов схем. Прочитать схему – это значит получить сведения, необходимые для выполнения необходимой работы при проектировании, монтаже, наладке и эксплуатации изделия. Читая, например, функциональные и структурные схемы, получают представление о функциональных узлах, структуре устройства, связях и взаимодействии между ними. Чтение, например, принципиальных схем может дать необходимую информацию о эксплуатационных возможностях системы автоматизации, принципе действия системы в целом или ее отдельного узла, устройства, режимов работы и взаимодействия отдельных ее элементов, и других параметрах приборов и систем. Чтение схем и таблиц внешних соединений дает сведения о внешних соединениях между средствами автоматизации и приборами, включая стивы, пульты, щиты, отборные

и приемные устройства, способах прокладки линий трубных и электрических связей, разветвлений проводок коммутационных щитов с помощью коробок, ящиков, модулей, и т.п. Читая монтажные схемы и таблицы соединений или подключений пультов, статов, щитов, а также чертежи общих видов этих конструктивов, тесно связанных с ними, можно определить компоновку аппаратов установочных изделий и приборов, их маркировку, трассировку линий связи в пределах одного конструктива, жильность, материал и т. п. Из простейших геометрических фигур – квадратов, прямоугольников, окружностей, а также из сплошных и пунктирных линий и точек образуются условные графические обозначения, сочетание которых по системе, предусмотренной стандартом, дает возможность легко изобразить все, что требуется – приборы, электрические машины, аппараты, линии электрических и механических связей, виды соединений, обмоток, характер и способы регулирования, род тока и т. п. Здесь используется тот же прием, что и при чтении и письме, состоящий в том, что путем сочетания нескольких десятков букв и знаков препинания, десяти цифр записывают любые слова, числа и предложения.

## **1.4 Эксплуатационные свойства приборов**

Эксплуатационные свойства приборов – это обеспечение требуемых показателей качества, которые характеризуют, в какой мере прибор соответствует требованиям эксплуатации, заложенным при его проектировании. Чем полнее изделие отвечает заложенным при его проектировании требованиям эксплуатации, технического обслуживания и ремонта, тем выше его эксплуатационные свойства. При эксплуатации прибора реализуются эксплуатационные свойства, заложенные при его разработке и изготовлении, при этом, чем эффективнее реализация этих свойств, эффективнее реализуются эксплуатационные свойства приборов.

В общем случае эксплуатационные свойства подразделяются на общие и специальные свойства. Общие эксплуатационные свойства имеют все виды приборов. Специальные эксплуатационные свойства присущи конкретным приборам и их группам.

### 1.4.1 Общие эксплуатационные свойства

Общими эксплуатационными свойствами являются: надежность безотказность, долговечность.

**Надежность** как общее эксплуатационное свойство приборов разделяется на эксплуатационную и конструктивную надежность.

**Эксплуатационная надежность** характеризует прибор в условиях эксплуатации. При этом эксплуатационная надежность прибора оценивается двумя основными характеристиками: безотказностью и долговечностью.

**Безотказность** приборов закладывается при их проектировании и обеспечивается соблюдением всех заложенных требований при эксплуатации прибора.

**Долговечность** приборов зависит от соблюдения эксплуатационных требований, а также требований к техническому обслуживанию и ремонту.

**Конструктивная надежность** характеризуется эксплуатационными требованиями к прибору, заложенными при его проектировании.

### 1.4.2 Специальные эксплуатационные свойства

Специальными эксплуатационными свойствами являются: эргономические, энергетические, технологические, гигиенические и др.

#### 1.4.2.1 Технологические свойства приборов

Технологические свойства прибора характеризуются соответствием требованиям, заложенным при его проектировании.

Например, приборы бытовой техники, такие как трансформаторы и др. должны быть, прежде всего, безвредным и безопасным в эксплуатации. Специальные приборы, например медицинские (нагреватели, облучатели и т. п.) не должны оказывать недопустимых вредных воздействий, если они не заложены в перечне эксплуатационных свойствах прибора, т. е. воздействовать на людей только в рамках эксплуатационных характеристик предназначения прибора. Несоблюдение этих требований может привести к тому, что установка, предназначенная для облучения, вместо лечения

организма может принести человеку непоправимый вред при нарушении необходимого спектра излучаемых волн, заданного спектрального состава излучения, и вместо ожидаемого укрепления организма привести к его заболеванию. Качество технологического процесса зависит от правильного выбора технологических свойств прибора и неукоснительного соблюдения конструкторских и технологических требований при его эксплуатации.

#### **1.4.2.2 Энергетические свойства приборов**

Энергетические свойства прибора отражают его способность соблюдать требования к энергопотреблению, заложенные при его конструировании. Соблюдение требований к энергетическим свойствам приборов обеспечивается соблюдением требований эксплуатации, технического обслуживания и ремонта. При этом у любого вида приборов должны быть хорошие энергетические свойства. Например, если источник питания подключают к системе электроснабжения большой протяженности и с многократной трансформацией электрической сети, он будет иметь невысокий КПД, но не более 70 %. Поэтому огромные потери электроэнергии вызваны электроприемниками с низкими энергетическими свойствами, которые еще и работают нестабильно.

#### **1.4.2.3 Эргономические свойства приборов**

Эргономические свойства приборов опираются на психофизиологические данные обслуживающего персонала и определяются возможностью соответствия прибора этим данным. Они оцениваются по психологическим, физиологическим и гигиеническим показателям, установленным ГОСТ 21033–75 и ГОСТ 16456–70.

#### **1.4.2.4 Гигиенические свойства приборов**

Группу гигиенических свойств составляют: напряженность электромагнитного и других уровней полей, вибрация, шум, освещенность, запыленность т. п. Удовлетворительные гигиенические свойства, как правило, имеет новое оборудование, состояние которого со временем эксплуатации ухудшается. В большой степени ухудшаются виброшумовые, электромагнитные и меха-

нические воздействия. Для сохранения необходимого уровня гигиенических свойств приборов необходимо соблюдать требования технического обслуживания и ремонт приборов.

### **1.4.3 Численная оценка эксплуатационных свойств приборов**

Эксплуатационные свойства приборов оцениваются единичными или комплексными показателями. Единичным показателем оценивается какое-либо одно свойство прибора, комплексным показателем оценивают одновременно несколько его свойств. В зависимости от временного фактора показатели подразделяются на: технико-экономические, результирующие, стоимостные, рабочие, номинальные.

#### **1.4.3.1 Техничко-экономические показатели**

Техничко-экономические показатели определяют стоимость самого прибора, а также его монтажа, обслуживания и ремонта. К этому же к этим показателям относится и типоразмерный ряд прибора, который определяет его номенклатуру по электрическим параметрам, мощности, напряжению и др., по которым выбирают условия эксплуатации прибора. Чем большее типоразмерный ряд прибора, тем точнее выбираются условия его эксплуатации, а значит, более полно реализуются эксплуатационные свойства прибора. Поэтому одним из существенных способов удовлетворения требований к качеству приборов является повышение их номенклатуры. Однако, с другой стороны, излишнее повышение номенклатуры приборов ведет к снижению их рациональной эксплуатации из-за сложностей хранения и ремонта, вызванных большой номенклатурой и количеством запасных частей и инструментов. Поэтому к вопросу повышения номенклатуры приборов нужно подходить с достаточной рациональностью.

#### **1.4.3.2 Результирующие показатели**

К результирующим показателям относятся средневзвешенные или средние значения определенных показателей за определенный эксплуатационный период или весь срок службы. Резуль-

тирующие показатели дают более полное представление о реализации эксплуатационных свойств прибора при эксплуатации, обслуживании и ремонте. При этом обязательными должны быть такие условия эксплуатации, обслуживания и ремонта прибора, чтобы результирующие показатели были, по крайней мере, не ниже номинальных, а по возможности выше. Суммарные затраты на разработку, эксплуатацию, обслуживание и ремонт прибора определяют оптимальные значения результирующих показателей эксплуатационных свойств. Оптимальные значения эксплуатационных свойств достигаются повышением общих эксплуатационных свойств в части качества и надежности прибора, что с одной стороны, приводит к увеличению затрат на его разработку и изготовление, а с другой, позволяет снизить стоимость восстановления и ремонта по причине отказов приборов. Результирующие показатели позволяют выявить аналогичные противоречия технических решений, оптимизация которых приведет более полной реализации эксплуатационных свойств приборов.

#### **1.4.3.3 Стоимостные показатели приборов**

Стоимостные показатели приборов, в отличие от рабочих, дают сопоставимую и обобщенную оценку эксплуатационных свойств прибора. Определение оптимальной периодичности обслуживания и ремонта приборов необходимо для поддержания на должном уровне их эксплуатационных свойств.

#### **1.4.3.4 Рабочие показатели**

Рабочие показатели приборов – это значения основных его параметров в конкретный момент времени эксплуатации при существующих условиях и воздействии определенных факторов. Рабочие показатели обычно дают «точечную» оценку эксплуатационных свойств прибора.

#### **1.4.3.5 Номинальные показатели**

Номинальными показателями являются значения основных параметров прибора, определенные при его разработке и изготовлении для обеспечения эксплуатационных требований. Эти показатели регламентируют основные свойства прибора и служат

исходными данными для подтверждения достаточного уровня его эксплуатационных свойств при испытаниях. Они указываются в паспорте прибора в его технической документации.

### 1.5 Основные характеристики прибора как технической системы

Разработка методов единого подхода для проектирования различных приборов возможно с использованием теории систем, что позволит анализировать и сравнивать основные свойства приборов различной сложности и принципа действия [5].

Для этого необходимо прибор представить как техническую систему, имеющую определенную структуру  $S$ , выполняющую определенные функции  $F$ , и взаимодействующую с окружающей средой ( $Z$ ) (рисунок 1.2).

Для проектирования прибора необходимо определить свойства  $Z$ ,  $X$  и  $Y$  и основные связи между ними.

Внешние факторы, взаимодействующие с системой, представляют собой окружающую среду  $Z$ . Взаимодействие системы с окружающей средой  $Z$  осуществляется посредством разработки прибора, его изготовления, эксплуатации, обслуживания, ремонта и т. п. действий.

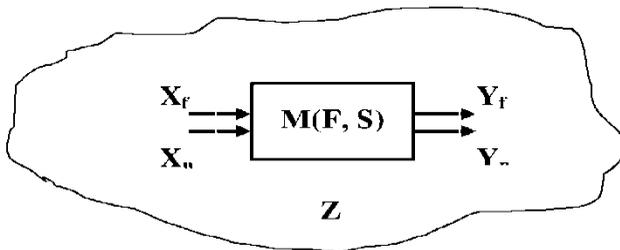


Рисунок 1.2 – Обобщенная схема прибора, как технической системы:  $X_f, X_n$  – входные величины;  $Y_f, Y_n$  – выходные величины;  $X_f, Y_f$  – величины, характеризующие функции прибора;  $X_n, Y_n$  – величины, не относящиеся к функциям прибора (условия работы, внешние и дополнительные воздействия);  $M$  – системный оператор

Схемы взаимодействия прибора с окружающей средой в процессе изготовления (а) и эксплуатации (б) приведены на рисунке 1.3.

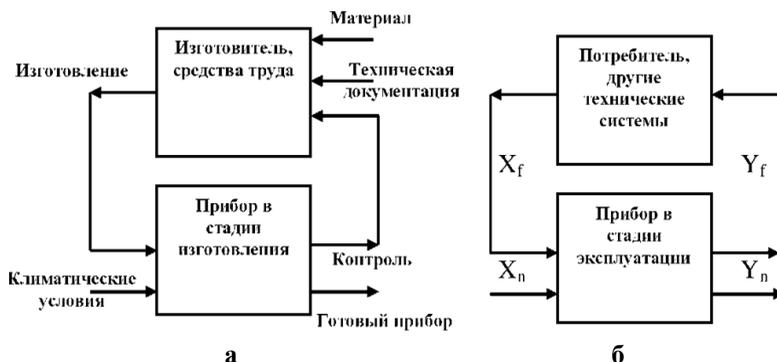


Рисунок 1.3 – Взаимодействие прибора с окружающей средой

Функцией прибора, как системы, является его возможность при определенных условиях ( $X_n$ ,  $Y_n$ ) преобразовывать значения входных величин  $X_f$  в выходные  $Y_f$ .

Количество физических свойств прибора соответствует количеству потенциально выполняемых функций с учетом действующего между ними отношения.

Существуют частные и общие функции системы.

**Частные функции** определяются сравнением разных электрических сигналов: частоты, фазы, тока, напряжения и др., и в зависимости от выполнения в приборе, назначения и физического характера могут быть: элементарными, основными, главными и вспомогательными, а также для преобразования энергии и обработки материала.

**Общая функция** включает все входные и выходные параметры, которые характеризуют систему как одно целое. Например, определение формы электрических сигналов является общей функцией осциллографа.

Система имеет структуру, включающую в себя элементы, как ее составные части, которые условно можно разбить на элементы более низкого порядка на различных уровнях сложности (таблица 1.1).

Таблица 1.1 – Уровни сложности системы

Уровень сложности	Пример
Прибор	Осциллограф, микрометр, часы, вольтметр
Узел	Усилитель, блок питания, подшипник, индикатор
Деталь	Зубчатое колесо, вал, винт, линза, штифт, пружина

**Система** – это совокупность функционально объединенных технических средств (управляющих, преобразующих, измерительных, вычислительных, вспомогательных и др.), предназначенных для обработки, преобразования и предоставления полученной информации.

**Прибор** – техническое средство, представляющее собой совокупность узлов, и предназначенное для выполнения заданных функций (управления, контроля, измерения, преобразования).

**Узел** – ограниченная группа связанных между собой, автономно работающих деталей.

**Деталь** – конструктивный элемент, не соединенный с другими конструктивными элементами, получаемый механической обработкой материала.

Структура системы – это совокупность функциональных элементов, являющиеся деталями, узлами и приборами, выполняющими заложенную при проектировании определенную функцию, рассматриваемые без учета конструктивной сложности как одно целое [6].

## 1.6 Обобщенная функциональная модель прибора

Функциональная модель прибора является общностью функциональных элементов и связей между ними, называемых функциональными отношениями. Функциональная модель позволяет установить основные закономерности и функциональные связи прибора, тем самым определить степень сложности его проектирования, что позволит более эффективно осуществлять анализ и синтез системы функционирования прибора на стадии конструирования.

Функциональная модель прибора также включает его детальную функциональную структуру, состоящую из функциональных элементов прибора и их связей.

Обобщенная функциональная модель описывает отношения между прибором и окружающей средой (рисунок 1.4), где  $Y_k$  и  $X_k$  – соответственно выходные и входные коммуникационные величины;  $Y_z$  и  $X_z$  – возмущающие воздействия прибора на окружающую среду и на прибор со стороны окружающей среды;  $\Delta Z_y$  и  $\Delta Z_x$  – внутренние возмущающие воздействия;  $V$  – внутренние контролируемые величины;  $W$  – внутренние управляющие величины.

Функциональную структуру прибора определяют четыре базовых варианта взаимодействия с окружающей средой:

- величины  $Y$  появляются на выходе в результате преобразования определенного количества входных величин  $X$ ;
- с помощью функции коммуникации реализуется обмен информацией между прибором и оператором или другими техническими средствами, причем, обмен осуществляется с помощью коммуникационных выходных величин  $Y_k$ , предназначенных для обратной связи или контроля выполнения входных коммуникационных величин  $X_k$ , предназначенных для осуществления функции преобразования или управления ею;
- независимые переменные входные и выходные величины воздействуют на прибор, тем самым преобразуются все факторы, не относящиеся к функциям прибора;
- с помощью возмущающих воздействий величин  $X_z$  и  $Y_z$  осуществляется реализация функции надежности.

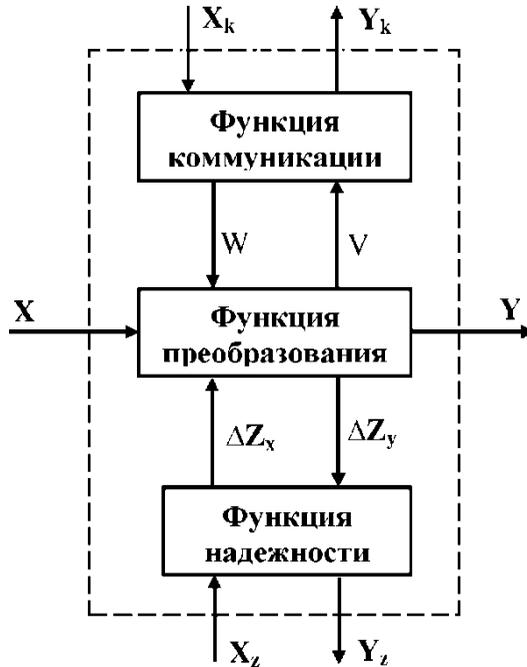


Рисунок 1.4 – Обобщенная функциональная модель прибора

Три частных функции: надежности, коммуникации и преобразования включает обобщенная функциональная модель прибора, при этом учитываются связи между ними.

**Функция надежности** решает следующие частные задачи:

- путем преобразования внешних возмущающих воздействий во внутренние, обеспечивает надежность выполнения функции преобразования, допуская возможные возмущения со стороны окружающей среды, не оказывающие влияния на выполнение этой функции;
- путем преобразования внутренних возмущающих воздействий во внешние при возможных собственных возмущениях, обеспечивает надежность выполнения функции преобразования;

- путем преобразования возмущений, создаваемых прибором во внешние, не оказывающие влияния на среду, обеспечивает безопасность окружающей среды.

**Функция коммуникации** предназначена для реализации определенных информативных связей между прибором, оператором и другими техническими устройствами и решает следующие задачи:

- путем преобразования внутренних контролируемых величин  $V$  во внешние  $U_k$ , обеспечивает контроль выполнения функции преобразования;
- путем преобразования внешних управляющих величин  $X_k$  во внутренние, обеспечивает управление функцией преобразования;
- обеспечивает контроль и управление работой других технических устройств (ТУ) в соответствии со схемой (рисунок 1.5).

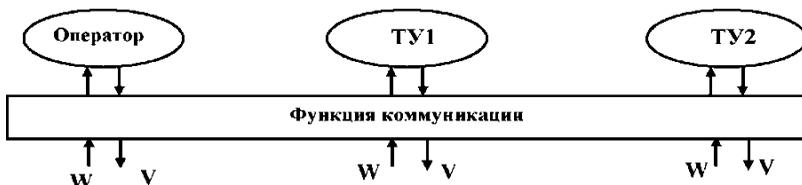


Рисунок 1.5 – Основные коммуникационные соотношения между прибором и окружающей средой

**Функция преобразования** определяется тремя классами объектов преобразования: материал, энергия и информация.

Устройства, выполняющие функцию ввода и вывода вспомогательных материалов, принтеры могут служить в качестве примеров устройств, реализующих функцию преобразования материала.

Устройства управления и регулирования, приводы, исполнительные устройства, блоки питания могут служить примерами устройств, реализующих функцию преобразования энергии.

Примером устройств, реализующих функцию преобразования информации, могут служить компьютеры, обеспечивающие многократное преобразование информации из одного вида в другой.

Функция преобразования является основной, остальные функции – вспомогательными, т. к. прибор является технической системой, предназначенной для реализации функции преобразования.

## **1.7 Особенности конструкции морской аппаратуры**

Морская электронная аппаратура имеет следующие общие условия эксплуатации:

- ограниченность размеров проходов и люков судна;
- постоянное воздействие морской среды;
- всеклиматические условия работы;
- при качке и ударах волн и выдерживать значительные линейные и ударные нагрузки;
- необходимость ремонта на месте установки;
- ограниченность в ремонтных и контрольно-измерительных средствах;
- ограниченность в количестве обслуживающего персонала;
- ограниченность снабжения запасными узлами и деталями.

Поэтому морская аппаратура должна соответствовать следующим требованиям:

- обеспечивать высокую брызго- и влагозащищенность, плеснестойкость и коррозионную стойкость;
- устойчивость к ударным нагрузкам и линейным ускорениям;
- учитывать ограниченность размеров проходов и люков;
- иметь высокий уровень типизации конструкции и высокую ремонтпригодность при минимальном количестве запасных частей и контрольно-измерительных средств;
- учитывать необходимость ремонта на месте установки;
- учитывать минимальное количество обслуживающего персонала;
- иметь высокую надежность работы в любых климатических условиях.

## **1.8 Особенности конструкции космической аппаратуры**

К ракетной и космической электронной аппаратуре предъявляются особые требования, главными из которых является обеспечение:

- минимальных габаритов и массы в связи с требованиями минимального стартового веса ракеты-носителя;
- чрезвычайно высокой безотказности;
- передстартовой ремонтпригодности;
- устойчивости к совместным линейным и вибрационным нагрузкам;
- устойчивости к радиации, в том числе солнечной;
- надежной работы в вакууме;
- надежной работы в условиях циклически изменяющихся температур в большом диапазоне.

Условия эксплуатации электронной аппаратуры в самолете и в космическом корабле во многом схожи, но в космическом корабле долговечность и безотказность аппаратуры должны быть значительно выше из-за значительно большей длительности полета.

Аппаратура искусственных спутников Земли также относится к космической, которая без обслуживания и ремонта должна работать на протяжении многих лет. Спутник является контейнером, заполненным электронной аппаратурой и приборами, работающими, как и ракетная, в условиях отсутствия механических нагрузок.

## **1.9 Особенности конструкции медицинской аппаратуры**

Медицинская аппаратура включает в себя комплексы, системы и приборы для диагностики, профилактической медицины, хирургии и терапии, которые отличаются большим многообразием и сложностью в зависимости от назначения и области применения.

Основные требования при проектировании следующие:

- назначение и потребность области применения;
- возможности производства и наличие технологий;
- наличие и вид ограничений в побочных свойствах аппаратуры;
- особенности аппаратуры и принцип действия;
- исключение вредного побочного воздействия на здоровье человека.

Задачи проектирования заключаются в необходимости обеспечения высокого уровня эксплуатационных характеристик и технических параметров при обеспечении безопасности и высокой надежности. При необходимости возможность объединения в одно целое частей аппаратуры, работающих на различных принципах: электронных, оптических, механических, электрических и их комбинациях, что требует привлечения к проектированию и разработке специалистов различного профиля.

Главными направлениями при проектировании аппаратуры могут быть:

- обеспечение необходимой производительности и функциональных возможностей;
- повышение безопасности, надежности и точности;
- снижение вредного воздействия на человека, габаритов и стоимости.

### **1.10 Особенности конструкции электронной аппаратуры**

Современная электронная аппаратура – это большое разнообразие технических устройств, предназначенных для автоматизированного контроля и управления машиностроительными производствами, а также для сбора, систематизации, обработки и рекомендации к применению технической и другой информации. С конструктивной точки зрения электронная аппаратура – это совокупность приборов и систем, объединенных по модульному принципу с целью решения конкретной производственной или научной задачи.

Конструкторско-технологические особенности электронной аппаратуры следующие:

- усложнение отдельных приборов и переход к системам и комплексам;
- прогрессирующая микро- и миниатюризация приборов и систем;
- применение законченных блоков и схем для компоновки в модули;
- последующая компоновка модулей в более сложные системы;
- автоматизация производства и управления, изготовления и проектирования.

### **1.11 Основные задачи конструирования электронной аппаратуры**

Задачи конструирования электронной аппаратуры включают:

- определение и выбор назначения и функциональной принадлежности;
- определение объекта установки и условий эксплуатации;
- определение эксплуатационных требований к разрабатываемой аппаратуре;
- определение технологических и производственных требований;
- определение экономических показателей для расчета эффективности разработки.

Полное соответствие разработанным требованиям при разработке аппаратуры учитывается и в процессе ее конструирования. Но электронная аппаратура в настоящее время претерпевает значительные изменения и настолько многообразна, что возникает необходимость разработки определенной специализации при ее конструировании. Многообразии электронной аппаратуры требует разработки определенной классификации, отражающей и учитывающей конструктивные особенности отдельных ее представителей в зависимости от рода деятельности, объекта установки, назначения и характера использования.

Признаками классифицирования категории могут быть глобальные зоны ее использования: суша, воздушное (космическое) пространство и океан, согласно которым всю электронную аппаратуру можно разбить на три категории: наземная, морская и бортовая.

Классификацию можно проводить по объекту установки, так как каждая категория разделяется на группы по условиям эксплуатации и назначению (таблица 1.1).

Таблица 1.1 – Классификация электронной аппаратуры

Категория аппаратуры	Группа аппаратуры	Количество под-групп по условиям эксплуатации
Наземная	Возимая, носимая. Переносная, бытовая. Стационарная	14
Морская	Судовая (корабельная). Буйковая	7
Бортовая	Самолетная (вертолетная). Ракетная. Космическая	18

## 1.12 Типовые узлы и устройства приборов

Электромеханические измерительные приборы состоят из электрического преобразователя, электромеханического преобразователя и отсчетного устройства. Непосредственной оценке подлежит электромагнитная энергия, подведенная к прибору из измеряемой цепи, которая преобразуется в механическую энергию углового перемещения подвижной части [7].

*Электрический преобразователь* преобразует электрическую величину измерительной цепи (ток, сопротивление, мощность, напряжение и т. п.) в промежуточную электрическую величину (мощность, напряжение, ток), которая непосредственно воздействует на измерительный механизм. Электрические преобразователи (усилители, выпрямители, измерительные трансфор-

маторы, шунты, и т. п.) монтируются внутри прибора или соединяются с ним зажимами снаружи.

**Электромеханический преобразователь** преобразует электромагнитную энергию во вращающий механический момент подвижной части.

**Отсчетное устройство** состоит из светового или стрелочного указателя и шкалы. Шкала представляет собой совокупность штрихов (отметок) с числовыми значениями.

Большое количество электромеханических приборов имеет много общих деталей и узлов и построено по одной схеме преобразования электрической величины в механический момент, перемещающий на определенный угол подвижную часть прибора. Общими для таких приборов являются устройства для установки измерительного механизма, его подвижной части, создания противодействующего момента успокоения и уравнивания подвижной части.

Подвижную часть измерительного механизма устанавливают на опорах, растяжках или подвесе с целью свободного ее перемещения (рисунок 1.6).

При установке на опорах подвижная часть (рисунок 1.6, а) укрепляется на оси легкой алюминиевой трубки, в концы которой запрессовываются два заточенных с закруглением кусочка стальной проволоки, называемые кернерами (рисунок 1.6, а, 1). Кернеры опираются на корундовые или агатовые подпятники (рисунок 1.6, а, 2), завальцованные в опорный винт 3. Существенным недостатком установки на опорах является трение в подпятниках.

Часто в стрелочных приборах подвижная часть измерительного механизма устанавливается на растяжках (рисунок 1.6, б), представляющих собой две тонкие ленты из бронзового сплава. Подвижная часть подвешивается на двух растяжках (рисунок 1.6, б, 1), а их концы крепятся к двум плоским пружинам (рисунок 1.6, б, 2). Закручивание растяжек создает противодействующий момент, в то же время растяжки служат для подвода тока в подвижную часть – катушку.

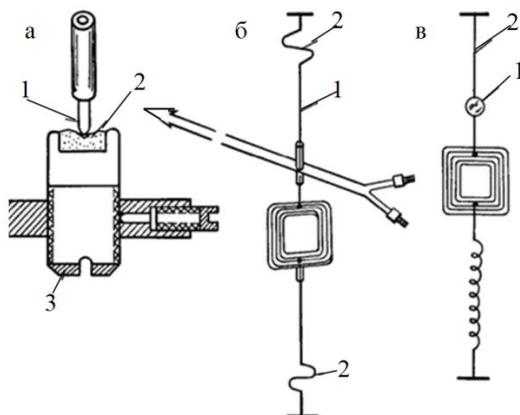


Рисунок 1.6 – Установка подвижной части измерительного механизма: а – на опорах; б – на растяжках; в – на подвесе

В приборах особо высокой чувствительности, например гальванометрах, подвижная часть измерительного механизма устанавливается на подвесе (рисунок 1.6, в) состоящим из кварцевой или металлической нити 1. В большинстве таких приборов вместо стрелки применяют луч света, испускаемый специальным источником, который отражается от зеркальца 2, также закрепленного на подвесе. Противодействующий момент создает закручивание нити подвеса.

В стрелочных приборах при установке подвижной части измерительного механизма на опорах, противодействующий момент создается закручиванием спиральных пружин, прикрепленных одним концом к оси, а другим к корректору (рисунок 1.7), который служит для установки стрелки в нулевое положение перед началом измерения. Эксцентрический выступ 2 при поворачивании винта 1 (рисунок 1.7) будет отклонять поводок 3 влево или вправо, тем самым раскручивать или закручивать спиральную пружину и поворачивать стрелку прибора влево или вправо.

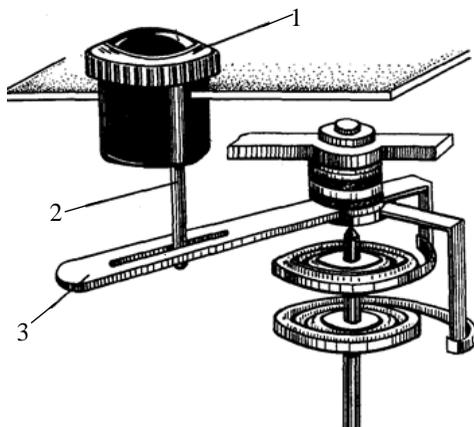


Рисунок 1.7 – Схема устройства корректора

Успокоитель является общей деталью всех электромеханических приборов. Независимо от того, являются ли успокоители по своей природе магнитоиндукционными или воздушными, они имеют одинаковое назначение в измерительных приборах – гашение механических колебаний подвижной части их измерительного механизма. В случае применения магнитоиндукционного успокоителя подвижная часть измерительного прибора при подключении в электрическую цепь получает механический импульс и проходит, по инерции, в положение равновесия. При этом подвижная часть прибора совершает поворот в обратном направлении из-за возникновения вращающего момента обратного направления. Этот процесс повторяется, тем самым подвижная часть прибора совершает колебания. Для уменьшения времени успокоения колебаний применяется действующий на принципе электромагнитного торможения магнитоиндукционный успокоитель (рисунок 1.8). При движении сектора в поле магнита в нем наводятся вихревые токи, способствующие успокоению колебаний подвижной системы.

Магнитное поле постоянного магнита можно представить в виде двух полюсов, между которыми, перемещаясь вправо, в металлической части прибора возбуждается индукционный ток (рисунок 1.8).

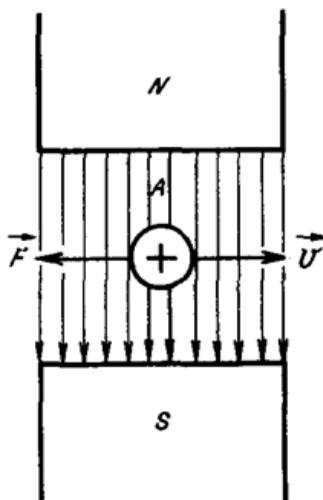


Рисунок 1.8 – Схема действия электромагнитного успокоителя

В соответствии с правилом правой руки, индукционный ток будет идти «от нас». Направление силы Ампера, действующей на проводник с током в магнитном поле, определяется правилом левой руки, тогда сила  $F$  (рисунок 1.8) будет направлена против перемещения подвижной части прибора, т. е. влево. При перемещении стрелки прибора влево, сила Ампера будет направлена вправо, и наоборот, тем самым колебания стрелки прибора будут гаситься.

Для визуального отсчитывания значений измеряемой величины служат отсчетные устройства, которые состоят из шкалы (циферблата) и указателя в электромеханических измерительных приборах.

Циферблат (шкала), а также все знаки и надписи, характеризующие прибор, наносятся на основания шкалы. Шкалы и циферблаты нормированы ГОСТ 5365–83.

Шкалы (циферблаты) по форме подразделяются на дуговые, круговые – в случае, если угол дуги более  $180^\circ$ , и прямолинейные, а по соотношению длин делений в пределах одной шкалы – на неравномерные и равномерные. В неравномерных шкалах ко-

эффицент неравномерности шкалы – отношение длины наибольшего деления к наименьшему превышает 1,3. В равномерных шкалах промежутки между соседними отметками (делениями) имеют одинаковую длину.

В современных приборах с целью повышения точности отсчета, широко используются многошкальные отсчетные устройства, позволяющие увеличить длину шкалы, уменьшить цену и длину деления, тем самым увеличить число делений.

Та часть прибора, положение которой относительно отметок шкалы (циферблата) определяет его показание, называется указателем. Приборы, в зависимости от конструкции указателя, разделяются на стрелочные и со световым указателем.

Стрелочные имеют малую чувствительность из-за малой длины стрелки и меньшую точность отсчета, но, при этом просты по конструкции. Для устранения погрешности от параллакса в переносных приборах применяют трубчатые стрелки с ножевидным концом и зеркальные шкалы.

Световым указателем является луч света, образующий световое пятно с индексом на шкале прибора, по световому пятну с индексом производится снятие показаний. Световой луч можно сделать более длинным с многократным отражением от зеркал, что позволит значительно повысить чувствительность прибора.

### **Вопросы для самопроверки:**

1. Классификация приборов.
2. Классификация приборов по назначению.
3. Классификация приборов по применяемости.
4. Структурная схема и принцип работы приборов.
5. Виды и типы схем приборов.
6. Эксплуатационные свойства приборов.
7. Общие эксплуатационные свойства.
8. Специальные эксплуатационные свойства.
9. Энергетические свойства приборов.
10. Эргономические свойства приборов.
11. Гигиенические свойства приборов.
12. Численная оценка эксплуатационных свойств приборов.
13. Технично-экономические показатели.

14. Результирующие показатели.
15. Стоимостные показатели приборов.
16. Рабочие показатели
17. Номинальные показатели.
18. Основные характеристики прибора как технической системы.
19. Обобщенная функциональная модель прибора.
20. Особенности конструкции морской аппаратуры.
21. Особенности конструкции космической аппаратуры.
22. Особенности конструкции медицинской аппаратуры.
22. Особенности конструкции электронной аппаратуры.
23. Основные задачи конструирования электронной аппаратуры.
24. Типовые узлы и устройства приборов.

## Глава 2 ОСНОВНЫЕ ЭТАПЫ РАЗРАБОТКИ ПРИБОРОВ

### 2.1 Алгоритм разработки прибора или конструкции

Это совокупность последовательных операций (шагов) (при соблюдении определенных правил) для решения поставленной задачи.

#### 2.1.1 Этапы проектно-конструкторской работы

Создание новых машин, механизмов, приборов, и т. п. устройств является сложным и довольно длительным процессом, состоящим из следующих этапов:

- инженерного прогнозирования;
- аналитического проектирования;
- технического конструирования;
- производства и испытания.

**Инженерное прогнозирование** включает разработку технического задания и анализ научно-технических источников с целью обоснования возможности решения проблемы (цели исследований), а также определения путей ее решения (задачи исследований).

**Аналитическое проектирование** содержит разработку математической модели проектируемого прибора и дальнейшее его исследование посредством созданной модели. Математическая модель создана для разработки расчетных параметров и технических характеристик проектируемого прибора в предполагаемых условиях эксплуатации и необходимых нагрузках при отсутствии аналога или прототипа проектируемого прибора. Именно на этом этапе, при отсутствии необходимой информации, проводятся научно-исследовательские работы (НИР), которые призваны обосновать возможность создания необходимой конструкции.

**Техническое конструирование** содержит разработку графической модели проектируемого прибора для изготовления его

опытного образца при проведении опытно-конструкторской работы (ОКР).

Конструкторская документация представляет собой текстовые и графические документы, характеризующие устройство и состав прибора, необходимые для его разработки и изготовления, а также контроля, эксплуатации, ремонта и утилизации [8].

Этапы проектно-конструкторской работы и стадии ее разработки представлены на рисунке 2.1.

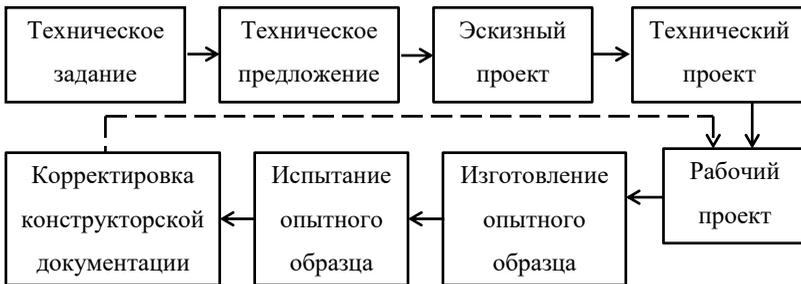


Рисунок 2.1 – Этапы проектно-конструкторской работы

Проектирование прибора включает несколько этапов и групп технической документации:

- разработка технического задания;
- разработка технического предложения;
- разработка эскизного проекта;
- разработка технического проекта;
- разработка рабочего проекта;
- изготовление опытного образца;
- испытание опытного образца;
- корректировка конструкторской документации.

Выполнение перечисленных этапов представляется в виде групп технических документов – комплекта конструкторской документации, состоящего из чертежей и текстовых документов, оформленных в соответствии со стандартами единой системы конструкторской документации (ЕСКД).

**Техническое задание** на ОКР представляет собой технический документ, в котором досконально описывается создаваемый

прибор. Приводятся название и назначение проектируемого прибора, выполняемые им основные функции, основные технические характеристики и параметры, указываются условия эксплуатации, художественно-эстетические требования и массогабаритные характеристики.

**Техническое предложение** является конструкторской документацией, разрабатываемой для уточнения технического задания, а также выявления и анализа различных возможных вариантов конструкции проектируемого прибора. Оно включает:

- сравнительную оценку эксплуатационных особенностей и конструкторских решений проектируемого прибора и существующих аналогов при их наличии;
- на основании анализа различных вариантов конструкции проектируемого прибора и технического задания формируется технико-экономическое обоснование целесообразности выбора конкретного варианта;
- проверку вариантов на конкурентоспособность и патентную чистоту;
- соответствие вариантов требованиям унификации, техники безопасности, стандартизации и т. п., анализ технологичности конструкции.

На этом этапе производятся расчеты, подтверждающие работоспособность того или иного варианта. Выпускаемая на этом этапе конструкторская документация содержит функциональные схемы возможных вариантов решений проектируемого прибора, упрощенные чертежи общего вида, ведомость технического предложения, патентный формуляр, пояснительную записку. Объем работ по этому этапу отражен в ГОСТ 2.118–73.

Работы, выполняемые на этапе технического предложения, устанавливаются техническим заданием и, в зависимости от характера и назначения изделия, определяются разработчиком [8].

**Эскизный проект** выполняют, если он предусмотрен техническим заданием, с целью более полного представления об устройстве прибора, в случае необходимости это следует сделать до выполнения технического проекта. Эскизный проект содержит:

- схемные решения (гидравлические, кинематические, электрические, т. п.);
- эскизы общего вида проектируемого прибора и отдельных его частей;
- определенные конструкторские расчеты;
- краткое описание работы и конструкции прибора.

Эскизный проект может содержать (и часто содержит) несколько вариантов проектируемого прибора, лучший из которых (по каким-то критериям) разрабатывается техническим проектом.

**Технический проект** выполняется при его наличии в техническом задании, или если он предусмотрен протоколом рассмотрения эскизного проекта или технического предложения.

Технический проект дает полное представление о конструкции проектируемого прибора и включает в себя чертежи общего вида, рабочих чертежей деталей, сборочных чертежей основных узлов.

При выполнении технического проекта выявляются конструктивные противоречия, затрудняющие получение каких-либо технических параметров прибора или его технических характеристик, выполнение которых может привести к резкому увеличению стоимости прибора или, например, увеличению массогабаритных характеристик. Часто решение таких проблем приводит к изобретениям и даже к открытиям.

Рабочий проект определяет выполнение сборочного чертежа прибора в целом, рабочих чертежей всех деталей и узлов, а также сборочных единиц. На этой стадии разрабатываются все текстовые документы, техническое описание и пояснительная записка. Выполнение рабочего проекта предусматривает разработку полного комплекта конструкторско-технологической документации, необходимого для изготовления опытных образцов прибора, в том числе и программу его испытаний. Этот комплект содержит документы, необходимые для выполнения контроля за изготовлением и испытаниями опытной партии разрабатываемого прибора. При изготовлении опытной партии конструкция прибора или технологический процесс его изготовления могут быть изменены с внесением изменений в комплект конструкторско-технологической документации.

После испытания опытной партии определяется степень соответствия фактических технических требований и характеристик прибора, заложенных в технических условиях, по результатам чего принимается решение о возможности серийного изготовления прибора или необходимости доработки его конструкции, условий эксплуатации или технологии изготовления.

## **2.1.2 Основные группы технической документации**

Под технической документацией понимается обобщенное название графических и текстовых документов, в которых отображены технические идеи и решения, а именно:

- конструкторская документация;
- технологическая документация;
- стандарты и патентная документация;
- научно-исследовательская документация.

### **2.1.2.1 Конструкторская документация**

Основной вид конструкторского документа – чертеж, отображающий деталь или изделие на плоскости, позволяющий представить внешний вид изделия, понять его конструкцию, установить, из каких материалов и каким способом изделие изготовлено.

Состав конструкторской документации регламентирован ГОСТ 2.055–2014, которым определены виды и комплектность конструкторских документов для всех отраслей промышленности: чертеж детали, сборочный чертеж, чертеж общего вида, теоретический, габаритный и монтажный чертежи, чертеж-схема, электротехническая схема, спецификация, ведомости, пояснительная записка и др.

**Чертеж детали** содержит ее изображение и данные, необходимые для изготовления детали: размеры, материал, вид термообработки, шероховатость поверхности, класс точности и допуски.

**Сборочный чертеж** изображает сборочную единицу, дающую представление о расположении и взаимосвязи ее составных частей для обеспечения возможности сборки и контроля.

**Чертеж общего вида** изображает изделие со всеми разрезами и сечениями, текстовую часть и надписи, необходимые для по-

нимания конструкции изделия, данные о составе изделия, а также взаимодействия его основных частей, принципа работы и технические характеристики.

**Теоретический чертеж** определяет геометрическую форму изделия и координаты расположения его составных частей.

**Габаритный чертеж** содержит контурное изображение изделия с указанием габаритных, установочных и присоединительных размеров.

**Монтажный чертеж** содержит упрощенное изображение изделия и все необходимые данные для его монтажа.

**Чертеж-схема** дает лишь общее представление об его устройстве и принципе действия. На нем в виде условных изображений или обозначений показаны части изделий и связи между ними.

**Электротехническая схема** является одним из основных видов чертежной документации, не дающей представление о внешнем виде изделия, и работе его отдельных частей.

**Спецификация** определяет состав изделия, технологической схемы, сборочной единицы, комплекта или комплекса.

**Ведомости** являются списками различных документов, сгруппированных по предметным признакам. Существуют ведомости покупных изделий, ссылочных документов, спецификаций, технической документации, вошедшей в состав технического предложения, эскизного и технического проектов, накопительные ведомости изменений техдокументации, ведомости держателей подлинников, согласования применения изделий и т. д.

**Пояснительная записка** содержит описание и принцип действия разрабатываемого изделия, обоснование принятых технических, конструкторских, технологических и экономических решений.

Конструкторские документы, в зависимости от способа их выполнения и характера использования, подразделяются на оригиналы, подлинники, дубликаты и копии.

**Оригинал** предназначен для изготовления по нему подлинника (кальки, типографского оттиска и т. д.).

**Подлинник** подписывается ответственными должностными лицами и позволяет делать многократные его копии.

**Дубликат** – копия подлинника, подписанная ответственными лицами, также позволяет делать многократное его копирование.

**Копия** – документ, выполненный способом, обеспечивающим его идентичность с подлинником или дубликатом, предназначен для непосредственного использования при разработке, эксплуатации и ремонте изделия.

### ***2.1.2.1.1 Комплектность конструкторской документации***

Комплектностью (полнотой комплекта) конструкторских документов являются:

- основной комплект конструкторских документов;
- полный комплект конструкторских документов.

**Основной комплект конструкторских документов** объединяет конструкторские документы, относящиеся ко всему изделию.

**Полный комплект конструкторских документов** включает основной комплект конструкторских документов на изделие, а также на все его составные части.

### ***2.1.2.1.2 Виды конструкторских документов***

ГОСТ 2.102–68 выделяет следующие виды конструкторских документов (в скобках указаны их коды):

Графические документы:

- чертежи деталей;
- сборочный чертеж (СБ);
- чертеж общего вида (ВО);
- теоретический чертеж (ТЧ);
- габаритный чертеж (ГЧ);
- электромонтажный чертеж (МЭ);
- монтажный чертеж (МЧ);
- упаковочный чертеж (УЧ);
- схема (по ГОСТ 2.701);
- электронная модель детали;

- электронная модель сборочной единицы (ЭСБ);
- электронная структура изделия.

Текстовые документы:

- перечень элементов (ПЭ);
- пояснительная записка (ПЗ);
- таблицы (ТБ);
- расчеты (РР);
- инструкции (И);
- технические условия (ТУ);
- программа и методика испытаний (ПМ);
- эксплуатационные документы (по ГОСТ 2.601);
- ремонтные документы (по ГОСТ 2.602);
- спецификация (С);
- ведомость спецификаций (ВС);
- ведомость ссылочных документов (ВД);
- ведомость покупных изделий (ВП);
- ведомость разрешения применения покупных изделий (ВИ);
- ведомость держателей подлинников (ДП);
- ведомость технического предложения (ТП);
- ведомость эскизного проекта (ЭП);
- ведомость технического проекта (ТП);
- ведомость электронных документов (ВДЭ).

### **2.1.2.1.3 Спецификация**

Спецификация происходит от слова «специфика» – совокупность особенностей чего-либо (позднелат. *specificatio*, от лат. *species* – род, вид, разновидность и *facio* – делают) может означать:

- определение и перечень особенностей, уточненную классификацию чего-нибудь;
- инженерный термин, обозначающий набор требований и параметров, которым удовлетворяет некоторый технический объект (к примеру, мост через реку удовлетворяет таким параметрам, как максимальный общий вес нагрузки, максимальная нагрузка на ось, максимальная скорость ветра и т. д.).

Кроме того, данный термин используется как синоним слова «переработка» в договорах поставки товаров (переработка).

Согласно определению, приведенному в Единой системе конструкторской документации (ЕСКД), спецификация – основной конструкторский документ, определяющий состав сборочной единицы, комплекса, комплекта. В спецификации содержится подробное перечисление узлов и деталей какого-либо изделия, конструкции, установки и т. п., входящих в состав сборочного или рабочего чертежа.

Согласно определению, приведенному в Политехническом словаре, спецификация – выполненный в форме таблицы документ, определяющий состав какого-либо изделия. Содержит обозначения составных частей, их наименования и количество.

#### **2.1.2.1.3.1 Разновидности спецификаций**

Спецификация, дополненная ценами на позиции и дополнительными условиями (цена, упаковка, условия и сроки поставки, реквизиты сторон), может являться неотъемлемой частью договора поставки, либо выступать в роли коммерческого предложения. Такого рода спецификации формируются в качестве ответа на техническое задание к договору поставки (изготовления) механизмов, оборудования и пр., либо по опросному листу. Спецификация может содержать набор технических (и иных) условий, но этот набор, как правило, подтверждает технические требования по техническому заданию. Сама по себе спецификация в техническое задание не входит, а является только ответом на техническое задание по условиям поставки.

Спецификация к счету – часть расчетного документа.

Техническая спецификация – спецификация технического устройства.

В информатике и компьютерной технике:

- формальная спецификация;
- функциональная спецификация;
- спецификация формата файловой системы;
- спецификация программного обеспечения;
- спецификации языков программирования и описания.

Спецификация может содержать:

- описательное название, номер или другой идентификатор спецификации;
- время последнего пересмотра и отметку, кем был выполнен пересмотр;
- логотип или торговую марку, указывающую, кому принадлежит право на копирование, владельца и происхождение документа;
- содержание документа, если документ длинный;
- ответственное лицо или организацию по вопросам по спецификации, по обновлениям и отклонениям;
- важность, область применения спецификации и ее назначение;
- термины, определения и аббревиатуры для пояснения сути спецификации;
- способы проверки для всех установленных требований и характеристик;
- материальные требования: физические, механические, электрические, химические и другие, целевые и допустимые;
- требования по эксплуатационному тестированию, целевые и допустимые;
- изображения, фотографии или технические иллюстрации;
- требования к сертифицированности;
- требования по технике безопасности;
- экологические требования;
- контроль по обеспечению качества, образец для проверки, критерий приема работы;
- лицо или организация, ответственное за выполнение спецификации;
- условия по отклонениям, перепроверке, пересмотре, корректировке измерений и характеристик;
- ссылки и цитаты в тексте спецификации, которые могут потребоваться для установки ясности документа;
- подписи и разрешения, если они необходимы;
- контроль изменений (с помощью специальных компьютерных программ) для последовательной разработки, проверки

и выполнения, если документ предназначен для внутреннего использования;

- приложения, которые раскрывают детали, добавляют ясности, или пояснения по оплате.

### **2.1.2.2 Технологическая документация**

Это совокупность графических и текстовых технических документов, которые отдельно или в комплексе определяют процесс изготовления изделий промышленного производства [9].

Технологическая документация отражает способы организации производственного процесса изготовления деталей и сборки изделий. К ней относятся технологические карты, технические условия и схемы технологического процесса, рабочие чертежи оборудования, приспособлений и инструмента, графики работы цехов, смен и бригад, и другие организационно-нормативные документы, составляющие технологию изготовления изделий.

Основным технологическим документом является технологическая карта, в которой приводятся расчеты всех технологических операций по изготовлению изделия.

Технологические карты в практической деятельности руководителей и специалистов представлены следующими разновидностями:

- операционными, фиксирующими отдельные производственные операции;
- маршрутными, с последовательностью операций;
- цикловыми, с перечислением группы операций одного рабочего или одного цеха;
- типового технологического процесса для изготовления группы деталей и сборочных единиц, содержащего сведения о средствах технологического оснащения и материальных нормативах.

В технологических картах подробно и последовательно перечислены все производственные операции по изготовлению каждой детали, сборочной единицы и изделия в целом.

В технологических картах должны указываться: название операций, схема установки и обработки изделия, применяемое

оборудование (станки, инструмент, приспособления), режим работы (скорость, тепловой режим и т. д.), время обработки (машинное и вспомогательное), специальность и разряд рабочего, стоимость каждой операции.

### **2.1.2.3 Стандарты, и патентная документация**

**Стандарт** является особым видом технической документации юридического характера. Отдельные стандарты могут носить организационно-методический характер, в том числе и на унифицированные системы документации.

Патентная документация включает заявку на предполагаемые изобретения и патент.

**Заявка** включает заявление о выдаче патента на изобретение, техническое описание изобретения, чертеж общего вида конструкции.

**Техническое описание изобретения** содержит формулу (предмет) изобретения, иллюстрируемого чертежами.

**Патент** удостоверяет авторство определенного лица (группы лиц) на данное изобретение, и дает этим лицам исключительное право изготовления и продажи изобретенного ими объекта.

### **2.1.2.4 Научно-исследовательская документация**

Научно-исследовательская документация создается в процессе выполнения научно-исследовательских работ (НИР). Она отображает теоретическое и практическое решение актуальных научных и практических проблем.

Примерами такой документации могут быть:

- технические отчеты (с приложениями), отзывы, рецензии, аннотации;
- паспорта, регламенты НИР;
- технические задания на НИР, программы НИР;
- отчеты, доклады о выполненных НИР;
- технико-экономические обоснования.

Основным документом является отчет о НИР, в котором излагаются систематизированные и обобщенные исчерпывающие сведения о проведенной научно-исследовательской работе.

## **2.2 Организация и порядок выполнения НИР**

### **2.2.1 Виды НИР и их основные этапы**

НИР можно разделить на фундаментальные, поисковые и прикладные.

**Фундаментальные НИР** решают следующие задачи:

- расширение теоретических знаний;
- получение новых научных данных о процессах, явлениях, закономерностях, существующих в исследуемой области;
- научные основы, методы и принципы исследований.

**Поисковые НИР** решают следующие задачи:

- увеличение объема знаний для более глубокого понимания изучаемого предмета;
- разработку прогнозов развития науки и техники;
- открытие путей применения новых явлений и закономерностей.

**Прикладные НИР** решают следующие задачи:

- разрешение конкретных научных проблем для создания новых изделий;
- получение рекомендаций, инструкций, расчетно-технических материалов, методик;
- определение возможности проведения опытно-конструкторской работы (ОКР) по тематике НИР.

Фундаментальные и поисковые работы в жизненный цикл изделия, как правило, не включаются. Однако на их основе осуществляется генерация идей, которые могут трансформироваться в проекты прикладных НИР и ОКР. Прикладные НИР являются одной из стадий жизненного цикла изделия. Их задача – дать ответ на вопрос: возможно ли создание нового вида продукции, и с какими характеристиками? Конкретный состав этапов и характер выполняемых в их рамках работ определяются спецификой НИР.

**Рекомендуются следующие этапы НИР:**

- разработка технического задания (ТЗ) на НИР;
- выбор направлений исследования;
- разработка общей методики проведения исследований;

- проведение теоретических и экспериментальных исследований;
- обобщение и оценка результатов исследований.

Примерный перечень работ на этапах НИР:

#### **Разработка ТЗ на НИР:**

- научное прогнозирование;
- анализ результатов фундаментальных и поисковых исследований;
- учет требований заказчиков.

#### **Выбор направления исследования:**

- сбор и изучение научно-технической информации;
- проведение патентных исследований;
- составление аналитического обзора;
- формулирование задач исследований;
- сопоставление ожидаемых показателей новой продукции после внедрения результатов НИР с существующими показателями изделий-аналогов;
- оценка ориентировочной экономической эффективности новой продукции;
- промежуточный отчет.

#### **Разработка общей методики проведения исследований:**

- разработка методики экспериментальных исследований;
- разработка экспериментальных стендов;
- выбор экспериментального оборудования, оснастки и инструментов.

#### **Проведение теоретических и экспериментальных исследований:**

- разработка рабочих гипотез, построение моделей результатов исследований, обоснование допущений;
- обоснование необходимости проведения экспериментов для подтверждения отдельных положений теоретических исследований или для получения конкретных значений параметров, необходимых для проведения расчетов;
- подготовка моделей (макетов, экспериментальных образцов), а также испытательных стендов;

- проведение экспериментов, обработка полученных данных;
- сопоставление результатов эксперимента с теоретическими исследованиями;
- корректировка теоретических моделей прибора;
- проведение при необходимости дополнительных экспериментов;
- проведение технико-экономических исследований;
- составление промежуточного отчета.

### **Обобщение и оценка результатов исследований:**

- обобщение результатов предыдущих этапов работ;
- оценка полноты решения задач;
- разработка выводов и рекомендаций по дальнейшим исследованиям и проведению ОКР;
- разработка проекта ТЗ на ОКР;
- составление итогового отчета;
- приемка НИР комиссией.

Научно-исследовательская работа начинается с определения проблемы, в наибольшей степени интересующей исследователя. Это ведет к поиску соответствующих источников информации, а в случае неудовлетворенности этой информацией – к попыткам поиска самостоятельных решений проблемы путем проведения научного исследования.

Одним из важнейших условий научно-исследовательской работы является новизна проблемы и, как выход, практическая значимость полученных результатов. Началом исследования, после определения цели, является анализ проблемы – ознакомление с литературой, в той или иной степени затрагивающей данную проблему, и конкретизация направления исследования, сужение его границ, формулировка задач исследований. Подбираются соответствующие методы и методики исследования, планируется работа, обеспечивающая грамотное решение поставленных перед исследованием задач.

Следующим важнейшим этапом научно-исследовательской работы является сбор экспериментальных, фактических данных, являющихся материалом для дальнейшего анализа и обобщения. В некоторых случаях исследование может носить теоретический

характер и основываться лишь на анализе литературных источников, сборе и соответствующем освещении уже накопленных фактов, выстраивании на их основе самостоятельной линии анализа и обобщения, получения нового взгляда на проблему, новых данных, новых выводов.

Выводами и практическими рекомендациями, следующими из проделанной работы, заканчивается любое научное исследование. Оно будет полным, если задачи, поставленные перед работой, решены на достаточно высоком уровне, а результаты эффективно внедрены в практику.

Результаты исследования могут быть опубликованы в открытой печати, могут быть сделаны доклады на конференциях, симпозиумах, семинарах, прочитаны лекции. В ряде случаев, определяемых спецификой исследования, материал не допускается к открытой печати.

При изложении НИР следует придерживаться следующей структуры:

- введение;
- литературный обзор – анализ проблемы;
- методы проведения исследований;
- организация и проведение исследования;
- результаты исследования;
- анализ полученных результатов;
- выводы и практические рекомендации;
- список использованной литературы;
- приложения.

Во введении в сжатом виде представляются аргументы в пользу актуальности проблемы исследования, указывается его цель, формулируется проблема, даются данные о новизне работы, ее практической значимости, достоверность результатов исследований, формулируются положения, выносимые на защиту, описывается в сжатом виде структура работы.

Литературный обзор – анализ проблемы. Его содержание составляет анализ литературы, относящейся к исследуемому вопросу, обозначение нерешенных вопросов в контексте обсуждаемой проблемы. Разработка задач исследования.

Приложения могут представлять собой материал, иллюстрирующий полученные результаты, описание и данные исследований по оригинальным методикам, акты внедрения результатов научного исследования в практику.

Результаты научной работы представляются в виде диссертации, монографии, научной статьи, реферата, методической статьи, пособия или учебника. В зависимости от вида научной работы, те или иные составляющие ее структуры могут быть освещены более или менее полно.

### **2.2.2 Требования к научно-исследовательской работе – диссертации**

Научно-исследовательская работа – диссертация должна отвечать следующим требованиям:

- диссертабельность темы;
- новизна проблемы, научная и практическая значимость;
- достоверность результатов работы.

**Диссертабельность** темы выражается в возможности скорейшего выполнения работы и ее защиты в установленные сроки. Термин не имеет строгого определения и может включать свежесть темы, т. е. новое направление, отсутствие похожих работ в обозримом прошлом, оригинальность будущих методик, уникальность используемого оборудования и т. п. И именно руководитель оценивает диссертабельность темы.

**Новизна проблемы, научная и практическая значимость.** В работе должны проводиться исследования, рассматриваться и решаться задачи, которые на сегодняшний день интересны специалистам соответствующей отрасли и имеют существенное значение в этой отрасли. В противном случае диссертационная работа рискует оказаться посвященной личному увлечению соискателя, никому кроме него самого не интересному.

Для технических специальностей существует два выбора: либо новый объект, для которого необходимо найти адекватную модель, либо старый объект, для которого строят новую модель, с более высоким уровнем адекватности, чем все существующие до этого. В обоих случаях необходимо получение новых научных знаний, выражающихся в виде некоторых закономерностей в по-

ведении объекта исследований или в его взаимодействии с другими объектами, либо взаимосвязи свойств объекта между собой или свойств объекта со свойствами других объектов. Выявленные закономерности и взаимосвязи должны поддаваться опытной проверке, подтверждающей их достоверность.

Результаты работы должны иметь практическую значимость, т. е. иметь существенное значение для соответствующей отрасли и должны быть представлены так, чтобы их реально можно было применить на практике и получить от этого какую-либо экономическую или иную выгоду. Если работа носит чисто теоретический характер, то должны быть даны рекомендации по применению результатов теоретических исследований.

**Достоверность результатов работы.** Теоретические выводы, модели должны подвергаться тщательной экспериментальной проверке, верность теоретических выводов, адекватность моделей должна быть доказана и подтверждена экспериментальными исследованиями.

### 2.2.3 Выбор наименования темы исследования

Тема научно-исследовательской работы определяет ее наименование. Именно наименование работы вызывает огромное количество замечаний со стороны всех возможных официальных и неофициальных оппонентов.

Наименование должно быть коротким, в пределах десяти слов, и полностью раскрывать тему исследования. В наименовании темы должны присутствовать: направленность работы, область исследования, предмет исследования.

**Направленность работы** – это цель исследования – планируемый результат или способ использования результата. Возможные варианты направленности работы: повышение (эффективности, производительности, качества ...), решение (задачи, проблемы ...), разработка ..., обоснование ... .

**Область исследования** – это область научных изысканий, непосредственно подвергающаяся исследованию – процесс, явление, физические или другие свойства. Например: точение, стойкость (инструмента), качество (обработки), твердость (материала заготовки), температура (резания).

**Предмет исследования** – то, что непосредственно подвергается исследованию – инструмент, устройство, установка.

Примером наименования НИР может служить разработка способа повышения качества поверхности, обработанной быстрорежущими спиральными сверлами.

### **Вопросы для самопроверки:**

1. Инженерное прогнозирование.
2. Аналитическое проектирование.
3. Техническое конструирование.
4. Этапы проектно-конструкторской работы.
5. Техническое задание.
6. Разделы технического задания.
7. Техническое предложение.
8. Эскизный проект.
9. Комплект документов эскизного проекта.
10. Перечень работ, выполняемых при разработке эскизного проекта.
11. Технический проект.
12. Комплект документов технического проекта.
13. Перечень работ, выполняемых при разработке технического проекта.
14. Спецификация.
15. Рабочий проект.
16. Комплект документов рабочего проекта.
17. Классификация конструкторской документации.
18. Комплектность конструкторской документации.
19. Виды конструкторских документов.
20. Организация и порядок выполнения НИР.
21. Требования к научно-исследовательской работе – диссертации.
22. Новизна проблемы, научная и практическая значимость.
23. Достоверность результатов работы.
24. Диссертательность.
25. Выбор наименования темы исследования.
26. Направленность работы.
27. Область исследования.
28. Предмет исследования.

## Глава 3 ДОПУСКИ И ПОСАДКИ

### 3.1 Основные положения

Допуск – разность между наибольшим и наименьшим предельными значениями параметров (размеров, массовой доли, массы), задается на геометрические размеры деталей, механические, физические и химические свойства. Назначается (выбирается) исходя из технологической точности или требований к изделию (продукту). Любое значение параметра, оказывающееся в заданном интервале, является допустимым [10].

Посадка – характер соединения сопрягаемых деталей, определяемый зазором или натягом, то есть разностью их размеров до сборки в соответствии с назначенным допуском.

Система допусков и посадок существует в двух вариантах: система вала – основным размером является размер вала, а размер отверстия выбирается с различным зазором или натягом; система отверстия – основным размером является размер отверстия, а размер вала задается с необходимым зазором или натягом. Посадки обозначают буквами латинского алфавита: отверстия – прописными буквами, валы – строчными. Точность посадки определяется качеством допуска.

Обозначения:

Допуск IT = International tolerance;

Верхние и нижние отклонения, ES = Ecart Superieur, EI = Ecart Interieur;

Для отверстий большие буквы (ES, D), для валов малые (es, d).

#### 3.1.1 Термины и определения

*Размер* – числовое значение линейной величины (диаметра, длины и т. п.) в выбранных единицах измерения.

*Действительный размер* – размер элемента, установленный измерением.

*Предельные размеры* – два предельно допустимых размера элемента, между которыми должен находиться (или которым может быть равен) действительный размер.

*Наибольший предельный размер* – наибольший допустимый размер элемента (рисунок 3.1).

*Наименьший предельный размер* – наименьший допустимый размер элемента (рисунок 3.1).

*Номинальный размер* – размер, относительно которого определяются отклонения (рисунки 3.1, 3.2).

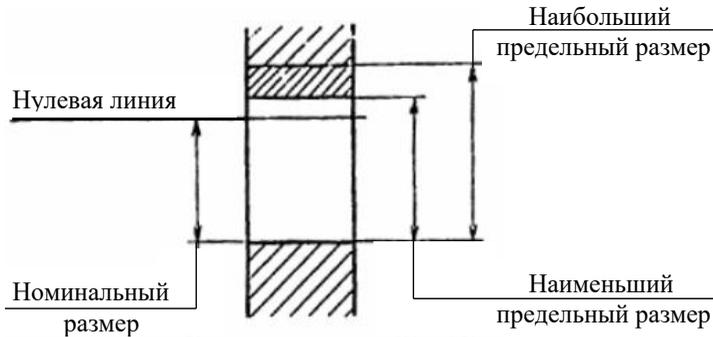


Рисунок 3.1 – Размеры

*Отклонение* – алгебраическая разность между размером (действительным или предельным размером) и соответствующим номинальным размером.

*Действительное отклонение* – алгебраическая разность между действительным и соответствующим номинальным размерами.

*Предельное отклонение* – алгебраическая разность между предельным и соответствующим номинальным размерами. Различают верхнее и нижнее предельные отклонения.

*Верхнее отклонение  $ES, es$*  – алгебраическая разность между наибольшим предельным и соответствующим номинальным размерами (рисунок 3.2).

*Нижнее отклонение  $EI, ei$*  – алгебраическая разность между наименьшим предельным и соответствующим номинальным размерами (рисунок 3.2). *Основное отклонение* – одно из двух предельных отклонений (верхнее или нижнее), определяющее положение поля допуска относительно нулевой линии. В данной системе допусков и посадок основным является отклонение, ближайшее к нулевой линии.

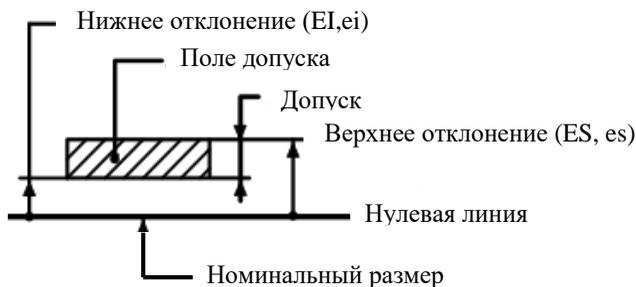


Рисунок 3.2 – Отклонение размера

*Нулевая линия* – линия, соответствующая номинальному размеру, от которой откладываются отклонения размеров при графическом изображении полей допусков и посадок. Если нулевая линия расположена горизонтально, то положительные отклонения откладываются вверх от нее, а отрицательные – вниз (рисунок 3.2).

*Допуск  $T$*  – разность между наибольшим и наименьшим предельными размерами или алгебраическая разность между верхним и нижним отклонениями (рисунок 3.2). Допуск – это абсолютная величина без знака.

*Стандартный допуск  $IT$*  – любой из допусков, устанавливаемых данной системой допусков и посадок.

*Поле допуска* – поле, ограниченное наибольшим и наименьшим предельными размерами и определяемое величиной допуска и его положением относительно номинального размера. При графическом изображении поле допуска заключено между двумя линиями, соответствующими верхнему и нижнему отклонениям относительно нулевой линии (рисунок 3.2).

*Квалитет (степень точности)* – совокупность допусков, рассматриваемых как соответствующие одному уровню точности для всех номинальных размеров.

*Единица допуска  $i, I$*  – множитель в формулах допусков, являющийся функцией номинального размера, и служащий для определения числового значения допуска.  $i$  – единица допуска для номинальных размеров до 500 мм,  $I$  – единица допуска для номинальных размеров св. 500 мм.

*Вал* – термин, условно применяемый для обозначения наружных элементов деталей, включая и нецилиндрические элементы.

*Отверстие* – термин, условно применяемый для обозначения внутренних элементов деталей, включая и нецилиндрические элементы.

*Основной вал* – вал, верхнее отклонение которого равно нулю.

Основное отверстие – отверстие, нижнее отклонение которого равно нулю.

*Предел максимума материала* – термин, относящийся к тому из предельных размеров, которому соответствует наибольший объем материала, т. е. наибольшему предельному размеру вала или наименьшему предельному размеру отверстия.

*Предел минимума материала* – термин, относящийся к тому из предельных размеров, которому соответствует наименьший объем материала, т. е. наименьшему предельному размеру вала или наибольшему предельному размеру отверстия.

*Посадка* – характер соединения двух деталей, определяемый разностью их размеров до сборки.

*Номинальный размер посадки* – номинальный размер, общий для отверстия и вала, составляющих соединение.

*Допуск посадки* – сумма допусков отверстия и вала, составляющих соединение.

*Зазор* – разность между размерами отверстия и вала до сборки, если размер отверстия больше размера вала (рисунок 3.3).

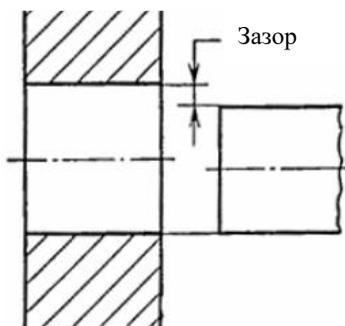


Рисунок 3.3 – Зазор

*Натяг* – разность между размерами вала и отверстия до сборки, если размер вала больше размера отверстия (рисунок 3.4).

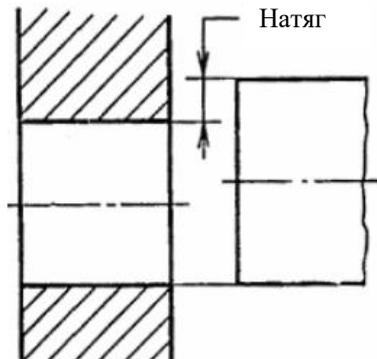


Рисунок 3.4 – Натяг

Натяг можно определять как отрицательную разность между размерами отверстия и вала.

*Посадка с зазором* – посадка, при которой всегда образуется зазор в соединении, т. е. наименьший предельный размер отверстия больше наибольшего предельного размера вала или равен ему. При графическом изображении поле допуска отверстия расположено над полем допуска вала (рисунок 3.5).

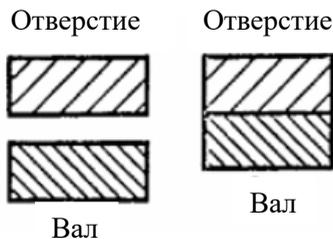


Рисунок 3.5 – Посадка с зазором

*Посадка с натягом* – посадка, при которой всегда образуется натяг в соединении, т. е. наибольший предельный размер отверстия меньше наименьшего предельного размера вала или равен ему. При графическом изображении поле допуска отверстия расположено под полем допуска вала (рисунок 3.6).

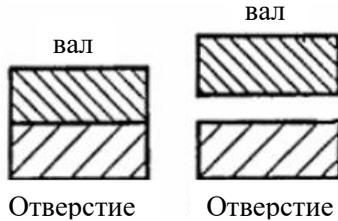


Рисунок 3.6 – Посадка с натягом

*Переходная посадка* – посадка, при которой возможно получение, как зазора, так и натяга в соединении, в зависимости от действительных размеров отверстия и вала. При графическом изображении поля допусков отверстия и вала перекрываются полностью или частично (рисунок 3.7).

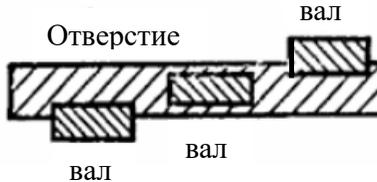


Рисунок 3.7 – Переходная посадка

*Наименьший зазор* – разность между наименьшим предельным размером отверстия и наибольшим предельным размером вала в посадке с зазором (рисунок 3.8).

*Наибольший зазор* – разность между наибольшим предельным размером отверстия и наименьшим предельным размером вала в посадке с зазором или в переходной посадке (рисунок 3.8).

*Наименьший натяг* – разность между наименьшим предельным размером вала и наибольшим предельным размером отверстия до сборки в посадке с натягом (рисунок 3.9).

*Наибольший натяг* – разность между наибольшим предельным размером вала и наименьшим предельным размером отверстия до сборки в посадке с натягом или в переходной посадке (рисунок 3.9).

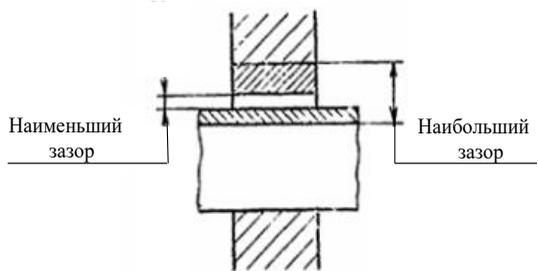


Рисунок 3.8 – Посадка с зазором

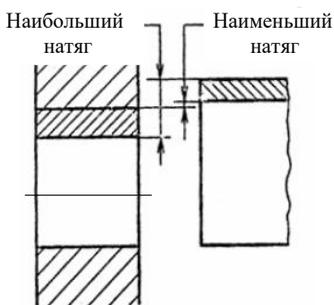


Рисунок 3.9 – Посадка с натягом

*Посадки в системе отверстия* – посадки, в которых требуемые зазоры и натяги получаются сочетанием различных полей допусков валов с полем допуска основного отверстия (рисунок 3.10).

*Посадки в системе вала* – посадки, в которых требуемые зазоры и натяги получаются сочетанием различных полей допусков отверстий с полем допуска основного вала (рисунок 3.11).

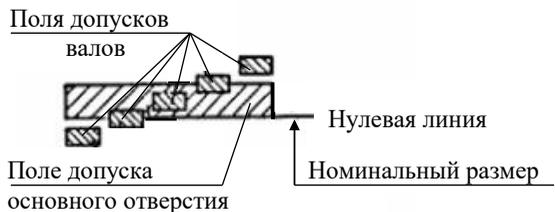


Рисунок 3.10 – Посадки в системе отверстия

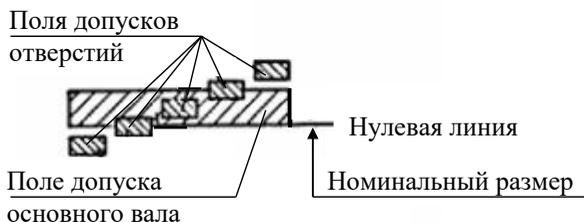


Рисунок 3.11 – Посадки в системе вала

## 3.2. Условные обозначения

### 3.2.1 Квалитеты

Квалитеты обозначаются порядковыми номерами, например, 01, 7, 14.

Допуски по квалитетам обозначаются сочетанием прописных букв IT с порядковым номером квалитета, например, IT01, IT7, IT14.

### 3.2.2 Поле допуска

Поле допуска обозначается сочетанием буквы (букв) основного отклонения и порядкового номера квалитета. Например: g6, js7, H7, H11.

Обозначение поля допуска указывается после номинального размера элемента. Например: 40g6, 40H7, 40H11.

В обоснованных случаях допускается обозначать поле допуска с основным отклонением «H» символом «+IT», с основным отклонением «h» – символом «-IT», с отклонениями «js» или «JS» – символом «±IT/2». Например: +IT14, -IT14, ±IT14/2.

### 3.2.3 Посадка

Посадка обозначается дробью, в числителе которой указывается обозначение поля допуска отверстия, а в знаменателе – обозначение поля допуска вала. Например: H7/g6 или Hg76. Обозна-

чение посадки указывается после номинального размера посадки. Например: 40H7/g6 или 40 Hg76.

### **3.2.4 Интерпретация предельных размеров**

Для отверстий – диаметр наибольшего правильного воображаемого цилиндра, который может быть вписан в отверстие так, чтобы плотно контактировать с наиболее выступающими точками поверхности на длине соединения (размер сопрягаемой детали идеальной геометрической формы, прилегающей к отверстию без зазора), не должен быть меньше, чем предел максимума материала. Дополнительно наибольший диаметр в любом месте отверстия, определенный путем двухточечного измерения, не должен быть больше, чем предел минимума материала.

Для валов – диаметр наименьшего правильного воображаемого цилиндра, который может быть описан вокруг вала так, чтобы плотно контактировать с наиболее выступающими точками поверхности на длине соединения (размер сопрягаемой детали идеальной геометрической формы прилегающей к валу без зазора), не должен быть больше, чем предел максимума материала. Дополнительно наименьший диаметр в любом месте вала, определенный путем двухточечного измерения, не должен быть меньше, чем предел минимума материала.

### **3.2.5 Числовые значения допусков**

Стандартом ГОСТ 25346–89 установлено 20 квалитетов 01, 0, 1, 2...18. Квалитеты от 01 до 5 предназначены преимущественно для калибров.

Числовые значения допусков приведены в таблице 3.1.

Таблица 3.1 – Числовые значения допусков

Интервал номинальных размеров, мм	Квалитет																				
	01	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
Св.	МКМ									ММ											
До																					
0	0,3	0,5	0,8	1,2	2	3	4	6	0,010	0,014	0,025	0,040	0,060	0,10	0,14	0,25	0,40	0,60	1,00	1,4	
3	0,4	0,6	1	1,5	2,5	4	5	8	0,012	0,018	0,030	0,048	0,075	0,12	0,18	0,30	0,48	0,75	1,20	1,8	
6	0,4	0,6	1	1,5	2,5	4	6	9	0,015	0,022	0,036	0,058	0,090	0,15	0,22	0,36	0,58	0,90	1,50	2,2	
10	0,5	0,8	1,2	2	3	5	8	11	0,018	0,027	0,043	0,070	0,110	0,18	0,27	0,43	0,70	1,10	1,80	2,7	
18	0,6	1	1,5	2,5	4	6	9	13	0,021	0,033	0,052	0,084	0,130	0,21	0,33	0,52	0,84	1,30	2,10	3,3	
30	0,6	1	1,5	2,5	4	7	11	16	0,025	0,039	0,062	0,100	0,160	0,25	0,39	0,62	1,00	1,60	2,50	3,9	
50	0,8	1,2	2	3	5	8	13	19	0,030	0,046	0,074	0,120	0,190	0,30	0,46	0,74	1,20	1,90	3,00	4,6	
80	1	1,5	2,5	4	6	10	15	22	0,035	0,054	0,087	0,140	0,220	0,35	0,54	0,87	1,40	2,20	3,50	5,4	
120	1,2	2	2,5	5	8	12	18	25	0,040	0,063	0,100	0,160	0,250	0,40	0,63	1,00	1,60	2,50	4,00	6,3	
180	2	3	4,5	7	10	14	20	29	0,046	0,072	0,115	0,185	0,290	0,46	0,72	1,15	1,85	2,90	4,60	7,2	
250	2,5	4	6	8	12	16	23	32	0,052	0,081	0,130	0,210	0,320	0,52	0,81	1,30	2,1	3,20	5,20	8,1	
315	400	3	5	7	9	13	18	25	36	0,057	0,089	0,140	0,230	0,360	0,57	0,89	1,40	2,3	3,60	5,70	8,9
400	500	4	6	8	10	15	20	27	40	0,063	0,097	0,155	0,250	0,400	0,63	0,97	1,55	2,5	4,00	6,30	9,7
500	630	4,5	6	9	11	16	22	30	44	0,070	0,110	0,175	0,280	0,440	0,70	1,10	1,75	2,8	4,40	7,00	11,0
630	800	5	7	10	13	18	25	35	50	0,080	0,125	0,200	0,320	0,500	0,80	1,25	2,00	3,2	5,00	8,00	12,5
800	1000	5,5	8	11	15	21	29	40	56	0,090	0,140	0,230	0,360	0,560	0,90	1,40	2,30	3,6	5,60	9,00	14,0
1000	1250	6,5	9	13	18	24	34	46	66	0,105	0,165	0,260	0,420	0,660	1,05	1,65	2,60	4,2	6,60	10,5	16,5
1250	1600	8	11	15	21	29	40	54	78	0,125	0,195	0,310	0,500	0,780	1,25	1,95	3,10	5,0	7,80	12,5	19,5
1600	2000	9	13	18	25	35	48	65	92	0,150	0,230	0,370	0,600	0,920	1,50	2,30	3,70	6,0	9,20	15,0	23,0
2000	2500	11	15	22	30	41	57	77	110	0,175	0,280	0,440	0,700	1,1	1,75	2,80	4,40	7,0	11,0	17,5	28,0
2500	3150	13	18	26	36	50	69	93	135	0,210	0,330	0,540	0,860	1,35	2,10	3,30	5,40	8,6	13,5	21,0	33,0

## Вопросы для самопроверки:

1. Основные положения.
2. Допуск.
3. Посадка.
4. Термины и определения.
5. Размер.
6. Действительный размер.
7. Наибольший предельный размер.
8. Наименьший предельный размер.
9. Номинальный размер.
10. Отклонение.
11. Действительное отклонение.
12. Предельное отклонение.
13. Верхнее отклонение.
14. Нижнее отклонение.
15. Нулевая линия.
16. Стандартный допуск.
17. Поле допуска.
18. Квалитет.
19. Единица допуска.
20. Вал.
21. Отверстие.
22. Основной вал.
23. Основное отверстие.
24. Предел максимума материала.
25. Предел минимума материала.
26. Номинальный размер посадки.
27. Допуск посадки.
28. Зазор.
29. Натяг.
30. Посадка с натягом.
31. Переходная посадка.
32. Наименьший зазор.
33. Наибольший зазор.
34. Наименьший натяг.
35. Наибольший натяг.
36. Посадки в системе отверстия.
37. Посадки в системе вала.
38. Интерпретация предельных размеров для отверстий, для валов.

## Глава 4 РАЗМЕРНЫЕ ЦЕПИ

Размерной цепью называется совокупность взаимосвязанных размеров, определяющих взаимное расположение осей и поверхностей одной детали или нескольких деталей в изделии, расположенных в определённой последовательности по замкнутому контуру, и непосредственно влияющих на точность одного из размеров контура [14].

### 4.1 Виды и характеристика размерных цепей

Каждая размерная цепь состоит из составляющих звеньев (размеров) цепи и замыкающего звена (размера).

Замыкающим размером называется размер, получающийся последним в процессе обработки детали или сборки узла, величина и точность которого зависят от величины и точности всех остальных размеров цепи, называемых составляющими.

По взаимному расположению размеров размерные цепи делятся на линейные, плоскостные, пространственные и угловые [15].

**Линейными** называются размерные цепи, звенья которых расположены параллельно друг другу.

**Плоскостными** называются размерные цепи, все или часть звеньев которых не параллельны друг другу, но расположены в одной или нескольких параллельных плоскостях.

**Пространственными** называются размерные цепи, все или часть звеньев которых не параллельны друг другу и расположены в непараллельных плоскостях.

**Угловыми** называются размерные цепи, все звенья которых угловые величины. Признаками составляющих размеров угловой цепи часто является перпендикулярность, непараллельность осей и поверхностей и тому подобные погрешности взаимного расположения поверхностей и осей деталей.

Составляющие размеры размерной цепи разделяются на увеличивающие и уменьшающие.

**Увеличивающими** называются составляющие размеры, при увеличении которых замыкающий размер увеличивается.

**Уменьшающими** называются составляющие размеры, при увеличении которых замыкающий размер уменьшается.

Размер сборочной размерной цепи, который определяет функционирование узла или механизма, называется исходным (функциональным) размером (зазор, натяг, величина перемещения детали и т. д.). В процессе сборки этот размер, как правило, является замыкающим.

Предельные отклонения размеров назначают, в основном, руководствуясь следующими правилами:

- для охватываемых размеров отклонение назначается в «-» ;
- для охватывающих размеров отклонение назначается в «+»;
- для прочих размеров отклонения назначаются симметрично – «±» (отклонения по абсолютной величине равны половине допуска) – допуск назначается в тело детали.

При расчете размерных цепей различают прямую и обратную задачи.

**Прямая задача** заключается в определении допуска и предельных отклонений составляющих размеров по заданным номинальным размерам всех звеньев цепи, и заданным предельным отклонениям исходного (замыкающего) звена. Прямая задача, связанная с размерными цепями, решается при проектировании новых конструкций деталей, узлов и машин (проектные расчеты).

**Обратная задача** заключается в определении номинального значения, допуска и предельных отклонений замыкающего размера по заданным номинальным размерам и предельным отклонениям составляющих звеньев. Обратная задача решается в случаях, когда в чертежах допуски на составляющие размеры установлены конструктором, исходя из конструктивных, технологических и экономических соображений и требуется проверить их соответствие допуску замыкающего звена (проверочные расчеты).

В размерном анализе и синтезе конструкций изделий, как прямые, так и обратные задачи размерного анализа можно решать различными методами. Выбирают методы достижения точности замыкающего звена, обусловленные способами решения размерных цепей. Методы автономны, к ним относятся следующие:

- методом полной взаимозаменяемости;
- методом неполной взаимозаменяемости;
- метод групповой взаимозаменяемости;
- метод пригонки;
- метод регулирования.

**Метод полной взаимозаменяемости** – метод, при котором требуемая точность замыкающего звена размерной цепи достигается во всех случаях ее реализации путем включения составляющих звеньев без выбора, подбора или изменения их значений. Чтобы обеспечить полную взаимозаменяемость, размерные цепи рассчитывают способом на максимум-минимум, учитывающим только предельные отклонения звеньев размерной цепи и самые неблагоприятные их сочетания при помощи системы аддитивных допусков. При таких допусках влияние их на издержки производства значительное. Обеспечение заданных предельных отклонений при этом приводит к резкому повышению стоимости, а поэтому расчеты экономически оптимальной точности необходимы.

**Метод неполной взаимозаменяемости** применяется, когда требуемая точность замыкающего звена размерной цепи достигается с некоторым риском путем включения в нее составляющих звеньев без участия других методов. В этом случае допускаются перекрывающиеся допуски, и сборка может проходить с помощью методов групповой взаимозаменяемости, регулирования, пригонки, опираясь на теоретико-вероятностный метод расчета. Теоретико-вероятностный метод ограничивает выпуск бракованной продукции до небольшого допустимого предела с применением системы перекрывающихся допусков на основе случайного отбора деталей.

**Метод групповой взаимозаменяемости**, при котором требуемая точность замыкающего звена размерной цепи достигается путем включения в размерную цепь составляющих звеньев, принадлежащих к соответственным группам, на которые они предварительно рассортированы. Выбор метода представляет экономическую проблему и предполагает дополнительные издержки производства. Сортировка деталей увеличивает затраты на новую измерительную технику и привлекает дорогостоящие контроль-

ные автоматы. Увеличиваются затраты труда контролеров. Растут складские расходы в связи с дополнительными затратами по хранению отсортированных деталей.

**Метод пригонки**, при котором требуемая точность замыкающего звена размерной цепи достигается изменением значения компенсирующего звена путем удаления с компенсатора определенного слоя материала по оставленному припуску. Применяют способы совместной обработки деталей и при большом объеме выполняемых работ, при высокой точности его автоматизируют.

**Метод регулирования**, когда требуемая точность замыкающего звена размерной цепи достигается изменением значения компенсирующего звена без удаления материала с компенсатора. Роль компенсатора обычно выполняет специальное звено в виде прокладки, регулируемого упора, клина и т. д. При этом по всем остальным размерам цепи детали обрабатывают по расширенным допускам, экономически приемлемым для данных производственных условий. К недостаткам метода следует отнести увеличение числа деталей в изделии, что усложняет конструкцию, сборку и эксплуатацию.

Плоские и пространственные размерные цепи рассчитывают теми же методами, что и линейные. Необходимо лишь привести их к виду линейных размерных цепей. Это достигается путем проектирования размеров плоской цепи на одно направление, обычно совпадающее с направлением замыкающего размера, а пространственной цепи – на две или три взаимно перпендикулярные оси.

## **4.2 Расчет размерных цепей**

### **4.2.1 Порядок теоретического расчета**

Выявляется замыкающее звено и составляющие звенья размерной цепи по сборочному чертежу изделия. По рабочим чертежам деталей устанавливаются номинальные размеры, допуски и предельные отклонения на все составляющие звенья размерной цепи. Составляется схема размерной цепи, и определяются типы составляющих звеньев.

Выбирается метод расчета размерных цепей.

Производится вычисление номинального размера, допуска и координаты середины поля допуска замыкающего звена в зависимости от принятого метода расчета размерных цепей.

При производственном расчете также определяются предельные отклонения замыкающего звена, и выполняется сравнение полученных результатов с теоретическими расчетами. Вносятся соответствующие коррективы.

Основной целью расчета размерных цепей является критический анализ правильности простановки размеров, допусков и предельных отклонений на размеры составляющих звеньев, а также выбора метода достижения точности замыкающего звена и выбора метода сборки.

Практика показывает, что нередко в рабочих чертежах деталей допуски на ответственные размеры либо отсутствуют, либо установлены слишком жесткими, либо наоборот – очень широкими. В данном случае допуски должны быть изменены и согласованы с конструктором.

#### 4.2.2 Основные соотношения размерных цепей

Размерная цепь всегда замкнута. На основании этого свойства существует зависимость, которая связывает номинальные размеры звеньев. Для плоских размерных цепей с номинальными звеньями она имеет следующий вид:

$$A_{\Delta} = \sum_{i=1}^n \overrightarrow{A}_i - \sum_{i=1}^m \overleftarrow{A}_i, \quad (4.1)$$

где  $n$  и  $m$  – число соответственно увеличивающих и уменьшающих звеньев в размерной цепи.

Для определения зависимости, которая связывает допуски звеньев в размерной цепи, найдем вначале наибольшее значение замыкающего звена:

$$A_{\Delta}^{\max} = \sum_{i=1}^n \overrightarrow{A}_i^{\max} - \sum_{i=1}^m \overleftarrow{A}_i^{\min}, \quad (4.2)$$

затем наименьшее значение:

$$A_{\Delta}^{\min} = \sum_{i=1}^n \overrightarrow{A_i^{\min}} - \sum_{i=1}^m \overleftarrow{A_i^{\max}}. \quad (4.3)$$

Вычитая из (4.2) (4.3), получаем:

$$T_{\Delta} = \sum_{i=1}^{k-1} T_i, \quad (4.4)$$

где  $k$  – количество звеньев размерной цепи, включая замыкающее звено.

Из формулы (4.4) следует, что допуск размера замыкающего звена равен сумме допусков размеров составляющих звеньев. Поэтому для обеспечения наибольшей точности замыкающего звена размерная цепь должна состоять по возможности из меньшего числа звеньев. Аналогичным образом определяются верхние и нижние отклонения замыкающего звена:

$$ES(A_{\Delta}) = \sum_{i=1}^n ES(\overrightarrow{A_i}) - \sum_{i=1}^m ES(\overleftarrow{A_i}), \quad (4.5)$$

$$EI(A_{\Delta}) = \sum_{i=1}^n EI(\overrightarrow{A_i}) - \sum_{i=1}^m EI(\overleftarrow{A_i}). \quad (4.6)$$

Координата середины поля допуска замыкающего звена определяется выражением:

$$C_{\Delta} = \sum_{i=1}^n \overline{C_i} - \sum_{i=1}^m \overline{C_i}. \quad (4.7)$$

Таким образом, если известны размеры и поля допусков составляющих звеньев размерной цепи, то по формулам (4.1)–(4.7) можно определить все параметры замыкающего звена.

Расчет размерных цепей при решении прямой задачи состоит из следующих этапов:

- выявляется замыкающее звено, и определяются его номинальный размер, допуск и координата середины поля допуска;
- выявляются составляющие звенья и определяются по рабочим чертежам деталей их номинальные размеры. Производится проверка правильности установления номинальных размеров по формуле (4.1);

- если в изделии несколько размерных цепей, связанных друг с другом, то составляется таблица с указанием для каждой цепи среднего значения номинальных размеров и среднего значения допуска для составляющих звеньев;
- по среднему значению допуска на составляющие звенья и по величине допуска на замыкающее звено выбирается метод достижения точности замыкающего звена и устанавливается очередность расчета размерных цепей. Дальнейший порядок расчета размерных цепей зависит от выбранного достижения точности замыкающего звена.

При решении обратной задачи порядок расчета размерных цепей будет несколько иным. При этом следует различать теоретические и производственные расчеты. Теоретические расчеты используются технологами сборщиками при внедрении в производство новых изделий с целью установления методов сборки. Производственные расчеты выполняются в условиях, когда изделие уже находится в производстве, и цель их заключается в проверке правильности назначения допусков на составляющие звенья, а при расчете по вероятностному методу и в уточнении принятых значений коэффициентов относительного рассеивания и относительной асимметрии.

### 4.3 Виды размерных цепей

Существуют следующие задачи расчета размерных цепей – задача синтеза и задача анализа.

**Задача синтеза** (прямая задача) – задача, при которой заданы параметры замыкающего звена (номинальное значение, допустимые отклонения и допуски) и требуется определить параметры составляющих звеньев.

**Задача анализа** (обратная задача) – в которой известны параметры составляющих звеньев и требуется определить параметры замыкающего звена.

Сущность расчета размерной цепи заключается в установлении допусков, предельных отклонений, координат их середин, номинальных размеров всех звеньев.

По виду задач, в решении которых участвуют цепи, они делятся на конструкторские и технологические.

**Конструкторские** размерные цепи решают задачу по обеспечению точности при конструировании. Они устанавливают связь размеров детали в изделии. На рисунке 4.1 приведены примеры сборочных размерных цепей.

На рисунке 4.1, *а* приведена элементарная сборочная размерная цепь, решающая задачу обеспечения точности сопряжения двух деталей. На рисунке 4.1, *б* также показана сборочная цепь, которая решает задачу обеспечения перпендикулярности поверхности 2 к оси 1, необходимой для базирования подшипника качения.

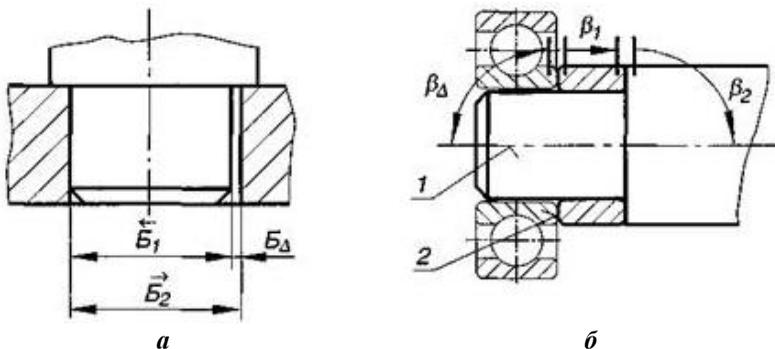


Рисунок 4.1 – Примеры сборочных размерных цепей

**Технологические** размерные цепи решают задачу по обеспечению точности при изготовлении изделий. Они устанавливают связь размеров деталей на разных этапах технологического процесса. На рисунке 4.2, *а* изображена деталь с размерами, которые следует выдержать при изготовлении. Последовательность получения размеров приведена на рисунке 4.2, *б, в, г*. На основании предложенного маршрута обработки построена технологическая размерная цепь (см. рисунок 4.2, *д*). При обработке детали выдерживаются размеры:  $C_1$ ,  $C_2$ ,  $C_3$ , а размер  $C_{\Delta}$  получается автоматически.

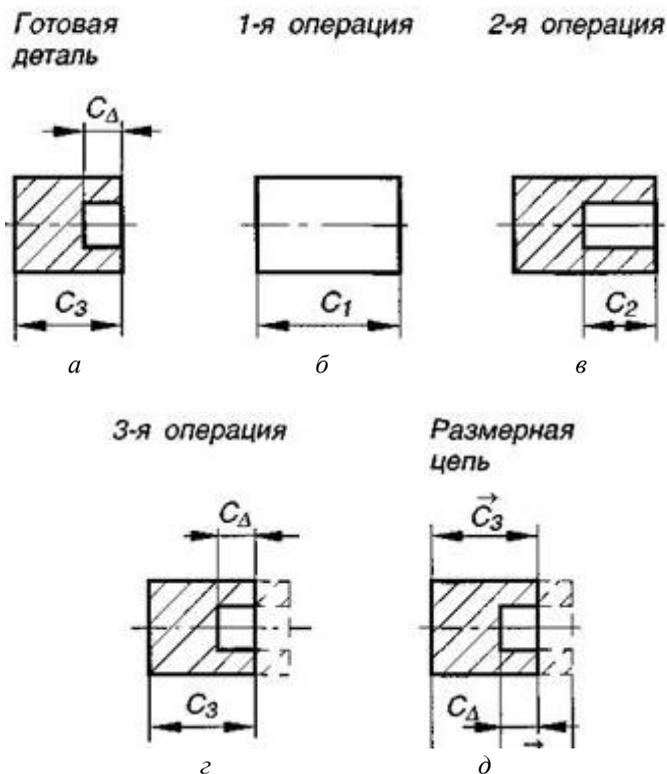


Рисунок 4.2 – Принципы построения технологических размерных цепей

Перед тем как построить размерную цепь, следует выявить замыкающее звено, которое, допустим, определяет нормальное функционирование механизма. Размер или предельное отклонение замыкающего звена назначают или рассчитывают исходя из условий работы и требуемой точности.

Например, размер и предельные отклонения замыкающего звена  $A_\Delta$  принимаются такими, которые обеспечивали бы свободное вращение зубчатого колеса при минимальном возможном смещении его вдоль оси. Несовпадение вершины делительного конуса конической шестерни с осью вращения конического коле-

са (рисунок 4.5, *а, б*) определяется степенью точности зубчатых колес, а его предельные значения находятся по соответствующему стандарту. Надо только установить, между какими деталями стоит размер замыкающего звена, а затем связать эти детали цепью размеров.

Например, на рисунке 4.3, *б* размер замыкающего звена  $B_{\Delta}$  стоит между осью и торцом зубчатого колеса; на рисунке 4.5, *а*  $A_{\Delta}$  стоит между осью отверстия в корпусе и вершиной делительного конуса конического колеса и т. д.

Рассмотрим наиболее типичные варианты сборочных размерных цепей. Первый вид размерных цепей приведен на рисунке 4.3, второй – на рисунке 4.4, третий – на рисунке 4.5.

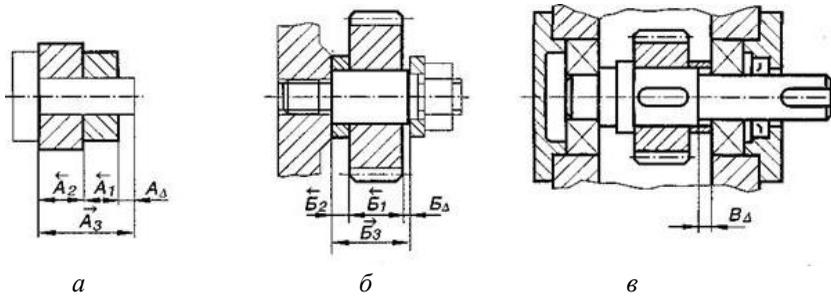


Рисунок 4.3 – Первый вид размерной цепи

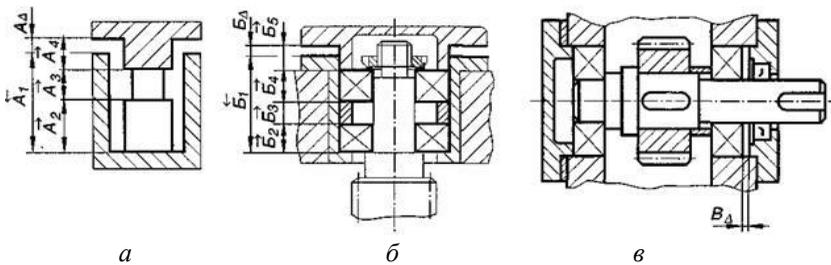


Рисунок 4.4 – Второй вид размерной цепи

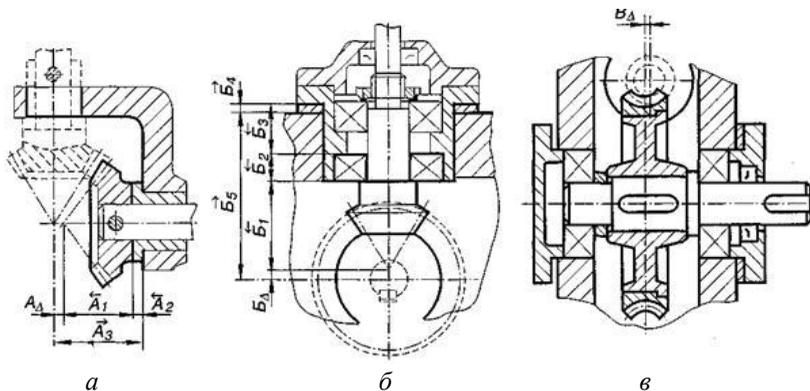


Рисунок 4.5 – Третий вид размерной цепи

При построении размерных цепей следует руководствоваться их основными свойствами:

- цепь должна быть замкнута;
- размер любого звена сборочной цепи должен относиться к элементам одной и той же детали, исключением является замыкающее звено, которое всегда соединяет элементы разных деталей;
- цепь должна быть проведена наикратчайшим способом, т. е. деталь своими элементами должна входить в размерную цепь только один раз.

### Вопросы для самопроверки:

1. Виды и характеристика размерных цепей.
2. Линейные размерные цепи.
3. Плоскостные размерные цепи.
4. Пространственные размерные цепи.
5. Угловые размерные цепи.
6. Увеличивающие составляющие размеры.
7. Уменьшающие составляющие размеры.
8. Прямая задача расчета размерных цепей.
9. Обратная задача расчета размерных цепей.
10. Метод полной взаимозаменяемости .
11. Метод неполной взаимозаменяемости .

12. Метод групповой взаимозаменяемости .
13. Метод пригонки.
14. Метод регулирования.
15. Порядок теоретического расчета.
16. Основные соотношения размерных цепей.
17. Задача синтеза (прямая задача).
18. Задача анализа (обратная задача).
19. Конструкторские размерные цепи.
20. Технологические размерные цепи.

## Глава 5 КАЧЕСТВО ПРИБОРОВ

### 5.1 Определение качества приборов

Качество прибора – это степень соответствия прибора своему прямому назначению, свойства прибора, обуславливающие его способность выполнять заданные функции в определенных условиях эксплуатации. Качество прибора характеризуется следующими показателями: надежность, технологичность, точность, удобство обслуживания, транспортабельность и др., а также свойствами, определяющими эстетические, экологические и эргономические показатели прибора, степень использования в нем унифицированных и стандартных изделий. В зависимости от конструкции, условий эксплуатации и вида прибора некоторые показатели могут отсутствовать. Перечень обязательных показателей для конкретных видов приборов устанавливается в соответствующей нормативно-технической документации. Показатель, характеризующий одно свойство прибора, называется единичным, характеризующий два и более свойств прибора, называется комплексным. Качество прибора оценивается на стадии разработки, производства и эксплуатации.

Соответствие установленным техническим требованиям проверяется при оценке уровня качества прибора на всех указанных стадиях. Каждое выявленное несоответствие анализируется, принимаются оперативные меры по его устранению. На стадии разработки качество прибора оценивается по его соответствию требованиям технического задания, которые отражают требования заказчика к основным свойствам и функциям разрабатываемого прибора. На стадии производства, при определении уровня качества, помимо показателей качества самих приборов, учитывается качество технологических процессов их изготовления, определяемое как в процессе изготовления прибора, так и по результатам его испытаний. На стадии эксплуатации качество прибора оценивается по поступающим от потребителей рекламациям. Результаты оценки достигнутого уровня качества используются при утверждении технических заданий на разработку новых видов приборов, а также при приемке законченных разработок, оценке

результатов испытаний опытных партий изделий и организации промышленного производства.

Контроль качества включает входной контроль, контроль точности технологических процессов и приемочный контроль.

Входной контроль проводят для обеспечения производства приборов сырьем и полуфабрикатами, отвечающими требованиям нормативно-технической документации на изготовление этих приборов.

Результаты контроля точности технологических процессов используются для целенаправленного регулирования самого процесса [11]. Этому виду контроля подвергаются как технологические операции, так и приборы или устройства, изготавливаемые в результате выполнения этих операций, такой контроль называется операционным. При операционном контроле выявляют причины, приводящие к нарушению точности выполнения технологической операции, определяют границы регулирования параметров технологического процесса.

Приемочному контролю подвергаются готовые изделия. Такой контроль включает квалификационные, приемо-сдаточные и периодические испытания прибора, а также испытания на долговечность, сохраняемость и (при необходимости) типовые испытания. При неудовлетворительных результатах испытаний проводится анализ причин появления дефектов, и принимаются меры по их устранению.

Управление качеством включает в себя пути повышения качества полуфабрикатов и комплектующих изделий, исходных материалов, а также производств, оборудования, приспособлений, инструментов. Система управления качеством состоит из совокупности объектов и органов управления производством, обеспечивающих промышленный выпуск приборов необходимого качества при минимальных материальных затратах в установленные сроки. Управление качеством включает учет и контроль, анализ оценку и планирование качества, а также разработку решений по выполнению плановых заданий.

Планирование качества приборов осуществляется путем разработки научно обоснованных заданий и организационных меро-

приятый и предполагает обеспечение их выполнения в установленные сроки на основе наилучшего использования имеющихся ресурсов на поддержание достигнутого уровня качества.

## **5.2 Технологичность конструкции прибора**

Технологичность конструкции прибора является совокупностью свойств прибора конструкции и относится к показателям его качества. Технологичность конструкции прибора проявляется в возможности оптимальных затрат труда, средств, времени, материалов и при проектировании, подготовки производства, изготовлении, эксплуатации, и ремонте прибора по сравнению с соответствующими показателями однотипных конструкций изделий того же назначения. При обязательном соблюдении принятых показателей качества и установленных условиях изготовления, эксплуатации и ремонта. К условиям изготовления, эксплуатации и ремонта прибора относятся тип производства, обусловленный годовой программой и повторяемостью выпуска, применяемые технологические процессы, а также специализация и организация производства.

Различают технологичность проектирования прибора, производственную, эксплуатационную технологичность и при техническом обслуживании и ремонте, технологичность конструкции детали и сборочной единицы, технологичность по форме поверхности, размерам и материалам.

**Технологичность проектирования прибора предусматривает:**

- использование стандартных и унифицированных деталей;
- взаимозаменяемость деталей;
- применение ограниченного количества размеров, посадок и т. п.;
- проста и дешевизна конструкции;
- минимальные затраты труда и времени на подготовку производства;
- минимальная материалоемкость;
- допускать применение передовых методов технологии.

Конструктор совместно с технологом в первую очередь должен установить тип производства, материалоемкость изделия и технологию его изготовления с учетом минимальной трудоемкости и максимальной экономичности изделия в производстве и эксплуатации

Простота конструкции ведет к снижению веса и габаритов прибора и сокращает объем проектировочных работ, большей частью уменьшает потребность в количестве оборудования и в производственной площади [5].

Для повышения технологичности конструкции большое значение имеет устранение неоправданно жестких требований к основным параметрам изделий и лишним запасам прочности.

Технологичность конструирования прибора во многом зависит от стандартизации и унификации сборочных единиц и деталей и от того, насколько полно и эффективно конструктор реализует их в конструкции прибора. Унификация, как способ технологичности, предусматривает широкое использование в создаваемой конструкции уже освоенных деталей, тем самым позволяет увеличить масштабы их выпуска, применить более совершенные методы технологии и организации производства за счет уже накопленного опыта по их применению в производстве. Стандартизация связана также с унификацией деталей и сборочных единиц ограничением числа типоразмеров отдельных конструктивных элементов деталей (модулей, посадок, фасок, резьб, радиусов, и т. д.).

При проектировании необходимо максимально упрощать форму и уменьшать размеры деталей, их обрабатываемых поверхностей, рационально выбирать допуски на изготовление деталей, оптимальную шероховатость, сокращать общее число деталей в конструкции. Предусматривать рациональную компоновку деталей, сборочных единиц, устанавливать соответствующие допуски и посадки, определять рациональную точность и чистоту обработки. Конструктор должен решать экономические вопросы: закладывать повышенную точность при механической обработке введением отделочных операций или применять трудоемкие пригоночные или доводочные работы при сборке.

Работа конструктора и технолога по обеспечению технологичности конструкции выполняется на стадии эскизного, технического проекта и уточняется при разработке рабочего проекта.

При разработке эскизного проекта решаются вопросы:

- выбор рациональной принципиальной схемы и компоновки изделия;
- преимущество разрабатываемого изделия – наиболее совершенного из уже существующих;
- унификации и стандартизации стандартных деталей и сборочных единиц;
- возможность параллельной сборки сборочных единиц.

При разработке технического проекта решаются вопросы:

- обеспечения простоты конструкции изделия;
- точности изготовления деталей и сборочных единиц;
- выбора способов компенсации при обеспечении минимальных доводочных и пригоночных работ.

При проектировании рабочего проекта решаются вопросы:

- сокращения номенклатуры оригинальных деталей за счет использования унифицированных и стандартных деталей;
- рационального уменьшения марок и типоразмеров материалов заготовок;
- обеспечения минимального расхода материалов;
- снижения затрат на обработку деталей за счет применения прогрессивных методов получения заготовок, например штамповкой, литьем и др.

При проектировании рабочих чертежей решаются вопросы:

- дополнительного испытания на надежность наиболее подверженных деформации, поломке и износу деталей и сборочных единиц;
- разработки и изготовления испытательных стендов.

При изготовлении опытных образцов решаются вопросы:

- проверки рабочих чертежей и технических условий;
- проверки технологического процесса изготовления изделия;
- возможности обеспечения заданной надежности изделия.

При испытании изготовлении опытных образцов решаются вопросы:

- определения фактически полученных показателей надежности;
- возможности внесения их в техническую документацию;
- корректировки рабочих чертежей при положительных результатах испытаний;
- корректировки технологического процесса изготовления изделия и технических условий;
- передачи технической документации заводу-изготовителю для изготовления опытной партии [11].

Определение степени технологичности и качества изготовления отдельных сборочных единиц и деталей осуществляется после полной разборки и тщательного измерения с применением металлографического анализа деталей и сборочных единиц опытных образцов изделий, прошедших промышленные испытания в наиболее тяжелых условиях. На основании результатов проверки составляются дефектные ведомости и проводятся необходимые коррективы в конструкцию изделия и технологии его изготовления.

Основным условием обеспечения технологичности и надежности изделия при проектировании является степень полноты отработки конструкторской документации.

### **5.2.1 Показатели технологичности конструкции**

При проектировании изделия учитываются технологические требования, способствующие повышению его качества и надежности и характеризующиеся показателями производственной и эксплуатационной технологичности [11]. Показатели производственной технологичности определяются величиной производственных затрат при изготовлении изделия, и характеризуются сравнением с величиной затрат на изготовление аналогичного с проектированным изделием. Трудоемкость изготовления изделия-аналога принимается исходной при расчете показателей производственной технологичности спроектированного изделия. При этом учитывается планируемый рост производительности

труда. Расчетные показатели корректируются с учетом сложности спроектированного изделия. Формула для расчета ориентировочной трудоемкости спроектированного изделия имеет следующий вид [19]:

$$T_{\text{ри}} = T_{\text{пр}} - T_{\text{пр}}K_{\text{пст}} + T_{\text{пр}}K_{\text{сл}},$$

где  $T_{\text{пр}}$  – трудоемкость изделия-аналога;  $K_{\text{пст}}$  – коэффициент, учитывающий планируемое снижение трудоемкости;  $K_{\text{сл}}$  – коэффициент, учитывающий сложность спроектированного изделия.

Коэффициенты  $K_{\text{пст}}$  и  $K_{\text{сл}}$  определяются нормированием всех операций технологического процесса изготовления спроектированного изделия, в том числе включая контрольные и сборочные операции.

Спроектированное изделие считается технологичным, если трудоемкость его изготовления ниже трудоемкости изготовления изделия-аналога и не превышает трудоемкость, предусмотренную техническим заданием.

Следующим показателем производственной технологичности является коэффициент использования материалов (КПД), который должен быть выше, чем у изделия-аналога. КПД находится из отношения веса изделия к весу расходуемых на его изготовление материалов, за исключением покупных деталей по формуле:

$$\text{КПД} = \frac{V_{\text{из}} - V_{\text{пд}}}{V_{\text{м}}},$$

где  $V_{\text{из}}$  – вес изделия;  $V_{\text{пд}}$  – вес покупных деталей;  $V_{\text{м}}$  – вес материалов.

КПД показывает уровень использования прогрессивных методов получения заготовок деталей для последующей обработки, так же как и для получения самих деталей, как окончательный способ обработки.

Этой же цели служит коэффициент прогрессивности технологии изготовления деталей, получения деталей ( $K_{\text{прт}}$ ) как окончательного способа обработки:

$$K_{\text{прт}} = \frac{\sum D_{\text{штамп}} + \sum D_{\text{лит}} + \sum D_{\text{пласт}}}{\sum D_{\text{диз}}},$$

где  $\sum D_{\text{штамп}}$  – количество штампованных деталей, получаемых;  $\sum D_{\text{лит}}$  – количество литых деталей;  $\sum D_{\text{пласт}}$  – количество пластмассовых деталей;  $\sum D_{\text{из}}$  – общее количество изготавливаемых на предприятии деталей в изделии.

Коэффициент насыщенности изделия стандартными деталями показывает процент стандартных деталей в изделии от их общего числа, включая покупные детали, и находится по формуле:

$$K_{\text{станд}} = \frac{\sum D_{\text{общ}} - \sum D_{\text{станд}}}{\sum D_{\text{общ}}} 100\%,$$

где  $\sum D_{\text{станд}}$  – количество стандартных деталей в изделии, включая покупные;  $\sum D_{\text{общ}}$  – общее количество деталей в изделии, включая покупные.

Коэффициент насыщенности изделия унифицированными деталями показывает:

$$K_{\text{униф}} = \frac{\sum D_{\text{общ}} - \sum D_{\text{униф}}}{\sum D_{\text{общ}}} 100\%,$$

где  $\sum D_{\text{униф}}$  – количество унифицированных деталей в изделии, включая покупные.

Процент суммарной насыщенности изделия стандартными и унифицированными деталями от их общего числа, включая покупные детали, находится по формуле:

$$K_{\text{сун}} = \frac{\sum D_{\text{общ}} - (\sum D_{\text{станд}} + \sum D_{\text{униф}})}{\sum D_{\text{общ}}} 100\%.$$

Стоимость стандартных деталей изделия ( $C_{\text{ст}}$ ) вычисляется по формуле:

$$C_{\text{ст}} = \frac{\sum C_{\text{общ}} - \sum C_{\text{станд}}}{\sum C_{\text{общ}}} 100\%,$$

где  $\sum C_{\text{станд}}$  – стоимость стандартных деталей, включая покупные;  $\sum C_{\text{общ}}$  – общая стоимость деталей изделия, включая покупные.

Стоимость унифицированных деталей изделия ( $C_{\text{ун}}$ ) вычисляется по формуле:

$$C_{\text{ун}} = \frac{\sum C_{\text{общ}} - \sum C_{\text{униф}}}{\sum C_{\text{общ}}} 100\%,$$

где  $\sum C_{\text{униф}}$  – стоимость унифицированных деталей, включая покупные.

Суммарная стоимость стандартизованных и унифицированных деталей ( $C_{\text{стун}}$ ) находится по формуле:

$$C_{\text{стун}} = \frac{\sum C_{\text{общ}} - (\sum C_{\text{станд}} + \sum C_{\text{униф}})}{\sum C_{\text{общ}}} 100\%.$$

### 5.3 Способы повышения точности приборов

Различают два направления в решении вопроса повышения точности приборов. Оба направления связаны с наличием погрешностей прибора. В первом случае рассматривается возможность предотвращения погрешностей, в том случае, если это полностью невозможно, выбирается второй путь – рассматривается возможность и величина снижения влияния погрешностей на рабочие показания прибора.

#### 5.3.1 Методы предотвращения погрешностей

В основе первого пути лежат конструктивные, технологические, предохранительные и защитные методы.

*Технологические методы* предусматривают использование деталей и сборочных единиц, параметры которых и материалы, из которых они изготовлены, выбираются наиболее стабильными из имеющихся в естественном плане, либо стабилизируются искусственно с применением специальных технологических операций, например, старения, которое устраняет остаточные напряжения в результате изготовления изделия. Технологические методы также предусматривают применение стабильных режимов эксплуатации изделия.

**Конструктивные методы.** При конструировании изделия можно предусмотреть устранение частотной зависимости применением частотно-независимых резисторов, а температурной – применением манганиновых резисторов, имеющих минимальный температурный коэффициент сопротивления.

Защитные и предохранительные методы используют для устранения воздействия внешних параметров для уменьшения диапазона изменения погрешностей прибора.

**Защитные методы** могут предусматривать применение экранирования, фильтрации, стабилизации.

**Экранирование** применяют для защиты от внешних магнитных, электрических и электромагнитных полей и влияния внешних магнитных и электрических полей и электромагнитных наводок.

**Фильтрация** применяется в виде электрических фильтров для защиты от пульсаций напряжения и наводок, при наличии магнитных, электрических и электромагнитных связей с другими приборами.

**Стабилизация** применяется для исключения отклонений параметров питания приборов (ток, напряжение) с помощью электрических стабилизаторов.

**Предохранительные методы** могут предусматривать, например, применение термостатирования и реостатирования.

**Термостатирование** применяется для систематического контроля подачи или отбора энергии, подводимой к прибору или системе с применением энергетических или тепловых термостатов.

**Реостатирование** применяется для изменения и стабилизации электрических параметров сети, в которую включен прибор, изменением сопротивления, для чего применяются реостаты.

### 5.3.2 Методы снижения погрешностей

В основе второго пути лежат методы коррекции (обычно систематических погрешностей) и методы статистической минимизации [11].

**Методы коррекции** – их еще называют методами функциональной минимизации погрешностей, обычно применяются для снижения систематических погрешностей измерительных прибо-

ров. Методы коррекции применяются для снижения погрешностей в процессе экспериментального или аналитического их определения.

**Метод статистической минимизации** применяется для снижения случайных погрешностей измерительных приборов. Снижение случайных погрешностей может проводиться как после измерения, так и в процессе его. Если погрешности изменяются по периодическому закону, при интегрировании во времени, равном периоду, уменьшение случайных погрешностей будет осуществляться временным или пространственным осреднением результатов многократных измерений. При этом возможна как ручная коррекция оператором, так и автоматическая.

Ручная коррекция проводится подналадкой, (калибровкой), т. е. регулированием прибора вручную. Обработка результатов измерений, введение поправки может осуществляться без участия оператора.

Автоматическая коррекция либо применяется в схемах прямого преобразования с использованием неинформативного параметра, или внешней влияющей величины, либо в схемах уравнивающего преобразования с использованием самой погрешности, выявленной дополнительными образцовыми измерительными приборами.

При этом рассматривают три составляющие суммарной погрешности:

- погрешность нуля или аддитивную погрешность;
- погрешность чувствительности или мультипликативную погрешность.

**Аддитивная погрешность** обнаруживается на нулевой отметке шкалы прибора и устраняется установкой нуля.

**Мультипликативная погрешность** обнаруживается с помощью масштабного преобразователя или образцовой меры, и устраняется корректировкой после установки нуля, т. е. устранения аддитивной погрешности.

## 5.4 Качество поверхности приборов

### 5.4.1 Топография и контакт поверхностей

Отклонение реальной поверхности от идеальной могут иметь макроскопический, микроскопический и субмикроскопический уровни.

**Макрогеометрия** – это отклонения от геометрической формы в виде конусности, некруглости, бочкообразности, седлообразности, неплоскости (выпуклость, вогнутость) и другие. Особым видом погрешностей является волнистость, представляющая совокупность периодически повторяющихся возвышений и впадин с шагом меньшим, чем у макронеровностей, но большим, чем при микронеровностях [12].

Помимо этого, есть макропогрешность поверхности вращения, называемая огранкой, которая имеет нечетное число равномерно расположенных «граней» довольно большого размера, ввиду чего их нельзя обнаружить измерением диаметра, так как размер в любом диаметральном направлении примерно постоянный. Этот вид погрешности легко обнаруживается индикатором при проверке поверхности на биении.

**Микрогеометрия** – шероховатость поверхности, определяемая высотой ее микронеровностей.

**Субмикрогеометрия** является видом неровностей, отражающих структуру поверхностных слоев металла с учетом его зернистости, точечных и линейных дефектов кристаллической решетки. Субмикрорельеф измеряется на участке в несколько микрометров.

Износостойкость, контактная жесткость и многие другие эксплуатационные качества сопряженных поверхностей, например, вала с подшипником, в значительной степени определяется площадью их фактического контакта, которая значительно меньше их номинальной площади сопряжения. Различают номинальную, контурную и фактическую площадь контакта двух поверхностей.

**Номинальной** называется площадь контакта  $F_n$ , характеризующая размерами поверхностей согласно чертежу, т. е. без учета

всех геометрических видов погрешностей, волнистости и шероховатости. Для вала с подшипником она равна (рисунок 5.1, а):

$$F_n = \ell \pi d.$$

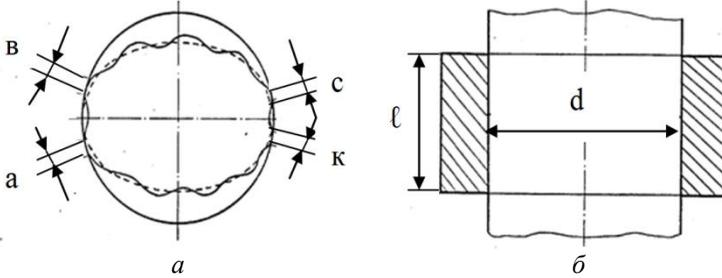


Рисунок 5.1 – Номинальная (а) и контурная (б) площадь контакта цилиндрических поверхностей

**Контурной** называются площадь контакта поверхностей  $F_k$  с учетом наличия погрешностей геометрической формы и волнистости, но без учета шероховатости поверхностей (т. е. как будто бы их нет) (рисунок 5.1, б):

$$F_k = (a+b+c+k)\ell.$$

Контурная площадь контакта меньше номинальной:  $F_k < F_n$ .

**Фактической** называется площадь контакта  $F_\Phi$  с учетом всех погрешностей и шероховатостей поверхностей (рисунок 5.2):

$$F_\Phi = \frac{F_k}{F_n},$$

$$F_\Phi < F_k < F_n.$$

Величина фактической площади контакта, отнесенная к контурной, равна:

$$\Phi = \frac{F_\Phi}{F_k}.$$



В соответствии с ГОСТ 2789–73 под шероховатостью поверхности подразумевается совокупность ее неровностей с относительно малыми шагами. Стандарт устанавливает следующую номенклатуру параметров шероховатости (см. рисунок 5.3).

**Среднее арифметическое отклонение профиля:**

$$Ra = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_i|.$$

Регламентируется оно в пределах  $Ra = 100\text{--}0,08$  мкм (таблица 5.1).

Значения  $Ra$  в скобках являются предпочтительными, они представляют геометрическую прогрессию со знаменателем 0,5 и примерно соответствуют максимальным значениям  $Ra$  по ГОСТ 2789–73.

Таблица 5.1 – Регламентируемые значения  $Ra$

Установленные стандартом значения $Ra$ , мкм				
(100)	10,0	1,00	(0,100)	0,010
80	8,0	(0,80)	0,080	0,008
63	(6,3)	0,63	0,063	-
(50)	5,0	0,50	(0,050)	-
40	4,0	(0,40)	0,040	-
32	(3,2)	0,32	0,032	-
(25)	2,5	0,25	(0,025)	-
20	2,0	(0,20)	0,020	-
16,0	(1,60)	0,160	0,016	-
(12,5)	1,25	0,125	(0,012)	-

В таблице 5.1 геометрическую прогрессию со знаменателем 0,8 представляют 42 значения (числа). Предпочтительными являются 14 значений (начиная со 100 мкм указанных в скобках), которые представляют геометрическую прогрессию со знаменателем 0,5. Поскольку современные средства контроля надежно определяют параметр  $Ra$  лишь от 3,2 до 0,032 мкм (профилографы, профилометры), то лишь 7 предпочтительных значений

среднеарифметического отклонения профиля, входящих в этот интервал, рекомендуется использовать, т. е. 3,2-1,6-0,8-0,4-0,2-0,1-0,05 мкм.

**Средняя высота неровностей профиля по десяти точкам (т. е. по пяти выступам и пяти впадам).** Сумма средних абсолютных значений высот пяти наибольших выступов профиля и глубин пяти наибольших впадин профиля в пределах базовой длины, составит:

$$Rz = \frac{1}{5} \left( \sum_{i=1}^5 |H_{i_{\max}}| + \sum_{i=1}^5 |H_{i_{\min}}| \right)$$

или

$$Rz = \frac{1}{5} \left( \sum_{i=1}^5 |h_{i_{\max}}| - \sum_{i=1}^5 |h_{i_{\min}}| \right).$$

**Наибольшая высота неровностей профиля  $R_{\max}$**  – расстояние между линией выступов и линией впадин в пределах базовой длины. Регламентируется она от 1600 до 0,025 мкм (таблица 5.2).

Таблица 5.2 – Регламентированные значения  $Rz$  и  $R_{\max}$

Установленные стандартом значения $Rz$ и $R_{\max}$ , мкм					
–	1000	(100)	10,0	1,00	(0,100)
–	800	80	8,0	(0,80)	0,008
–	630	63	(6,3)	0,63	0,063
–	500	(50)	5,0	0,50	(0,050)
–	(400)	40	4,0	(0,40)	0,040
–	320	32	(3,2)	0,32	0,032
–	250	(25,0)	2,5	0,25	0,025
–	(200)	20,0	2,0	(0,20)	–
1600	160	16,0	(1,60)	0,160	–
1250	125	12,5	1,25	0,25	–

В таблице 5.2 геометрическую прогрессию со знаменателем 0,08 также представляют 49 значений Rz и Rmax. Предпочтительными являются также 14 значений Rz и Rmax, заключенных в скобки. Они соответствуют 14-ти предпочтительным значениям Ra и Rmax соотношением  $Rz = Rmax \approx 4Ra$ , и тоже представляют геометрическую прогрессию со знаменателем 0,5. Из них рекомендуется использовать 7 значений (соответствующих тем рекомендуемым Ra, которые поддаются контролю профилографами и профилометрами), исключив следующие значения: 400-200-100-50-25 мкм, контролируемые с помощью двойного микроскопа Линника или же сравнением с образцами шероховатости, а также 0,1 и 0,05 мкм, контролируемые интерференционными методами.

Предпочтительные значения Rz и Rmax заключены в скобки. Они также составляют геометрическую прогрессию со знаменателем 0,5 и также примерно соответствуют максимальным значениям четырнадцати классов по ГОСТ 2789–59.

**Среднее значение шага неровностей профиля в пределах базовой длины:**

$$S_m = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n S_{mi}.$$

**Средний шаг местных выступов профиля в пределах базовой длины:**

$$S = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n S_i$$

регламентируются от 12,5 до 0,002 мм (таблица 5.3).

Относительная опорная длина профиля, равная отношению опорной длины (на необходимом уровне P от линии выступов) к базовой длине:

$$t_p = \frac{1}{\ell} \sum_{i=1}^n b_i.$$

Относительная опорная длина  $t_p$  уровень p регламентируются в процентах рядом чисел 10-15-20-25-30-40-50-60-70-80-90.

Таблица 5.3 – Регламентированные значения  $S_m$  и  $S$

Установленные стандартом значения $S_m$ и $S$ , мм				
–	10,0	1,0	0,100	0,010
–	8,0	0,80	0,080	0,008
–	6,3	0,63	0,063	0,006
–	5,0	0,50	0,050	0,005
–	4,0	0,40	0,040	0,004
–	3,2	0,32	0,032	0,003
–	2,5	0,25	0,025	0,002
–	2,0	0,20	0,020	–
–	1,60	0,160	0,0160	–
12,5	1,25	0,125	0,0125	–

Средняя линия профиля  $m$  имеет форму номинальной поверхности и проводится так, что в пределах базовой длины  $\ell$  среднее квадратическое отклонение профиля до этой линии минимальное:

$$\sigma_{\min} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n y_i^2}{n}},$$

где  $Y$  – расстояние между любой точкой профиля и средней линией.

Это примерно соответствует такому положению средней линии, когда сумма площадей выступов над ней равна сумме площадей впадин под ней. При этом точки профиля берутся так, что отклонения  $Y_i$  профиля отсекают лишь на  $m$  равные отрезки. Относительно достоверное представление о шероховатости поверхности можно получить, если регламентировать (задать и контролировать) один высотный параметр ( $Ra$  или  $Rz$ ), один шаговый (обычно шаг со средней линии  $S_m$ ) и относительную опорную длину  $t_p$ .

В таблице 5.4 даны высотные параметры шероховатости  $Ra$  и  $Rz$ . Из численного сравнения видно, что  $Rz \approx 4Ra$ . Рекомендуемая регламентация параметров  $Ra$  и  $Rz$  выделена жирным.

Таблица 5.4 – Регламентированные значения  $Ra$ ,  $Rz$  и  $\ell$

Классы шероховатости поверхности	Параметры шероховатости мкм		Базовая длина $\ell$ , мм
	$Ra$	$Rz$	
1	80	<b>320</b>	8,0
2	40	<b>160</b>	
3	20	<b>80</b>	
4	10	<b>40</b>	2,5
5	5,0	<b>20</b>	
6	<b>2,5</b>	10	0,8
7	<b>1,25</b>	5	
8	<b>0,63</b>	2,5	
9	<b>0,32</b>	1,25	0,25
10	<b>0,16</b>	0,63	
11	<b>0,08</b>	0,32	
12	<b>0,04</b>	0,16	
13	0,02	<b>0,10</b>	0,08
14	0,01	<b>0,05</b>	

Это связано с наличием средств контроля по этим параметрам в указанных диапазонах. Из сравнения численных значений параметров шероховатости, приведенных в таблице 5.4, с такими же в таблицах 5.1 и 5.2 видно, что в таблице 5.4 лишь два последних значения  $Rz$  являются предпочтительным (они также выделены). Поэтому при назначении шероховатости следует пользоваться данными таблиц 5.1 и 5.2, в которых параметры  $Ra$  и  $Rz$  с учетом которых разработаны и изготавливаются средства контроля.

На рисунках 5.4, а и 5.4, б приведены два профиля шероховатых поверхностей с одинаковой высотой, но различным шагом

неровностей. Эксплуатационные характеристики их различны, ввиду чего помимо высотных параметров, следует также регламентировать шаговые микронеровности, т. е. расстояние между соседними неровностями.

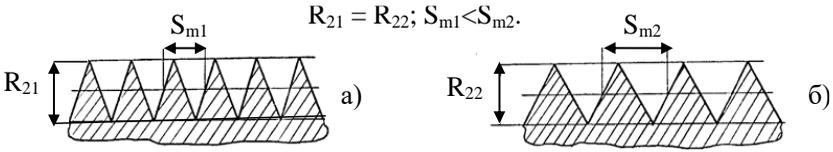


Рисунок 5.4 – Отличие шероховатости по шагу микронеровностей

Относительная опорная длина профиля является одним из наиболее важных параметров шероховатости поверхности. На рисунках 5.5, а и 5.5, б показаны два вида шероховатостей с одинаковой высотой и шагом неровностей, но с различными профилями. Опорная длина их на одном и том же уровне  $P$  существенно отличается. Первый профиль имеет гораздо большую несущую способность, контактную жесткость и износостойкость, чем второй. Поэтому относительную опорную длину в ответственных случаях необходимо обязательно регламентировать.

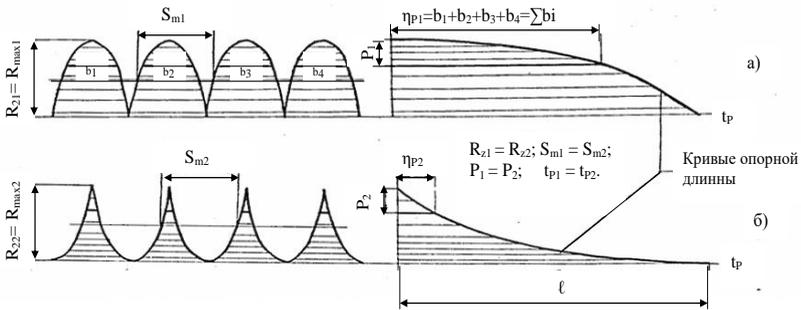


Рисунок 5.5 – Отличие профилей микронеровностей и кривых опорной длины при одинаковой их высоте и шаге

Для сравнения опорных длин шероховатостей поверхностей, имеющих различные не только профили, но и высотные и другие параметры, принято уровень  $P$ , на котором измеряется относительная опорная длина, выразить также в относительных едини-

цах, т. е. в долях  $R_{max}$ . При таком ее выражении отличие горизонтального и вертикального масштабов снятия профилограммы не сказывается на результатах вычисления относительной опорной длины. Уровень  $P$  и относительная опорная длина выражаются в процентах.

$$t_p = \frac{100}{l} \sum_{i=1}^n b_i.$$

В обозначении на чертеже  $t_{P40} = 60$ , число 40 означает, что опорная длина измеряется на уровне 40 % от  $R_{max}$ , а величина ее должна равняться 60 %.

В большинстве случаев, как уже было отмечено, фактическая площадь контакта составляет небольшую долю от номинальной. Поэтому наибольший интерес представляет начальная часть кривой относительной опорной длины. Этот ее участок (рисунок 5.6) можно выразить уравнением параболы:

$$t_p = \beta(1 - E)^v,$$

где  $E$  – относительное сближение (то же, что и относительный уровень  $P$ );  $\beta$ ,  $v$  – параметры аппроксимации начальной части кривой опорной длины.

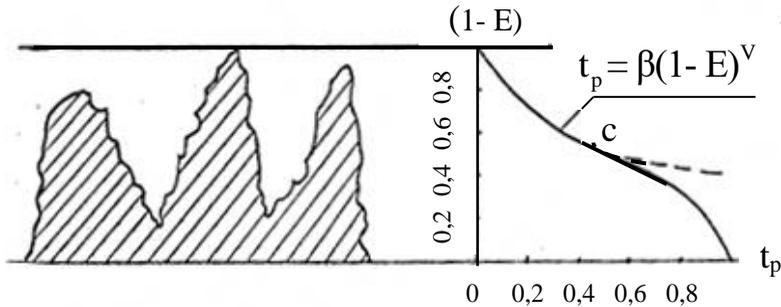


Рисунок 5.6 – Кривая опорной длины шероховатости поверхности

Если по вертикальной оси откладывать просто  $E$  (а не  $1-E$ ), то график выглядит в более удобном виде (рисунок 5.7) и выражается уравнением [12]:

$$t_p = \beta E^v.$$

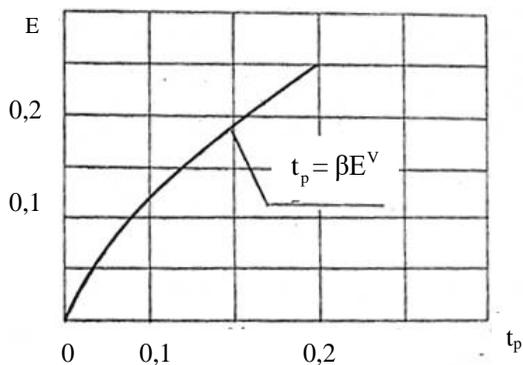


Рисунок 5.7 – Начальный участок кривой опорной длины и ее уравнение

На рисунке 5.8 показаны начальные участки кривых опорной длины поверхностей с различной шероховатостью.

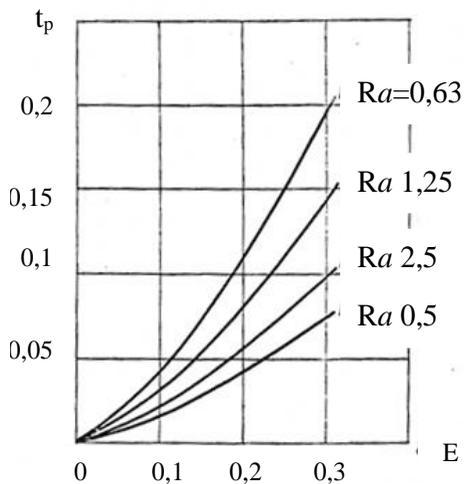


Рисунок 5.8 – Начальные участки кривых опорной длины поверхностей с различной шероховатостью

При этом зависимая переменная отложена по оси ординат, как обычно изображаются графики. Увеличение  $\ell$  и уменьшение  $v$  соответствуют увеличению относительной опорной длины. Как показано в [12], при уменьшении шероховатости поверхности, т. е. повышении ее чистоты, параметр  $v$  уменьшается, а параметр  $\beta$  увеличивается. Однако величины этих параметров различны для поверхностей одного класса шероховатости (с одинаковой высотой неровностей), обработанных различными методами (таблица 5.5), ввиду чего регламентация шероховатости одним лишь высотным параметром не достаточна. В таблице 5.5 даны величины  $v$  и  $\beta$  для поверхностей, обработанных различными методами, но имеющих одинаковую высоту неровностей:  $Ra = 1,25$  мкм.

Таблица 5.5 – Поверхности, обработанные различными методами

Способ обработки	$v$	$\beta$
Строгание	0,8	0,85
Точение	0,9	0,75
Шлифование	1,2	0,70

Это еще раз подтверждает, что по какому-либо одному параметру, например высотному, нельзя судить о шероховатости поверхности. Существует комплексный безразмерный параметр шероховатости поверхности, составляющие которого взаимно дополняют друг друга:

$$\Delta = \frac{R_{\max} \cdot v}{P \cdot \beta}.$$

На рисунке 5.9 показано изменение комплексного параметра шероховатости приработываемых поверхностей образцов закаленной стали 12ХН3А с увеличением пути трения [12].

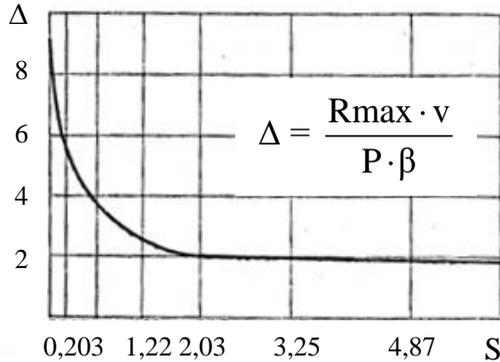


Рисунок 5.9 – Изменение комплексного параметра шероховатости в процессе приработки поверхностей с увеличением пути измерения S

На рисунке 5.9 видно, что с увеличением пути трения этот параметр все время уменьшается. Он характеризует приближение шероховатости трущихся поверхностей к оптимальной по комплексу ее параметров. Это говорит о том, что отклонение какой-либо одной характеристики шероховатости от общей закономерности их изменения (например  $\rho$ ,  $\beta$  или  $v$ ) компенсируется соответствующим изменением другой характеристики.

ГОСТом также предусматривается возможность регламентации направления обработочных (остаточных) гребешков, а также метода обработки поверхности. В соответствии с ГОСТ 2.309–73 «Обозначения шероховатости поверхностей» параметры шероховатости обозначаются к одному из четырех знаков (рисунок 5.10). Знак на рисунке 5.10, а говорит о том, что указанные к нему параметры шероховатости ( $Ra = 0,2$  мкм, относительная опорная длина на уровне 30 % от  $R_{max}$  должна составлять 50 %) могут достигаться любым путем, в том числе и без снятия стружки. Знак шероховатости на рисунке 5.10, б показывает, что путем снятия стружки любым способом в направлении, параллельном линии  $cd$ , высота неровностей должна быть  $Ra = 0,1$  мкм, шаг по средней линии  $S_m = 0,63$  мм, а опорная длина на уровне 50 % от  $R_{max}$  должна составлять 80 %.

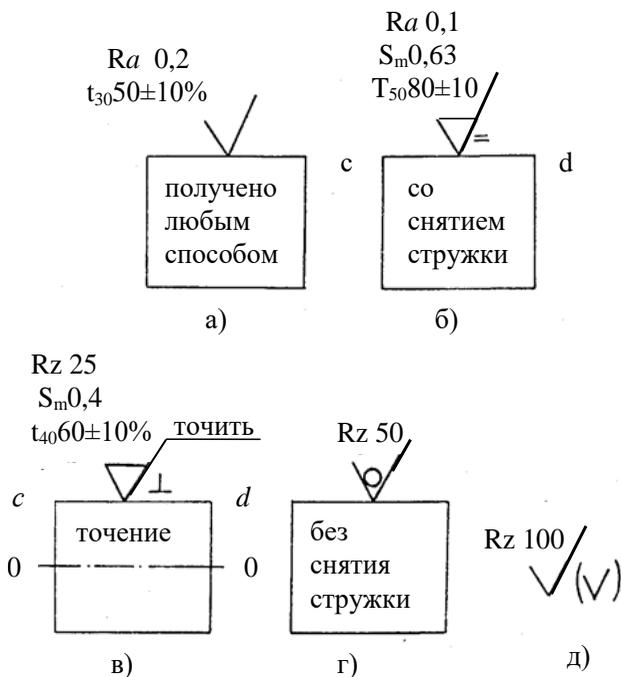


Рисунок 5.10 – Обозначение шероховатости поверхности на чертежах

Знак шероховатости на рисунке 5.10, в) обозначает, что поверхность должна быть обработана точением с вращением вокруг оси  $OO$  (направление остаточных гребешков должно быть перпендикулярно к образующей  $cd$ ), высота неровностей  $Rz = 25$  мкм, шаг по средней линии  $S_m = 0,4$  мм, опорная длина на уровне 40 % должна быть равна 60 %. Знак шероховатости на рисунке 5.10, г) означает, что поверхность не должна обрабатываться (стружка не должна сниматься, т. е. поверхность должна сохраняться такой, какой она получена при изготовлении заготовки), но высота неровностей должна быть не более  $Rz = 50$  мкм. Если шероховатость поверхности чертежом не обуславливается, то на ней не ставится никакого знака и на чертеже об этом нигде ничего другого не пишется. Если все поверхности детали (или остальные, кроме тех, шероховатость которых указана выше указанными обозначениями)

должны иметь одинаковую шероховатость, то это можно обозначить в правом верхнем углу чертежа «птичкой» в скобках (рисунок 5.10, д)) и левее от него соответствующий знак (а, б, в или г) с указанием параметров шероховатости. Обозначение на рисунке 5.10, д) говорит о том, что остальные поверхности должны быть обработаны с неровностями, не превышающими 100 мкм.

### **Вопросы для самопроверки:**

1. Определение качества приборов.
2. Технологичность конструкции прибора.
3. Показатели технологичности конструкции.
4. Способы повышения точности приборов.
5. Методы предотвращения погрешностей.
6. Методы снижения погрешностей.
7. Методы коррекции.
8. Метод статистической минимизации.
9. Качество поверхности приборов.
10. Топография и контакт поверхностей.
11. Макрогеометрия.
12. Микрогеометрия.
13. Субмикрогеометрия.
14. Номинальная площадь контакта.
15. Контурная площадь контакта.
16. Фактическая площадь контакта.
17. Среднее арифметическое отклонение профиля.
18. Средняя высота неровностей профиля по десяти точкам.
19. Наибольшая высота неровностей профиля  $R_{\max}$ .

## **Глава 6 НАДЕЖНОСТЬ ПРИБОРОВ**

Надежность – свойство прибора, выраженное в способности сохранять в заданных рамках и времени значения всех без исключения установленных факторов и параметров, а также в способности выполнять заданные функции и режимы эксплуатации в необходимых условиях.

Прикладные вопросы надежности, относящиеся к конкретным видам производства, разрабатываются с возможностью обеспечения надежности конкретного вида техники, будь то бытовая техника, судовая, транспортная, авиационная, вычислительная или космическая. Таким образом решаются прикладные вопросы надежности, в том числе прикладные вопросы надежности приборов и систем.

Система – это совокупность входящих в нее элементов, в том числе приборов, взаимодействующих между собой для решения конкретных задач и выполнения заданных функций. Элементы системы, составляющие ее, рассматриваются как единое целое. Понятия элемента и системы условны: в одном случае элементы, предназначенные для решения конкретных задач, будут частью отдельной системы, в другом, они же будут частью подсистемы, которая сама является элементом, входящим в другую систему, предназначенную для решения более глобальных задач, или задач, решение которых требует наличие системы обладающей более высокой точностью.

### **6.1 Показатели и определение надежности приборов**

Согласно ГОСТ 27.002–89 определенные количественные показатели надежности применяются для количественной оценки отдельных ее свойств: безотказности, долговечности, ремонтно-пригодности и сохраняемости.

Готовность и эффективность использования прибора также может быть оценена комплексными показателями надежности, характеризующими одновременно несколько свойств прибора [12].

При разработке прибора необходимо проводить количественную характеристику отдельных его свойств при выборе раз-

личных схемных и конструктивных вариантов прибора, для обеспечения определенных свойств, необходимых в конкретных условиях эксплуатации. Для этого используются определенные отдельные количественные показатели надежности прибора.

Оценка и анализ соответствия эксплуатационно-технических характеристик приборов заданным требованиям на этапах испытаний и эксплуатации осуществляется в основном комплексными показателями надежности.

### **6.1.1 Основные определения надежности**

*Надежность* является одним из основных показателей качества прибора. Если, допустим, прибор обеспечивает заданную точность обработки, очень производительный, потребляющий мало электроэнергии, но ненадежный в работе, то все его достоинства теряют ценность, ибо они не могут быть использованы в полной мере.

Надежность прибора является комплексным свойством, которое в зависимости от ее назначения и условий эксплуатации, может включать: безотказность, долговечность, ремонтпригодность, сохраняемость – каждое в отдельности или в определенном их сочетании [12].

Для конкретных объектов и условий их эксплуатации эти свойства могут иметь различную относительную значимость. Например, для некоторых неремонтируемых приборов надежность включает в себя в основном их безотказность. Для ремонтируемых приборов одним из важнейших свойств, определяющих их надежность, является ремонтпригодность. И если изношенная деталь или узел легко и просто могут быть заменены, то во многих случаях (стационарная система, остановка которой, помимо потери времени ее работы, ни к чему другому серьезному не приводит) можно мириться с низкими показателями долговечности и безотказности.

Иногда одна из решающих составных частей надежности приобретает *сохраняемость*. Например, огнетушитель, торпеда или батарея постоянного тока, изготовленные и хранящиеся определенный период времени без употребления, не должны

подвергаться коррозии и другим изменениям во времени, приводящим к потере их работоспособности.

*Безотказность* – это свойство прибора непрерывно сохранять работоспособность в определенном режиме в условиях эксплуатации в течение определенного срока службы (т. е. наработке) без вынужденных перерывов на ремонт. Износившаяся деталь прибора может отказать. Как же сочетать эту неизбежность отказа детали и надежность прибора? Здесь выступают другие показатели надежности, например, наличие резервов в схеме или системе контроля, которая сможет дать сигнал о приближении аварийной ситуации. Надежная работа приборов обычно гарантируется для определенных режимов и внешних условий работы, которые часто меняются. Наиболее надежной следует считать автоматическую систему, которая на основе обратной связи сама перестраивает режимы работы, чтобы сохранить надежность в меняющихся условиях. Количественно безотказность оценивается вероятностью безотказной работы заданный период времени (т. е. вероятностью того, что отказа не будет).

*Работоспособность* – это состояние прибора, при котором она соответствует всем требованиям, обеспечивающим нормальное выполнение заданных функций (например, заданной точности механической обработки на металлорежущем станке и др.). Система может быть надежной, если она сохраняет работоспособность.

*Долговечность* – это свойство прибора непрерывно сохранять работоспособность до наступления предельного состояния при установленной системе технического обслуживания и ремонта. Система может быть безотказной, но не долговечной.

*Сохраняемость* – это свойство прибора непрерывно сохранять работоспособность в течение транспортирования и хранения, как до использования, так и после него, при соблюдении установленных условий на хранение и транспортирование. Сохраняемость приборов в большой мере зависит от коррозионной стойкости поверхностного слоя их деталей. Детали приборов подвергаются коррозии не только в период транспортирования и хранения, но и во время эксплуатации, так что борьба с корро-

зией должна осуществляться в течение всего срока службы прибора или ее отдельных деталей (например, запасных).

*Ремонтопригодность* – это свойство прибора, позволяющее предупреждать, обнаруживать и устранять отказы, т. е. восстанавливать его работоспособность. Основными показателями ремонтпригодности являются трудоемкость и себестоимость восстановления работоспособности прибора.

*Предельным* называется состояние прибора, при котором его дальнейшая эксплуатация должна быть прекращена из-за неустранимого нарушения требований безопасности, снижения эффективности эксплуатации или качества выполнения им служебного назначения ниже допустимых.

*Наработкой* называется продолжительность работы прибора или результат этой работы, выраженный временем и т. п. Техническим ресурсом называется наработка прибора от начала эксплуатации (или после среднего или капитального ремонта) до наступления предельного состояния.

Когда отказ прибора произошел, можно ли говорить о большей или меньшей его надежности? Можно. Если допустим, наладчик имеет возможность легко добраться до повреждения, снять неисправленную и поставить на ее место новую деталь, то данная работоспособность прибора может называться надежной. Этот путь обеспечения надежности прибора должен быть заложен в его конструкции. Запасные детали должны быть своевременно изготовлены или приобретены. Для этого, конечно, необходимо иметь ясную картину относительной износостойкости различных деталей приборов. Отсутствие этих данных и конструирование приборов без учета выше названного условия приводят к тому, что при списании приборов в металлолом уходят многие годные детали, составляющие более половины веса прибора.

Надежность прибора должна обеспечиваться при его проектировании, производстве и эксплуатации. Если при проектировании не будет заложена прочная основа надежности, то никакие усилия производителей и эксплуатационников не смогут сделать прибор надежным. Однако основа так и остается лишь основой, если о надежности изделия забудут при его производ-

стве. Наконец, даже очень надежная система не оправдает надежд, если эксплуатационники не будут соблюдать определенных условий.

Потеря работоспособности, т. е. отказ, может быть внезапной, например, ввиду поломки какой-либо детали прибора, или же немедленно наступающим в результате изнашивания трущихся поверхностей деталей, ввиду чего снижается до недопустимого качество выполнения системой служебного назначения, уменьшается к.п.д., увеличивается расход смазки и т. п. Надежность прибора определяется следующими эксплуатационными свойствами его деталей: прочностью при нециклических нагрузках; усталостной прочностью; износостойкостью (поверхностной прочностью); коэффициентом трения (в сопряжении); коррозионной стойкостью; жесткостью объемной; жесткостью контактной (в сопряжении).

На эти свойства деталей приборов влияют: материал, его фазово-структурное состояние, дефекты кристаллической решетки и некоторые другие качества; топография поверхностей; наклеп поверхностного слоя; химический состав и структура тончайшего поверхностного слоя; объемные и поверхностные остаточные напряжения; среда, в которой находятся детали (включая сопряженные детали); поверхностная энергия и некоторые другие качества.

### **6.1.2 Показатели надежности приборов**

*Работоспособное состояние* – показатель надежности, определяющий такое состояние прибора, при котором он функционирует с установленными требованиями в установленных условиях.

*Неработоспособное состояние* – показатель надежности, определяющий состояние прибора, при нарушении хотя бы одной характеристики его функционирования или одного любого установленного требования.

*Безотказность* – показатель надежности, определяющий непрерывное сохранение всех установленных значений параметров прибора, требований и характеристик функционирования, опре-

деляющих его работоспособное состояние в течение заданного срока службы.

*Долговечность* – показатель надежности прибора, определяющий сохранение установленных значений всех его параметров, требований и характеристик функционирования, характеризующих работоспособное состояние при установленном порядке технического обслуживания, восстановления и ремонта до перехода в предельное состояние.

*Предельное состояние* – показатель, определяющий состояние прибора, когда его восстановление экономически нецелесообразно или невозможно.

*Восстанавливаемость* – показатель надежности, определяющий свойство прибора, когда его восстановление после отказа (ремонт) возможен.

*Ремонтопригодность* – показатель надежности прибора, определяющий его приспособленность к техническому обслуживанию и восстановлению работоспособного состояния путем и ремонта.

*Отказ* – показатель, определяющий отклонение от установленных значений хотя бы одного из параметров прибора, требований и характеристик функционирования при установленном порядке технического обслуживания, характеризующих его работоспособное состояние.

*Внезапный отказ* – показатель, определяющий поломку прибора.

*Постепенный отказ* – показатель, определяющий отказ прибора при постепенном достижении критерия отказа в результате изменяющегося значения любого из его установленных параметров, требований или характеристик.

*Критерий отказа* – показатель, определяющий признак неработоспособного состояния, характеризуемый значением какого-либо параметра прибора, требования или характеристики функционирования, после достижения которого наступает его отказ.

*Наработка до отказа* – показатель надежности прибора, определяющий его наработку от начала эксплуатации до возникновения первого отказа.

*Наработка на отказ* – показатель надежности прибора, определяющий величину (время или объём работы), принятую для измерения его продолжительности работы.

*Срок службы* – показатель надежности прибора, определяющий его наработку от начала работы новым изделием до наступления предельного состояния.

### **6.1.3 Качественные характеристики и определения надежности**

Теория надежности основывается на понятии отказа, используемого как внезапная или постепенная утрата работоспособности прибором. Под работоспособным состоянием теории надежности обосновывает такое состояние прибора, при котором он отвечает всем требованиям конструкторской документации, предъявляемым к его основным параметрам. К числу основных параметров прибора относятся его технические характеристики и те виды действий или работ, для выполнения которых от предназначен [14]. Включая другие показателями, такие как вес, масса, габариты, удобство обслуживания и ремонта и т. п. – все они составляют комплект показателей качества прибора. В процессе эксплуатации прибора его показатели качества претерпевают изменения и в том случае, если эти изменения превышают допустимые требования к прибору, происходит его отказ. Противопоставление показателей надежности прибора другим показателям качества недопустимо. Полноценность их будет только в том случае, если они дополняются другими показателями качества прибора. В то же время без показателей надежности другие показатели качества прибора теряют смысл. Теория надежности в числе первых этапов своего развития основное внимание уделяла сбору и обработке статистических данных об отказах приборов, на основании которых в оценке надежности приборов преобладали характеристики, констатирующие только степень надежности прибора. Теория надежности в своем развитии базируется на совершенствовании существующих и разработке новых методов испытаний приборов с учетом случайного характера отказов и вероятностных методов исследования, опираясь на определение

законов распределения наработки до отказа. Наряду с этим, определились принципиально новые пути исследований:

- разработка и определение новых способов обеспечения надежности;
- прогнозирование надежности и на базе прогнозирования отказов;
- анализ внешних и внутренних физических, химических и структурных процессов, оказывающих существенное влияние на надежность;
- установление качественных и количественных связей между показателями этих процессов и характеристиками надежности;
- разработка и улучшение способов расчета надежности приборов;
- учет большего числа случайных факторов, действующих на качество и надежность приборов, при значительном усложнении их структуры;
- повышение достоверности исходных данных;
- совершенствование испытаний на надежность в направлении неразрушающих и ускоренных испытаний;
- широкое распространение математического моделирования в сочетании с натурными испытаниями.

Вся без исключения промышленная продукция характеризуется качественными параметрами, представляющими собой совокупность свойств, удовлетворяющих определенным потребностям в соответствии с ее назначением. Свойства продукции делятся на простые и сложные. Надежность является одним из фундаментальных сложных свойств изделия и определяется, как свойство изделия, выраженное в способности сохранять в заданных рамках и времени значения всех без исключения установленных факторов и параметров, а также в способности выполнять заданные функции и режимы эксплуатации в необходимых условиях.

Из этого следует, что основным содержанием надежности является безотказность, которая отражает главное назначение

любого прибора – исправно выполнять предназначенные ему функции в течение определенного промежутка времени.

#### **6.1.4 Количественные характеристики и определения надежности**

Оценка надежности приборов осуществляется посредством критериев надежности.

Признак, по которому оценивается надежность прибора, является критерием надежности, его качественной характеристикой, количественное значение критерия является количественной характеристикой надежности прибора.

Критериями надежности любых приборов являются:

- интенсивность отказов  $\Lambda(t)$  ;
- вероятность безотказной работы  $P(t)$ ;
- вероятность отказа в течение определенного времени  $Q(t)$  ;
- средняя наработка до отказа  $\bar{T}$  .

Расчет интенсивности отказов прибора проводится с учетом номенклатуры и количества входящих в прибор элементов. Тогда:

$$\Lambda(t) = \lambda_1 n_1 + \lambda_2 n_2 + \lambda_3 n_3 + \dots + \lambda_n n_n,$$

где  $\lambda$  – интенсивность отказов элементов прибора;  $n_1, n_2, n_3, \dots, n_n$  – количество каждого типа элементов в приборе.

Вероятность безотказной работы определяется вероятностью того, что в заданном интервале времени при определенных условиях эксплуатации не произойдет ни одного отказа. Вероятность безотказной работы рассчитывается по формуле:

$$P(t) = e^{-\Lambda(t)t},$$

где  $e$  – основание натурального логарифма;  $t$  – время безотказной работы прибора.

Если безотказная работа и отказ являются событиями, несовместимыми и противоположными, тогда:

$$Q(t) = 1 - P(t).$$

Средняя наработка до отказа связана с интенсивностью отказов следующим соотношением:

$$\bar{T} = \frac{1}{\Lambda(t)}.$$

Определяется она следующим образом:

$$\bar{T} = \frac{\sum_{i=1}^n t_i}{n},$$

где  $t_i$  – наработка до отказа;  $n$  – величина выборки.

## 6.2 Надёжность как наука

Надёжность как наука развивается в трёх направлениях:

- *математическая теория надёжности* занимается разработкой методов оценки надёжности и изучением закономерностей отказов;
- *статистическая теория надёжности* занимается сбором, хранением и обработкой статистических данных об отказах;
- *физическая теория надёжности* изучает физико-химические процессы, происходящие в объекте при различных воздействиях.

### 6.2.1 Теория надежности

Теория надежности является основой инженерной практики в области надежности технических изделий и предполагает следующие четыре основных допущения:

Отказ рассматривается как случайное событие. Причины отказов, соотношения между отказами (за исключением того, что вероятность отказа есть функция времени) задаются функцией распределения. Инженерный подход к надежности рассматривает вероятность безотказной работы как оценку на определенном статистическом доверительном уровне.

Надежность системы тесно связана с понятием «заданная функция системы». В основном рассматривается режим работы без отказов. Однако, если в отдельных частях системы нет отка-

зов, но система в целом не выполняет заданных функций, то это относится к техническим требованиям к системе, а не к показателям надежности.

Надежность системы может рассматриваться на определенном отрезке времени. На практике это означает, что система имеет шанс (вероятность) функционировать это время без отказов. Характеристики (показатели) надежности гарантируют, что компоненты и материалы будут соответствовать требованиям на заданном отрезке времени. Поэтому иногда надежность в широком смысле слова означает свойство «гарантоспособности» [4]. В общем случае надежность относится к понятию «наработка», которое в зависимости от назначения системы и условий её применения, определяет продолжительность или объем работы. Нарботка может быть как непрерывной величиной (продолжительность работы в часах, километраж пробега в милях или километрах и т. п.), так и целочисленной величиной (число рабочих циклов, запусков, выстрелов оружия и т. п.).

Согласно определению, надежность рассматривается относительно заданных режимов и условий применения. Это ограничение необходимо, так как невозможно создать систему, которая способна работать в любых условиях. Внешние условия функционирования системы должны быть известны на этапе проектирования. Например, марсоход создавался совершенно для других условий эксплуатации, чем семейный автомобиль.

### **6.2.2 Параметры системной надежности**

При анализе параметров системной надежности учитывается структура системы, состав и взаимодействие входящих в неё элементов, возможность перестройки структуры и алгоритмов её функционирования при отказах отдельных элементов.

Наиболее часто в инженерной практике рассматривают последовательное, параллельное, смешанное (последовательно-параллельное и параллельно-последовательное) соединение элементов, а также схемы типа «К из N», мостиковые соединения.

По возможности восстановления и обслуживания системы подразделяются на восстанавливаемые и невосстанавливаемые,

обслуживаемые и необслуживаемые. По режиму применения (функционирования) – на системы непрерывного, многократного (циклического) и однократного применения.

В основном, в качестве параметра надежности используется среднее время до отказа, которое может быть определено через интенсивность отказов или через число отказов на заданном отрезке времени. Интенсивность отказов математически определяется как условная плотность вероятности возникновения отказа изделия при условии, что до рассматриваемого момента времени отказ не произошел. При увеличении интенсивности отказов среднее время до отказа уменьшается, надежность изделия падает. Обычно среднее время до отказа измеряется в часах, но также может выражаться в таких единицах, как циклы и мили.

В других случаях надежность может выражаться через вероятность выполнения задачи. Например, надежность полетов гражданской авиации может быть безразмерной, или иметь размерность в процентах, как это делается в практике системной безопасности. В отдельных случаях успешным результатом системы может являться одноразовое срабатывание. Это актуально для систем, которые рассчитаны на срабатывание всего один раз: например, подушки безопасности в автомобиле. В этом случае задается вероятность срабатывания или, как, например, для ракет, вероятность попадания в цель. Для таких систем мерой надежности является вероятность срабатывания. Для восстанавливаемых систем может задаваться такой параметр, как среднее время восстановления (ремонта) и время проверки (тестирования). Часто параметры надежности задаются в виде соответствующих статистических доверительных интервалов.

### **6.2.3 Программа обеспечения надежности**

Для достижения необходимой надежности могут быть использованы различные методы и средства. Каждая система предполагает свой уровень допустимой надежности, так как последствия отказов различных систем могут значительно различаться. Так, надежность точилки для карандашей может превышать надежность пассажирского самолета, однако последствия и стоимость их отказов несопоставимы.

Программа обеспечения надежности является документом, который определяет организационно-технические требования и мероприятия (задачи, методы, средства анализа и испытаний), направленные на обеспечение заданных требований к надежности, а также уточняет требования заказчика по определению и контролю надежности. Определение надежности (*reliability assessment*) заключается в определении численных значений показателей надежности изделия. Контроль надежности (*reliability verification*) состоит в проверке соответствия изделия заданным требованиям по надежности [ГОСТ 27.002–89]. Различают расчетный, расчетно-экспериментальный и экспериментальный методы определения и контроля надежности [27].

В расчетном методе определения надежности ее расчёт основан на использовании показателей надежности по справочным данным о надежности элементов, по данным о надежности изделий-аналогов и другой информации, имеющейся к моменту оценки надежности. Расчетно-экспериментальный метод определения надежности (*Analytical-experimental reliability assessment*) основан на процедуре определения показателей надежности элементов экспериментальным методом, а показателей надежности системы в целом – с использованием математической модели. Экспериментальный метод определения надежности (*Experimental reliability assessment*) основан на статистической обработке данных, получаемых при испытаниях или эксплуатации системы или её составных частей и элементов.

Программа обеспечения надежности разрабатывается на ранних стадиях проектирования и реализуется на всех этапах жизненного цикла изделия. В техническом плане основным объектом программы обеспечения надежности является оценивание и достижение готовности и стоимости эксплуатации (затраты на запасные части, техническое обслуживание и ремонт, транспортные услуги и т. п.). Зачастую требуется нахождение компромисса между высокой готовностью и затратами, или, например, поиск максимального отношения «готовность/стоимость». В программе обеспечения надежности рассматриваются порядок и условия проведения испытаний на надежность, критерии их завершения и принятия решений по результатам испытаний.

### 6.2.3.1 Надежность на этапе проектирования

Надежность на этапе проектирования является новой дисциплиной и относится к процессу разработки надежных изделий. Этот процесс включает в себя несколько инструментов и практических рекомендаций и описывает порядок их применения, которыми должна владеть организация для обеспечения высокой надежности и ремонтпригодности разрабатываемого продукта с целью достижения высоких показателей готовности, снижения затрат и максимального срока службы продукта. Как правило, первым шагом в этом направлении является нормирование показателей надежности. Надежность должна быть «спроектирована» в системе. При проектировании системы назначаются требования к надежности верхнего уровня, затем они разделяются на определенные подсистемы разработчиками, конструкторами и инженерами по надежности, работающими вместе. Проектирование надежности начинается с разработки модели. При этом используют структурные схемы надежности или деревья неисправностей, при помощи которых представляется взаимоотношение между различными частями (компонентами) системы.

Одной из наиболее важных технологий проектирования является введение избыточности или резервирование. Резервирование – это способ обеспечения надежности изделия за счет дополнительных средств и (или) возможностей, избыточных по отношению к минимально необходимым для выполнения требуемых функций (ГОСТ 27.002). Путём введения избыточности совместно с хорошо организованным мониторингом отказов, даже системы с низкой надежностью по одному каналу могут в целом обладать высоким уровнем надежности. Однако введение избыточности на высоком уровне в сложной системе (например, на уровне двигателя самолета) очень сложно и дорого, что ограничивает такое резервирование. На более низком уровне системы резервирование реализуется быстро и просто, например, использование дополнительного соединения болтом.

Инженерные исследования проводятся для определения оптимального баланса между надежностью и другими требованиями и ограничениями. Существенную помощь при инженерном

анализе надежности могут оказать программные комплексы для расчета надежности.

### **6.2.3.2 Нормирование надежности**

Для любой системы одной из первых инженерных задач надежности является адекватное нормирование показателей надежности, например, в терминах требуемой готовности. Нормирование надежности – это установление в проектной или иной документации количественных и качественных требований к надежности. Требования по надежности относятся как к самой системе и её составным частям, так и к планам испытаний, к точности и достоверности исходных данных, формулированию критериев отказов, повреждений и предельных состояний, к методам контроля надежности на всех этапах жизненного цикла изделия. Например, требования по ремонтпригодности могут включать в себя показатели стоимости и времени восстановления. Оценка эффективности процессов технического обслуживания и ремонта является частью процесса системы отчетов об отказах, анализа и коррекции действий.

### **6.2.3.3 Моделирование надежности**

Моделирование надежности – это процесс прогнозирования или исследования надежности компонент или системы до её ввода в эксплуатацию. Наиболее часто для моделирования надежности систем используются методы анализа деревьев неисправностей и структурных схем надежности. Входные параметры для моделирования надежности систем могут быть получены из разных источников – из справочников, отчетов об испытаниях и эксплуатации и т. п. В любом случае, данные должны быть использованы с большой осторожностью, так как прогнозы верны только тогда, когда данные получены при тех же условиях, при которых компоненты будут применяться в системе.

Часть данных о прогнозировании может быть получена по результатам исследований двух основных видов:

- анализа физики отказов, при котором исследуются механизмы возникновения отказов, например, механизм усталостного разрушения или деградации от химической коррозии;

- анализа результатов испытаний, эмпирического метода, при котором подсчитывается число компонентов системы, отказавших при разных уровнях внешнего воздействия.

Для систем, в которых можно точно определить время отказа (что не дано для систем с плавающими параметрами), может быть определена эмпирическая функция распределения времени отказа. Это делается, чаще всего, при проведении испытаний с повышенным уровнем стресса (ускоренные испытания). Эти испытания делятся на две основные категории:

1. Определение распределения отказов ранней стадии эксплуатации при наблюдении снижающейся интенсивности отказов, что является первой частью волнообразной кривой интенсивности отказов. Здесь обычно используют умеренный уровень нагрузок. Они прикладываются на ограниченном отрезке времени, который называют временем цензурирования. Именно поэтому здесь определяется только часть функции распределения.

2. Безотказовые наблюдения (нулевые эксперименты), которые дают возможность получить лишь ограниченную информацию о распределении отказов. В этом случае испытания проводятся на коротком отрезке времени, на малой по объему выборке, что позволяет получить только верхнюю границу оценки интенсивности отказов. Во всяком случае, это удобно для заказчика.

Для исследования средней части распределения, которая чаще всего определяется свойствами материалов, необходимо применять повышенные нагрузки на достаточно малом отрезке времени. В таких видах ускоренных испытаний применяются несколько степеней нагрузки. Часто эмпирическое распределение этих отказов параметризуется законом Вейбулла или логарифмическим нормальным распределением.

Общей практикой моделирования «ранней» интенсивности отказов является использование экспоненциального распределения. Это менее сложная модель для распределения времени отказа, содержащая только один параметр – постоянную интенсивность отказов. В этом случае в качестве критерия согласия может быть использован критерий *кси-квадрат* для оценки постоянства интенсивности отказов. По сравнению с уменьшающейся интен-

сивностью отказов это довольно пессимистическая модель и требует проведения анализа чувствительности.

#### **6.2.3.4 Испытания на надежность**

Испытания на надёжность проводятся для того, чтобы на более ранних этапах жизненного цикла изделия обнаружить потенциальные проблемы, обеспечить уверенность, что система будет отвечать заданным требованиям.

Испытания на надежность могут проводиться на разных уровнях. Сложные системы могут испытываться на уровне компонент, устройств, подсистем и всей системы в целом. Например, испытания компонент на воздействие внешних факторов может выявить проблемы перед тем, как они будут обнаружены на более высоком уровне интеграции. Проведение испытаний на каждом уровне интеграции до испытания всей системы с одновременным развитием программы испытаний позволяет снизить риск неудачи такой программы. Расчет надежности производится на каждом уровне испытаний. При этом часто используются такие методы, как анализ роста надежности и системы отчета и анализа отказов и корректирующих действий. Недостатками таких испытаний являются время и затраты. Заказчики могут пойти на некоторый риск и отказаться от испытаний на более низких уровнях.

Некоторые системы принципиально не могут подвергаться испытаниям, например, из-за чрезмерно большого числа различных тестов или жестких ограничений по времени и затратам. В таких случаях могут быть использованы ускоренные испытания, методы планирования экспериментов и моделирование.

#### **6.2.3.5 Способы повышения надежности приборов**

Существуют три группы способов повышения надежности приборов:

- конструктивно-технологические способы, улучшающие качество и облегчающие режимы работы отдельных элементов приборов;

- способы, связанные с применением систем полуавтоматического или автоматического контроля и технической диагностики надежности приборов в процессе их эксплуатации;
- структурные способы, с помощью которых может быть выбрана наиболее рациональная структура прибора, ослабляющая влияние отказов отдельных его элементов на надежность получения выходного сигнала.

Все эти способы взаимно дополняют друг друга, и одновременное их использование ведет к созданию наиболее надежных конструкций приборов.

#### ***6.2.3.5.1 Конструктивно-технологические способы повышения надежности***

Конструктивно-технологические способы повышения надежности следующие [11]:

- ослабление режимов работы электрических элементов;
- ослабление механических напряжений;
- ослабление тепловых напряжений;
- разгрузка мест пайки;
- защита от внешних воздействий.

**Ослабление режимов работы электрических элементов** может быть достигнуто недогрузкой элементов по падению напряжения, по силе тока в сравнении с номинальными значениями, по рассеиваемой мощности, с учетом требований, предъявляемым к этим элементам и к изделию в целом. Ослабление режимов работы электрических элементов – один из наиболее существенных способов повышения их надежности. Степенью снижения эксплуатационных электрических характеристик определяется степень повышения надежности.

**Ослабление механических напряжений** осуществляется с целью увеличения запасов прочности в наиболее нагруженных элементах конструкции, таких как опоры, шарниры, упругие элементы и т. п. Расчет механических напряжений должен вестись с учетом инерционных сил, возникающих при воздействиях вибрации, ударов и т. п. При периодической нагрузке необходимо

исключить резонансные явления, которые способны привести к поломке деталей. Однако увеличение запаса прочности, с другой стороны, приводит к увеличению габаритов и веса изделия, что следует учитывать. Поэтому необходимо оптимизировать параметры элементов изделия, которые нужно усилить с учетом других требований к ним и к изделию в целом.

**Ослабление тепловых напряжений** является эффективным способом повышения надежности, как механических, так и электрических элементов приборов. Например, при нагреве шарикоподшипников происходит испарение смазки, что может привести к серьезным повреждениям изделия в целом, вплоть до заклинивания оси. Упругие элементы чувствительны к высоким температурам, как и постоянные магниты, в которых в результате нагрева могут происходить необратимые процессы. В результате нагрева уменьшается сопротивление изоляции, что может привести к пробоем и потере технических характеристик.

Ослабить тепловые напряжения можно различными способами:

- уменьшением скорости вращения подшипников;
- доработкой конструкции маслоуловителей;
- заполнением полости прибора водородом, имеющим высокую теплопроводность;
- заливкой жидкостью;
- обдувом нагреваемых элементов или принудительным охлаждением в особых случаях;
- ослаблением режимов работы электрических элементов;
- заменой подшипников скольжения упругими подвесами для исключения трущихся частей прибора;
- применением бесконтактных электрических преобразователей для исключения трущихся элементов.

**Разгрузка мест пайки.** Одним из слабых мест являются соединения, выполненные сваркой или пайкой, которые могут разрушиться при вибрации. Разгрузить места сварки или пайки можно укреплением проводников в непосредственной близости от места сварки или пайки. Еще более значительное повышение надежности соединений дает замена паянных соединений свар-

ными, но и в этом случае место сварки необходимо разгружать так же, как и при пайке. При этом заливка электронных узлов изоляционным материалом является одним из лучших способов разгрузки мест сварки или пайки.

**Защита от внешних воздействий.** Внешними воздействиями, снижающими надежность приборов, являются: пыль, песок, влага, пониженное давление. Наибольший эффект защиты дает герметизация корпуса прибора в сочетании заполнения внутренних пустот жидкостью или инертным газом.

Приведенными выше способами далеко не исчерпываются конструкторско-технологические методы повышения надежности приборов, к которым также можно отнести следующие:

- улучшение износостойкости и усталостной прочности упругих элементов и трущихся деталей;
- применение медленно высыхающих смазывающих материалов;
- применение высокопрочных материалов и сплавов, в том числе высокопрочных пластмасс;
- улучшение физико-механических свойств материалов приборов;
- улучшение качества магнитных сплавов и методик намагничивания для повышения стабильности постоянных магнитов и др.

### **6.3 Ремонтопригодность приборов**

Теория надежности все изделия делит на два вида:

- *восстанавливаемые*, позволяющие производить ремонт после отказа;
- *невосстанавливаемые*, т. е. неремонтируемые в процессе эксплуатации.

Изделия, позволяющие производить ремонт в процессе эксплуатации, называются восстанавливаемыми. Изделия, не допускающие ремонт в силу причин технического либо экономического характера, в процессе выполнения своих функций называются невосстанавливаемыми. К ним можно отнести, например, шари-

коподшипники, которые по технологии производства таковы, что новое изделие купить значительно дешевле, чем отремонтировать отказавшее. Существуют изделия, восстановление которых технически и экономически целесообразно – например, авиационные шины или лопатки газотурбинных двигателей, но запрещено правилами безопасности.

### **6.3.1 Показатели ремонтпригодности**

Вероятность того, что время восстановления работоспособного состояния не превысит заданного, является вероятностью восстановления работоспособного состояния.

Математическое ожидание времени восстановления является средним временем восстановления работоспособного состояния.

Условная плотность вероятности восстановления работоспособного состояния изделия, определенная в рассматриваемый момент времени при условии, что до этого момента времени восстановление не было завершено, является интенсивностью восстановления.

### **6.3.2 Характеристики ремонтпригодности**

Характеристиками ремонтпригодности являются:

- удобство, простота, легкость разборки и сборки руками или с минимальным набором инструментов;
- деление изделия, или его отдельных частей, на типовые элементы замены [23].
- физическое наличие в ремкомплекте нового типового элемента замены взамен отказавшего;
- простая возможность определить то, что необходимо заменить;
- наличие инструкции по замене.

#### **Вопросы для самопроверки:**

1. Показатели и определение надежности приборов.
2. Основные определения надежности.
3. Показатели надежности приборов.
4. Работоспособное состояние.

5. Неработоспособное состояние.
6. Безотказность.
7. Долговечность.
8. Предельное состояние.
9. Восстанавливаемость.
10. Ремонтопригодность.
11. Отказ.
12. Внезапный отказ.
13. Постепенный отказ.
14. Критерий отказа.
15. Нарботка до отказа.
16. Нарботка на отказ.
17. Срок службы.
18. Качественные характеристики определения надежности.
19. Количественные характеристики определения надежности.
20. Надёжность как наука.
21. Теория надежности.
22. Параметры системной надежности.
23. Программа обеспечения надежности.
24. Надежность на этапе проектирования.
25. Нормирование надежности.
26. Моделирование надежности.
27. Испытания на надежность.
28. Способы повышения надежности приборов.
29. Конструктивно-технологические способы повышения надежности.
30. Ослабление режимов работы электрических элементов.
31. Ослабление механических напряжений.
32. Ослабление тепловых напряжений.
33. Разгрузка мест пайки.
34. Защита от внешних воздействий.
35. Ремонтопригодность приборов.
36. Характеристики ремонтопригодности.
37. Показатели ремонтопригодности.

## Глава 7 ЗАЩИТА ПРИБОРОВ ОТ ВНЕШНИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ

### 7.1 Способы защиты приборов от влаги

Защита металлических и неметаллических поверхностей приборов и самих приборов от агрессивной внешней среды осуществляется различными покрытиями, и способами герметизации. Агрессивной внешней средой может являться обычная и морская вода, грязь, щелочи и кислоты, различные масла, т. е. условия работы прибора, отличные от чистой окружающей среды без посторонних включений, порою непредсказуемых, произошедшие в результате аварийной ситуации или случайной разгерметизации помещения, где работают приборы. Для защиты прибора в этих и других случаях применяют различные покрытия их деталей и поверхностей и способы герметизации самих приборов.

Покрытия подразделяются по назначению на: защитные, защитно-декоративные и специальные.

Способы герметизации различаются методами исполнения, сложностью и стоимостью и подразделяются на герметизацию: пропиткой, заливкой, обволакиванием и вакуумно-плотную.

**Защитные покрытия** защищают детали и поверхности приборов от старения, коррозии, гниения, высыхания, образования грибков и других воздействий, приводящих к выходу приборов из строя, подразделяются на металлические и неметаллические покрытия [14].

**Защитно-декоративные покрытия** вместе с обеспечением защиты деталей и поверхности приборов придают им красивый внешний вид, например, гальванические покрытия никелирование, хромирование и т. п.

**Специальные покрытия** обеспечивают деталям и поверхностям приборов защиту от особых сред или придают им особые свойства. К ним можно отнести гальванические покрытия драгоценными металлами, такими, как серебро и золото, которые наносятся с целью обеспечения особых величин сопротивления контактов электрических соединителей, при большом количестве

одновременно работающих контактов и в особых условиях эксплуатации изделий, для которых они используются.

Выбор неметаллических или металлических покрытий зависит от материала детали, ее функционального назначения и условий эксплуатации.

**Неметаллические покрытия** осуществляются грунтовками, эмалями, лаками, пластмассами. Применяются в тех случаях, когда помимо защиты деталей или поверхностей приборов необходимо их изолировать от электрических воздействий.

**Металлические покрытия** по способу нанесения подразделяются на: гальванические, диффузионные, нанесенные горячим способом, металлические на диэлектриках. Выбор металлических покрытий обоснован, когда детали или поверхности прибора должны быть токопроводящими или при работе испытывают ударные нагрузки, а также как защита от износа в результате трения и при необходимости повышенного теплоотвода.

Существует три способа борьбы с **плесневыми грибами**:

- лишение плесневых грибков благоприятных условий для развития изменением внутреннего климата аппаратуры (снижением влажности воздуха, саморазогревом отдельных микросхем, или всей аппаратуры полностью, применением влагопоглощающих веществ). В определенных условиях работы прибора этот способ защиты довольно труднодостижим, например, в условиях работы корабельных приборов;
- применение материалов, не склонных к образованию плесени. Выбор таких материалов довольно ограничен и все они отличаются достаточно высокой стоимостью;
- добавлением в состав защитного покрытия деталей прибора, фунгицидов – специальных веществ, противоборствующих размножению грибков. Фунгициды могут быть как биологического, так и химического происхождения.

### 7.1.1 Пропитка

Пропитка приборов заключается в заполнении имеющихся в них каналов, полостей и пустот электроизоляционным материа-

лом. Одновременно с заполнением каналов, полостей и пустот при пропитке на всех элементах конструкции образуется тонкий изоляционный слой, защищающий от воздействия агрессивной среды. Пропитка способствует повышению влагостойкости, электрической изоляции и механической прочности, а также повышению рабочих характеристик микроэлементов прибора.

При пропитке жидкий лак или компаунд вводят во все внутренние пустоты прибора. Одновременно с защитными функциями пропиточный материал повышает электрическую прочность изделия, скрепляет механически его отдельные элементы, во многих случаях улучшает теплопроводность.

Пропитку осуществляют погружением изделий в жидкий изоляционный материал. После извлечения изделия материал отвердевает. Процесс отверждения может происходить с внешним подогревом в специальных камерах или при нормальной температуре на воздухе. При использовании полимеризующихся пропиточных материалов применяются специальные ускорители.

Один из способов пропитки небольших трансформаторов заключается в том, что изделие окунается в сухой изоляционный эпоксидный материал, а затем нагревается в печи до оплавления, тем самым герметизируется вся поверхность прибора, затем производится зачистка контактов трансформатора от компаунда.

Для ускорения процесса пропитки применяют ультразвук, что позволяет в 3–5 раз сократить время пропитки, кроме того, процессы, с использованием ультразвуковой пропитки, хорошо поддаются механизации. Иногда пропитку выполняют методом центробежной отливки.

### **7.1.2 Заливка**

Под заливкой понимается нанесение защитного слоя прямо на наружные и внутренние поверхности прибора. При этом все свободные полости прибора, в том числе и пространство между деталями, элементами и корпусом, заливают электроизоляционным материалом, который после отверждения образует достаточно толстый защитный слой. Этот слой защищает не только от

влаги и агрессивных сред, но является и изоляционным слоем от воздействия электрических составляющих.

Заливка обеспечивает защиту деталей и элементов прибора не только от климатических воздействий в широком интервале температур, но и от механических воздействий.

Заливку изделия можно производить в его постоянном корпусе или использовать для этого специальные съемные формы, которые удаляются после отверждения материала.

Заливка часто производится в сочетании с пропиткой. Так, например, небольшие трансформаторы герметизируют заливкой и пропиткой эпоксидными смолами.

### **7.1.3 Обволакивание**

Обволакивание аналогично операции пропитки по технологии исполнения. Отличием является то, что при обволакивании используются более вязкие изоляционные материалы, обладающие высокой адгезией к деталям и элементам изделия. При этом покрытие становится более прочным и более надежно защищает детали, элементы и сами приборы от влаги, агрессивных сред и электрического воздействия.

При обволакивании обычно наносится несколько слоев герметизирующего, электроизоляционного и влагостойкого материала. При предварительном обволакивании часто применяются кремнийорганические компаунды. На поверхностях деталей и элементов прибора образуется сравнительно толстый слой материала, до нескольких миллиметров, который надежно защищает их от воздействия влаги, агрессивных сред и электрического воздействия.

### **7.1.4 Вакуумно-плотная герметизация**

Вакуумно-плотная герметизация может быть выполнена разъемными и неразъемными герметичными соединениями. Разъемный способ соединения является наиболее эффективным, так как кроме совершенной защиты от влаги и агрессивных сред он позволяет многократную разгерметизацию для выполнения ремонтных работ, как в производственных условиях, так и при

эксплуатации прибора. В этом случае между соединяемыми элементами прибора помещают эластичную прокладку.

Условием непроницаемости такого герметичного соединения является контактное давление между прокладкой и соединяемыми поверхностями прибора. Применяют металлические и неметаллические прокладки. Для металлических прокладок используется свинец или красная медь. При стягивании винтами до превышения предела текучести, металлические прокладки деформируются и плотно прилегают к соединяемым поверхностям. Неметаллические прокладки, как правило, резиновые, но в некоторых случаях, при отсутствии повышенной влажности и невысоких требований к надежности соединения, используют более дешевые прокладки из плотной бумаги. При использовании резиновых и бумажных прокладок уплотнение достигается воздействием остаточных упругих деформаций. Неметаллические прокладки допускают многократное использование, тогда как металлические прокладки в использовании одноразовые.

Неразъемные герметичные конструкции делают со швами, выполняемыми склеиванием или замазкой специальными компаундами (герметиками), заливкой, сваркой, пайкой.

## **7.2 Влияние ионизирующих излучений на свойства приборов**

### **7.2.1 Ионизирующие излучения, их определение и свойства**

К ионизирующим излучениям относятся: альфа-лучи, бета-лучи, гамма-лучи, радиоактивность, рентгеновские лучи.

**Альфа-лучи** характеризуются малой проникающей и большой ионизирующей способностями, являются положительно заряженными ядрами гелия. Вследствие малой проникающей способности альфа-лучи не проникают через внешний слой кожи. Вред организму человека наносится воздействием вещества, находящегося от него в непосредственной близости.

**Бета-лучи** являются результатом излучения ядер атомов радиоактивных веществ и представляют собой поток позитронов

или электронов. По сравнению с альфа-лучами они обладают большей проникающей способностью и поэтому одинаково опасны как на расстоянии, так и при непосредственной близости излучаемого вещества.

**Гамма-лучи** – это высокочастотное электромагнитное излучение, возникающее в процессе радиоактивного распада или ядерных реакций, характеризуются наибольшей проникающей способностью и наименьшей ионизирующей.

**Рентгеновские лучи** являются электромагнитным излучением, возникают при бомбардировке вещества потоком электронов, обладают малой ионизирующей способностью и большой глубиной проникновения.

**Радиоактивность** является ионизирующим излучением в результате самопроизвольного излучения атомов радиоактивных веществ, например урана.

Ионизирующим его называют потому, что в результате воздействия на любое вещество в нем появляются ионы – заряженные атомы и молекулы.

### **7.2.2 Влияние ионизирующих излучений на электронную элементную базу**

Влияние ионизирующих излучений проявляется в резком увеличении проводимости материалов из-за ионизационных эффектов в них. Влияние на приборы может осуществляться в виде обратимых и необратимых изменений значений определяющих параметров. Например, гамма-лучи вызывают в основном обратимые процессы, которые позволяют восстановление исходных значений определяющих параметров (например, сопротивления) после окончания облучения менее чем через две мсек.

Радиоактивное излучение может стать причиной необратимых ухудшений влагостойкости приборов в результате нарушения структуры материалов самого прибора, а также нарушением структуры материалов защитных покрытий.

### **7.3 Влияние электромагнитных полей на точность приборов**

Влияние электрических или магнитных полей сказывается не только на приборах, предназначенных для измерения электромагнитных величин. Наведенная ЭДС или токи Фуко, в зависимости от принципа действия прибора, могут исказить показания любого датчика, у которого напряжение, сопротивление, электрическая емкость или ток служит выходным сигналом. Таким образом, существует большое количество приборов, имеющих цифровой выход, указанное выше воздействие на которые приведет к значительным искажениям показаний. Например, аналогово-цифровые преобразователи могут регистрировать радиочастотные сигналы электрических или каких-либо других полей. По сети питания в прибор могут попасть электромагнитные помехи. Поэтому при наличии электромагнитных помех у измерительной техники и метрологии выяснение причин появления таких ложных сигналов является одной из важных проблем, когда встает необходимость в разработке методик ввода поправок в измерения.

Например, в больших городах, где широко применяется радиовещание, телевидение и связь, особенно важным становится фактор возникновения систематических погрешностей. Вблизи мощного телецентра уровень электромагнитного излучения может быть настолько высок, что может зажечь низковольтную лампочку, соединению с проволочным контуром без источника питания. Вблизи крупного аэропорта в зоне действия радиолокаторов может наблюдаться такой же эффект. В таких условиях погрешности показаний измерительных приборов могут быть существенно велики. Свою лепту в это вносит повсеместное применение спутникового телевидения и сотовой связи. Буквально за последнее десятилетие сотовая связь достигла таких масштабов, что сейчас ребенок до пяти лет не мыслит своего существования без сотового аппарата. Все это приводит к тому, что уровень сигналов в пространстве нашего окружения настолько высок, что просто не может не оказывать отрицательного воздействия на соответствующие измерительные и регистрирующие приборы, накладываясь на сигналы с их датчиков.

Интересный случай произошел с корабельными измерительными приборами, у которых было зафиксировано появление систематических погрешностей при движении корабля курсом «норд» или «зюйд» продолжительное время по причине намагничивается металлического корпуса корабля от воздействия магнитного поля Земли. При дальнейшем изменении курса корпус корабля значительное время сохранял намагниченность и продолжал искажать показания своих измерительных приборов. Теперь этот эффект достаточно хорошо изучен. Например, для того чтобы избежать срабатывания магнитных мин во время второй мировой войны, суда специально размагничивали. В настоящее время корпуса специальных судов, используемых для научных исследований, изготавливают из немагнитных материалов.

## 7.4 Виды экранирования

От электромагнитных излучений одним из самых эффективных методов защиты является экранирование. Экранированием являются пространственно замкнутые конструкции из токопроводящих или токонепроводящих (диэлектрических) материалов, в которых размещаются элементы приборов, создающие электромагнитные поля, магнитные или электрические поля. От особенности полей, создаваемых элементами приборов при протекании в них электрического тока, зависят способы экранирования [15].

Параметры электрических сигналов определяют характеристики полей. А именно, электрическая составляющая в создаваемом поле преобладает при малых токах и высоких напряжениях, поэтому такое поле называется электрическим или электростатическим. Преобладание магнитной составляющей в поле происходит при больших величинах тока, малых значениях напряжения. Такое поле называется магнитным. Поле называется электромагнитным в случае соизмеримости электрической и магнитной составляющих.

В зависимости от типа создаваемого электромагнитного поля существуют следующие виды экранирования:

- экранирование электромагнитного поля;
- экранирование магнитного поля;

- экранирование электрического поля.

**Экранирование электромагнитного поля** производится применением электрического экранирования и высокочастотного магнитного.

Экранирование производится на пяти уровнях:

- уровень помещений;
- уровень кабельных линий;
- уровень устройств;
- уровень блоков;
- уровень элементов схем.

Выбор материалов экранирования и числа уровней производится с учетом:

- минимизации затрат на экранирование;
- отсутствия или наличия других методов защиты от этих излучений;
- размеров контролируемой зоны и требований к уровню излучения за ее пределами;
- характеристик излучения (мощность, тип, частота).

**Экранирование помещений** производится посредством:

- стальной, медной или латунной сетки с ячейкой до 2,5 мм;
- листовой стали толщиной до 2 мм;

В защищенных помещениях экранируются окна и двери.

**Двери** покрывают токопроводящими материалами (металлическая сетка, стальной лист) или изготавливают цельнометаллическими.

Особое внимание обращается на наличие электрического контакта со стенами токопроводящих слоев двери по всему периметру дверного проема.

Особое внимание при экранировании дверей уделяется отсутствию зазоров или щелей в экране, которые недопустимы.

**Окна** экранируются:

- токопроводящими прозрачными пленками;
- металлизацией стекол;
- металлизированными шторами;
- металлической сеткой.

Ячейки сетки должны быть не более 0,1 длины волны излучения.

Элементы схем, имеющие высокий уровень побочных излучений, помещаются в заземленные корпуса, металлизированные напылением или металлические. Начиная с уровня блоков, экранирование электромагнитного поля осуществляется с помощью конструкций из напыленных металлических сеток или листовой стали. Экранирование кабелей производится металлической оплеткой коробов или стальных труб.

**Экранирование магнитных полей** зависит от его частоты. Различают магнитные поля высокочастотные (св. 10 кГц) и низкочастотные (до 10 кГц).

**Высокочастотные магнитные поля** вызывают на экране возникновение индукционных переменных вихревых токов, создающих магнитное поле, препятствующее распространению побочного магнитного поля. Поглощающая способность экрана зависит от его материала и от частоты побочного излучения. Толщину экрана увеличивают пропорционально уменьшению частоты магнитного излучения. В случае магнитных излучений, имеющих средний и выше диапазон волн, достаточно эффективна толщина экрана от 0,5 до 1,5 мм. При частоте излучения большей 10 МГц применяется серебряный или медный экран толщиной 0,1 мм [16]. На экранирование магнитных полей заземление не влияет.

**Низкочастотные магнитные поля** экранируются за счет большей магнитной проницаемости материала экрана по сравнению с воздухом, вызывающей определенную направленность силовых линий вдоль стенок экрана.

В защищенной аппаратуре корпус металлизирован изнутри, выполняется или цельнометаллическим, или экран монитора покрывается металлической сеткой, или заземленной токопроводящей прозрачной пленкой, а блоки управления экранируются электронно-лучевой трубкой.

**Экранирование электрического поля** производится заземленным металлическим экраном, обеспечивающим нейтрализацию стекающих по заземляющему контуру электрических зарядов. Контур заземления не должен иметь сопротивление, превы-

шающее 4 Ом. Для экранирования электрического поля может использоваться диэлектрический экран с высокой относительной диэлектрической проницаемостью. При этом величина диэлектрической проницаемости равна величине ослабления электрического поля.

Защита от электромагнитных излучений является прямой функцией экранирования, но помимо ее экранирование уменьшает влияние электромагнитных шумов на работу приборов и защищает организм человека от вредного воздействия электромагнитных излучений.

#### 7.4.1 Понятие коэффициента экранирования

Экранирование в общем случае применяется для решения двух основных задач:

- локализации излучения приборов или их определенных частей, препятствующих воздействию этих излучений на человека и другие приборы;
- защита приборов и человека от воздействия внешних полей.

В любом случае степень ослабления составляющих электромагнитного поля, определяемая как отношение действующих значений напряженности полей при наличии и отсутствии экрана в данной точке пространства, определяет эффективность экранирования.

Учитывая большие значения величин ослабления магнитной и электрической составляющих поля, используют показатели эффективности экранирования в логарифмическом виде:

$$K_H = 20Lg \frac{H_0}{H_1}, \text{dB}, \quad K_E = 20Lg \frac{E_0}{E_1}, \text{dB},$$

где  $K_H$  – коэффициент ослабления магнитной составляющей;  $K_E$  – коэффициент ослабления электрической составляющей;  $H_0$  – напряженность магнитной составляющей поля при отсутствии экрана;  $E_0$  – напряженность электрической составляющей поля при отсутствии экрана;  $H_1$  – напряженность магнитной составляющей поля в той же точке пространства при наличии экра-

на;  $E_1$  – напряженность электрической составляющей поля в той же точке пространства при наличии экрана.

Определение фактических значений напряженности полей, т. е. решение теоретической задачи экранирования, чрезвычайно затруднительно, поэтому, в общем случае, более удобно рассматривать экранирование отдельных видов полей отдельно в зависимости от решаемой задачи: электромагнитное поле, магнитное или электрическое. Наиболее часто встречающимся является электромагнитное поле, оно является более общим, так как в большинстве случаев экранирования приходится иметь дело с переменными полями, и значительно реже – со статическими.

Эффективность экранирования практически не зависит от формы экрана. Такой вывод был сделан на основании результатов теоретических и экспериментальных исследований [17]. Эффективность экранирования зависит главным образом от конструктивных особенностей экрана и физических свойств материала, из которого он изготовлен. Это позволяет в реальных условиях для расчета эффективности экранирования использовать самый простой вид экрана:

- плоскопараллельный лист;
- цилиндр;
- сфера и т. п.

В этом случае отклонение расчетной эффективности от реальной будет незначительным, что позволяет провести замену реальной конструкции на вышеуказанные простые виды.

Эффективность экранирования ограничена наличием в экране технологических отверстий:

- для вентиляции;
- устройств вывода-ввода и др.

А в экранированных помещениях – устройств, связывающих их с внешней средой с целью их жизнеобеспечения, что является основной причиной ограничения возможности получения максимальной эффективности использования экрана.

Комплексное электрическое сопротивление при применении плоскопараллельного экрана для электромагнитного поля, в зависимости от материала экрана, можно определить из отношения

тангенциальных составляющих магнитного и электрического полей. Эффективность экранирования представляет собой коэффициент прохождения волны через слой экрана, который равен отношению амплитуды, падающей на экран, и прошедшей через него волны. В вакууме коэффициент прохождения имеет вид:

$$D = \frac{4Z_m}{(1 + Z_m)^2 e^{-\alpha d} - (1 - Z_m)^2 e^{\alpha d}},$$

$$Z_m = \sqrt{\frac{\mu_m}{\varepsilon_m}} \quad \alpha = \frac{2\pi}{\lambda_0} \sqrt{\varepsilon\mu},$$

где  $\lambda_0$  – длина волны в свободном пространстве;  $\mu_m$  – относительная магнитная проницаемость материала экрана;  $\varepsilon_m$  – относительная диэлектрическая проницаемость материала экрана.

При комплексной магнитной и диэлектрической проницаемости материала, в общем случае, крайне затруднителен теоретический анализ приведенного выражения, поэтому для расчета эффективности экранирования используют раздельное рассмотрение отражения и поглощения экраном падающей на него волны [18]. Например, анализ коэффициента прохождения падающей волны на плоскопараллельный бесконечный экран с использованием общей формулы эффективности экранирования, крайне затруднителен, поэтому для определения эффективности экрана может быть использован более простой, приблизительный аналитический расчет с использованием отдельных двух составляющих коэффициента прохождения в виде:

$$K = K_{\text{отр}} + K_{\text{погл}} + K_{\text{н.отр}},$$

где  $K_{\text{отр}}$  – эффективность экранирования при отражении электромагнитной волны экраном;  $K_{\text{погл}}$  – эффективность экранирования при поглощении электромагнитной волны экраном;  $K_{\text{н.отр}}$  – поправочный коэффициент, учитывающий многократные внутренние отражения электромагнитной волны от поверхностей экрана.

Если поглощение волны в экране, то есть потеря ее энергии, превосходит 10 дБ, то в данном выражении можно пренебречь

коэффициентом  $K_{н.отр}$ . Эффективность поглощения энергии экраном находится простым соотношением, полученным на основе представления электрической и магнитной составляющей поля в материале [29]:

$$K_{погл} = 8,7d \sqrt{\pi f \mu_m \sigma},$$

где  $f$  – частота;  $\sigma$  – относительная проницаемость материала экрана.

Очевидно, что стальной экран или экран из другого электропроводящего материала со значительной магнитной проницаемостью, на низких частотах будет эффективнее экрана из цветного материала по поглощению. Однако придется увеличивать толщину экранирующего листа для повышения эффективности экрана. Магнитная проницаемость всех материалов быстро уменьшается с увеличением частоты, при этом уменьшение тем более значительно, чем больше начальное значение проницаемости. Поэтому для частот, меньших или равных 1 кГц, целесообразно использовать материалы с большим значением начальной магнитной проницаемости (104 Гн/м). При большем начальном значении проницаемости и больших значениях напряженности магнитного поля его магнитная проницаемость падает быстрее из-за насыщения материала ферромагнетика.

### **Вопросы для самопроверки:**

1. Способы защиты приборов от влаги.
2. Защитные покрытия.
3. Защитно-декоративные покрытия.
4. Специальные покрытия.
5. Металлические покрытия.
6. Неметаллические.
7. Герметизация элементов, узлов, устройств или всего прибора.
8. Пропитка.
9. Заливка.
10. Обволакивание.
11. Непроницаемые для газов оболочки.
12. Ионизирующие излучения, их определение и свойства.

13. Радиоактивность.
14. Альфа-лучи.
15. Бета-лучи.
16. Гамма-лучи.
17. Рентгеновские лучи.
18. Основные количественные характеристики ионизирующих излучений.
19. Основные характеристики стойкости аппаратуры к ионизирующим излучениям.
20. Радиационная стойкость.
21. Влияние ионизирующих излучений на электронную элементную базу.
22. Влияние электромагнитных полей на точность приборов.
23. Виды экранирования.
24. Экранирование электрического поля.
25. Экранирование магнитного поля.
26. Экранирование электромагнитного поля.
27. Уровень элементов схем.
28. Уровень блоков.
29. Уровень устройств.
30. Уровень кабельных линий.
31. Уровень помещений.
32. Экранирование электромагнитного поля.
33. Экранирование магнитного поля.
34. Экранирование электрического поля.
35. Понятие коэффициента экранирования.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Основы конструирования приборов. Курс лекций / колл. авторов. М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2012. 99 с.
2. *Троян Ф.Д.* Основы проектирования электронной аппаратуры: учебное пособие. Минск: Технопринт, 2001. 93 с.
3. Технология приборостроения: учебник / под общ. ред. проф. И.П. Бушминского. М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002. 138 с.
4. *Цыбрий И.К.* Основы проектирования приборов и систем: учеб. пособие. Ростов н/Д, 2008. 83 с.
5. *Гурин Л.Б., Нестеренко Т.Г., Плотников И.А., Слащев И.В.* Основы конструирования механизмов приборных систем: учеб. пособие. Ч. 1. Томск: Изд. ТПУ, 2000. 112 с.
6. *Красковский Е.А., Дружинин Ю.А., Филатова Е.М.* Расчет и конструирование механизмов приборов и вычислительных систем: учеб. пособие для студентов вузов. М.: Высш. шк., 1991. 168 с.
7. *Авилова Н.В., Иванов Ю.Н., Морозов В.М.* Конструирование электронной аппаратуры: учеб. пособие. Ростов н/Д: Изд. центр ДГТУ, 2008. 148 с.
8. Разработка и оформление конструкторской документации радиоэлектронной аппаратуры. Справочник / Э.Т. Романычева, А.К. Иванова, А.С. Куликов, и др.; под ред. Э.Т. Романычевой. 2-е изд. перераб. и доп. М.: Радио и связь, 1989. 448 с.
9. *Шахнов В.А.* Конструкторско-технологическое проектирование электронной аппаратуры. М.: МГТУ им. Баумана, 2002. 101 с.
10. *Анухин В.И.* Допуски и посадки: учеб. пособие. СПб.: Питер, 2004. 207 с.
11. Конструкторско-технологические методы обеспечения качества изделий машиностроения: учеб. пособие / М.А. Вишняков, Ю.А. Вашуков. Самара: Самар. гос. аэрокосм ун-т, 2005. 83 с.
12. *Самсонов В.А., Сартов Т.Э., Сопоев М.К.* Технологическое обеспечение качества изделий в машиностроении: учеб. пособие для выполнения выпускных квалиф. работ и магистерских диссертаций / КГТУ им. И. Раззакова. Бишкек: ИЦ «Текник», 2016. 304 с.

13. *Тетеревков И.В.* Надежность систем автоматизации: учеб. пособие. Москва–Вологда: Инфра-Инженерия, 2019. 356 с.

14. *Лобанов М.Л., Кардолина Н.И., Россина Н.Г., Юровских А.С.* Защитные покрытия: учеб. пособие. Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2014. 200 с.

15. *Кечиев Л.Н., Акбашев Б.Б., Степанов П.В.* Экранирование технических средств и экранирующие системы. М.: ООО «Группа ИДТ», 2010. 470 с.

16. *Журавлёв И.Н., Кечиев Л.Н., Крючков Н.М., Савин Ю.В., Демский Д.В.* Специализированный измеритель напряжённости электрического поля для измерения эффективности экранирования // Технологии ЭМС. 2013. № 1 (44). С. 23–28.

17. *Демский Д.В., Лафшиев М.А.* Расчёт эффективности экранирования неоднородных экранов // Технологии ЭМС. 2011. № 2 (37). С. 55–56.

18. *Демский Д.В., Фомина И.А., Марченко М.В.* Автоматизация расчёта эффективности экранирования // Технологии ЭМС. 2013. № 1 (44). С. 44–54.

# СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	5
Глава 1 ПРИБОРЫ КАК ТЕХНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ .....	7
1.1 Классификация приборов .....	7
1.1.1 Классификация приборов по назначению .....	7
1.1.2 Классификация приборов по применяемости .....	7
1.2 Структурная схема и принцип работы приборов .....	9
1.3 Виды и типы схем приборов .....	10
1.4 Эксплуатационные свойства приборов .....	12
1.4.1 Общие эксплуатационные свойства .....	13
1.4.2 Специальные эксплуатационные свойства .....	13
1.4.2.1 Технологические свойства приборов .....	13
1.4.2.2 Энергетические свойства приборов .....	14
1.4.2.3 Эргономические свойства приборов .....	14
1.4.2.4 Гигиенические свойства приборов .....	14
1.4.3 Численная оценка эксплуатационных свойств приборов .....	15
1.4.3.1 Техничко-экономические показатели .....	15
1.4.3.2 Результирующие показатели .....	15
1.4.3.3 Стоимостные показатели приборов .....	16
1.4.3.4 Рабочие показатели .....	16
1.4.3.5 Номинальные показатели .....	16
1.5 Основные характеристики прибора как технической системы .....	17
1.6 Обобщенная функциональная модель прибора .....	19
1.7 Особенности конструкции морской аппаратуры .....	23
1.8 Особенности конструкции космической аппаратуры .....	24
1.9 Особенности конструкции медицинской аппаратуры .....	24
1.10 Особенности конструкции электронной аппаратуры .....	25
1.11 Основные задачи конструирования электронной аппаратуры .....	26

1.12 Типовые узлы и устройства приборов.....	27
Вопросы для самопроверки.....	32
Глава 2 ОСНОВНЫЕ ЭТАПЫ РАЗРАБОТКИ ПРИБОРОВ .....	34
2.1 Алгоритм разработки прибора или конструкции .....	34
2.1.1 Этапы проектно-конструкторской работы.....	34
2.1.2 Основные группы технической документации.....	38
2.1.2.1 Конструкторская документация .....	38
2.1.2.1.1 Комплектность конструкторской документации .....	40
2.1.2.1.2 Виды конструкторских документов.....	40
2.1.2.1.3 Спецификация.....	41
2.1.2.2 Технологическая документация .....	44
2.1.2.3 Стандарты, и патентная документация .....	45
2.1.2.4 Научно-исследовательская документация .....	45
2.2 Организация и порядок выполнения НИР .....	46
2.2.1 Виды НИР и их основные этапы .....	46
2.2.2 Требования к научно-исследовательской работе – диссертации .....	50
2.2.3 Выбор наименования темы исследования.....	51
Вопросы для самопроверки.....	52
Глава 3 ДОПУСКИ И ПОСАДКИ .....	53
3.1 Основные положения .....	53
3.1.1 Термины и определения.....	53
3.2. Условные обозначения.....	60
3.2.1 Квалитеты.....	60
3.2.2 Поле допуска.....	60
3.2.3 Посадка.....	60
3.2.4 Интерпретация предельных размеров .....	61
3.2.5 Числовые значения допусков .....	61
Вопросы для самопроверки .....	63
Глава 4 РАЗМЕРНЫЕ ЦЕПИ .....	64
4.1 Виды и характеристика размерных цепей.....	64
4.2 Расчет размерных цепей .....	67

4.2.1	Порядок теоретического расчета .....	67
4.2.2	Основные соотношения размерных цепей .....	68
4.3	Виды размерных цепей .....	70
	Вопросы для самопроверки.....	74
Глава 5	КАЧЕСТВО ПРИБОРОВ .....	76
5.1	Определение качества приборов.....	76
5.2	Технологичность конструкции прибора.....	78
	5.2.1 Показатели технологичности конструкции .....	81
5.3	Способы повышения точности приборов.....	84
	5.3.1 Методы предотвращения погрешностей.....	84
	5.3.2 Методы снижения погрешностей .....	85
5.4	Качество поверхности приборов.....	87
	5.4.1 Топография и контакт поверхностей.....	87
	Вопросы для самопроверки.....	101
Глава 6	НАДЕЖНОСТЬ ПРИБОРОВ .....	102
6.1	Показатели и определение надежности приборов .....	102
	6.1.1 Основные определения надежности .....	103
	6.1.2 Показатели надежности приборов .....	106
	6.1.3 Качественные характеристики и определения надежности.....	108
	6.1.4 Количественные характеристики и определения надежности.....	110
6.2	Надёжность как наука .....	111
	6.2.1 Теория надежности.....	111
	6.2.2 Параметры системной надежности.....	112
	6.2.3 Программа обеспечения надежности .....	113
	6.2.3.1 Надежность на этапе проектирования .....	115
	6.2.3.2 Нормирование надежности.....	116
	6.2.3.3 Моделирование надежности.....	116
	6.2.3.4 Испытания на надежность .....	118
	6.2.3.5 Способы повышения надежности приборов....	118
6.3	Ремонтопригодность приборов .....	121

6.3.1 Показатели ремонтпригодности.....	122
6.3.2 Характеристики ремонтпригодности .....	122
Вопросы для самопроверки.....	122
Глава 7 ЗАЩИТА ПРИБОРОВ ОТ ВНЕШНИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ.....	124
7.1 Способы защиты приборов от влаги.....	124
7.1.1 Пропитка .....	125
7.1.2 Заливка.....	126
7.1.3 Обволакивание.....	127
7.1.4 Вакуумно-плотная герметизация .....	127
7.2 Влияние ионизирующих излучений на свойства приборов.....	128
7.2.1 Ионизирующие излучения, их определение и свойства .....	128
7.2.2 Влияние ионизирующих излучений на электронную элементную базу.....	129
7.3 Влияние электромагнитных полей на точность приборов.....	130
7.4 Виды экранирования .....	131
7.4.1 Понятие коэффициента экранирования.....	134
Вопросы для самопроверки.....	137
ЛИТЕРАТУРА .....	139

**Н. А. Рагрин**

**РАСЧЕТ И КОНСТРУИРОВАНИЕ  
ПРИБОРОВ**

Учебник

Редактор *К. Тимофеева*  
Компьютерная верстка *Д.Ю. Иванова*

Подписано в печать 29.11.2021.  
Печать офсетная. Формат  $60 \times 84^{1/16}$ .  
Объем 9,25 п. л. Тираж 100 экз. Заказ 14

Издательство КРСУ  
720000, г. Бишкек, ул. Киевская, 44

Отпечатано в типографии КРСУ  
720048, г. Бишкек, ул. Анкара, 2а



**РАГРИН**  
**Николай Алексеевич**

Доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Приборостроение» КРСУ.

Автор 107 научных трудов, в том числе: 3 монографии, 3 авторских свидетельства СССР, два патента Кыргызской Республики.

Автор 4 учебников, из них три с грифом МОН КР, 7 учебных пособий.