

Министерство образования и науки РФ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
Владимирский государственный университет имени
Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых
Кафедра приборостроения и
информационно измерительных технологий

ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПРИБОРОВ И СИСТЕМ

(конспект лекций)

Составитель
Л.К.Генералов

Владимир 2013

УДК 621.81 (075)
ББК 34.446.1(075)

Рецензент:

Кандидат технических наук, доцент кафедры
мехатроника и электронные системы автомобилей

В.П. Умнов

Методическое пособие «Основы проектирования приборов и систем» (конспект лекций) / сост.: Л.К.Генералов; Владим. гос. ун – т. – Владимир : Электронный ресурс. 2013. – 123 с.

В пособии «Основы проектирования приборов и систем» приведены сведения, позволяющие получить первоначальные знания по основным принципам и этапам проектирования измерительных приборов и систем, их принципами действия и характеристиками. Использован подход, формирующий проектную культуру на основе современных методов проектирования технических устройств с использованием компьютерной техники и информационных технологий.

Содержание лекций соответствует программе подготовки бакалавров по дисциплине «Основы проектирования приборов и систем», который автор читает в ВлГУ на кафедре Приборостроения и информационно – измерительных технологий.

Конспект лекций может быть полезен бакалаврам машиностроительных специальностей.

УДК 621.81 (075)
ББК 34.446.1(075)

Лекция № 1

Предмет и объект изучения дисциплины Основы проектирования приборов и систем

1. Значение приборов и машин в науке и технике

Необходимость в получении информации о состоянии того или иного процесса (параметра) с помощью измерительных устройств возникает во всех областях науки и техники при проведении экспериментов, контроле производственных процессов, переработки информации, управления движущимися объектами. При этом, важное значение имеет точность и качество измерения, которые зависят от качественных показателей измерительного устройства.

Машины и измерительные устройства или приборы являются средствами производства и служат для удовлетворения потребностей общества в различных услугах.

Машиной называется устройство, служащее для преобразования энергии и вещества в продукт труда.

Приборами называются устройства, осуществляющие функции измерения, контроля, счета, учета, защиты, настройки, регулирования, вычисления, регистрации, управления и др.

Кинематическую основу машин и приборов составляют механизмы. *Механизмом* называется устройство, предназначенное для передачи и преобразования движения и состоящее из физических тел (звеньев) обладающих определенными движениями.

По назначению и области использования машины можно подразделить на следующие классы:

- энергетические;
- транспортные;
- технологические;
- управляющие;
- вычислительные.

По назначению приборы можно подразделить на группы:

- измерительные;
- контрольные;

- регулирующие;
- управляющие;
- счетные приборы и вычислительные устройства;
- специальные.

Переход с автоматизированного производства на автоматическое способствовал развитию и переходу на новое оборудование. Машины, осуществляющие все операции без участия человека, называются машинами – автоматами.

Комплекс машин автоматов называется автоматической линией.

Системы автоматического управления (САУ) применяются для выполнения функций контроля и регулирования параметров процесса и для управления оборудованием, обеспечивающим этот процесс.

Приведенные примеры демонстрируют важность, которую играют приборы в осуществлении развития производства материальных благ.

2. Задачи курса его содержание и методика изучения

Основными задачами курса является изучение основ проектирования механизмов, методов расчета и разработки конструкций точных механизмов их узлов и деталей, приобретения навыков оформления конструкторской документации в соответствии с ЕСКД.

Понятие качества проектирования определяется созданием такой системы, которая способна функционировать при постоянном совершенствовании технологического обеспечения производства. Значение качества проектирования очень велико. По данным исследователей, занимающихся вопросами причин катастроф, оказалось, что 65 - 75% отказов технических систем происходит по вине проектировщиков, 20 - 30% несовершенство технологии и от 3 до 5% по вине рабочих

Создание эффективных систем потребовало разработки новой методики их проектирования, базирующейся на единой основе с возможностью использования имеющихся наработок из различных областей науки и техники

Методология проектирования была предложена академиком В.М. Глушковым, которая базируется на следующих основных принципах:

1. Принцип системности. Макро анализ – система выступает в качестве элемента с внешними связями, технологическая система и его взаимодействие с внешней средой

Микро анализ, внутренняя структура объекта с ее взаимосвязями и иерархией

В основе проектирования метод моделирования на базе системного подхода, позволяющий находить оптимальный вариант структуры измерительного устройства обеспечивающего наибольшую эффективность его функционирования.

2. Принцип развития. Возможность модернизации и совершенствования ИУ.

3. Принцип совместимости. Возможность взаимодействия ИУ с различными уровнями в процессе функционирования.

4. Принцип стандартизации и унификации заключается в применении стандартизованных и унифицированных элементов. Использование накопленного опыта приводит к экономии времени и средств и автоматизации процесса проектирования.

5. Принцип эффективности заключается в достижении рационального соотношения между затратами на создание ИУ и целевым эффектом, полученным от его функционирования.

Существуют дополнительные требования, учитывающие специфику технологического объекта. Так для измерительных систем необходимо учитывать следующие требования:

- обеспечение заданной точности функционирования;
- обеспечение жесткости и прочности отдельных элементов и конструкции в целом;
- надежности и долговечности;
- взаимозаменяемость деталей и узлов;
- минимальная масса и габариты;
- простота и удобство в эксплуатации;
- безопасность;
- технологичность в изготовлении.

Соблюдение этих принципов и требований необходимо на всех стадиях создания и функционирования ИУ.

Всего насчитывается четыре стадии жизненного цикла ИУ

1 стадия. Предпроектное обследование. Сбор и анализ материалов для проектирования, формирование документации, ТЭО и ТЗ на проектирование.

2 стадия. Проектирование эскизное, техническое и рабочее.

3 стадия – Ввод системы в действие. Подготовка к внедрению, опытные и промышленные испытания, сдача в промышленную эксплуатацию.

4 стадия. Промышленная эксплуатация. Ежедневное функционирование, техническое обслуживание и администрирование.

3. Содержание и методы ведения проектных работ

Создание ИУ может осуществляться по двум направлениям. Первый вариант предполагает, что разработкой АИС занимаются специализированные фирмы, имеющие опыт работы в создании подобных систем, а также принимающие в этом участие узкопрофильные специалисты.

Второе направление связано с разработкой систем специалистами предприятий, находящихся в штате, где осуществляется переход на новые технологии изготовления изделий и принятия управленческих решений.

В н.в. в проектировании наблюдается две крайности – это соблюдение всех проектных норм и стандартов, которые отстают от жизни и соответственно отстают разрабатываемые системы и они не вписываются в жизненное пространство.

Разработка систем по второму направлению не связана с привязкой к документам и поэтому системы создаются под задачи конкретного предприятия, легко внедряются, но не имеют связи с родственными предприятиями и их внедрение затруднено и ограничено только одним предприятием. Это противоречие преодолимо при соблюдении проектной дисциплины.

У проектировщиков при создании систем возникают взаимосвязанные трудности:

- проектировщику сложно получить от заказчика исчерпывающую информацию о требованиях к системе или технологии;
- заказчик не имеет подробных знаний об уровне автоматизации работ, а проектировщик не способен знать все тонкости проектируемой сис-

темы, что вызывает трудности моделирования и формализованного описания;

- спецификация проектируемой системы ввиду большого объема специальных и технических терминов часто не понятна заказчику, а чрезмерное ее упрощение не может удовлетворить проектировщиков. Выход из создавшегося положения дают современные методы системного анализа и синтеза.

Системный анализ это метод исследования, который начинается с ее общего обзора и кончается элементами системы.

Для проведения структурного анализа используются два принципа:

1. Разбиение трудно формализуемой задачи на ряд подзадач легких для понимания и решения.

2. Устройство этих частей удобно для понимания и формализованного описания.

На предпроектной стадии проводится изучение и анализ всех особенностей объекта проектирования и возможностей формализованного описания.

Уточняются архитектура системы, интерфейсы, требования к компонентам и техническому обеспечению.

Качество проекта во многом будет зависеть от выбранных методов исследования системы. На первом этапе используется **метод изучения и анализа фактического состояния объекта или технологии**.

Метод формирования заданного состояния – основывается на теоретическом обосновании всех составных частей и элементов ИУ исходя из целей, требований и условий заказчика.

Автоматизированные системы проектирования

Второй развивающийся путь ведения проектировочных работ это **CASE технологии**.

4. Классификация измерительных устройств или приборов

Под измерительным устройством или прибором понимается средство измерений, предназначенное для выработки сигнала измерительной информации в форме, доступной для непосредственного восприятия наблюдателем.

ИУ классифицируются по следующим признакам;

1. По выполняемым функциям:

– измерительные для прямого и косвенного сравнения с единицей измерения, в том числе показывающие и регистрирующие;
- датчики.

2. Контрольные приборы, которые показывают, находится регулируемая величина в заданных пределах или нет.

3. Регулирующие приборы, посредством которых регулируемая величина находится в заданных пределах, обусловленных ходом процесса, например скорости, давления, температуры.

4. Управляющие приборы, которые по заранее заданной программе или по условиям хода процесса осуществляют изменение кокой – либо величины в ходе выполнения процесса.

5. Счетные приборы и вычислительные устройства, осуществляющие математические операции, например счетчики, интеграторы, сумматоры и др.

6. Специальные приборы, применяемые при научных исследованиях и в условиях специального назначения.

5. Функциональная структура приборов

Приборы предназначены для измерения физических величин , наблюдения, управления и регулирования. Для этого измеряемый параметр воспринимается, преобразуется и передается исполнительному механизму прибора. В соответствии с выполняемой задачей в любом приборе различают **три основных узла; воспринимающий - преобразующий, передающий и четвертый исполнительный.** Структурная схема исполнительного механизма показана на рисунке 1.

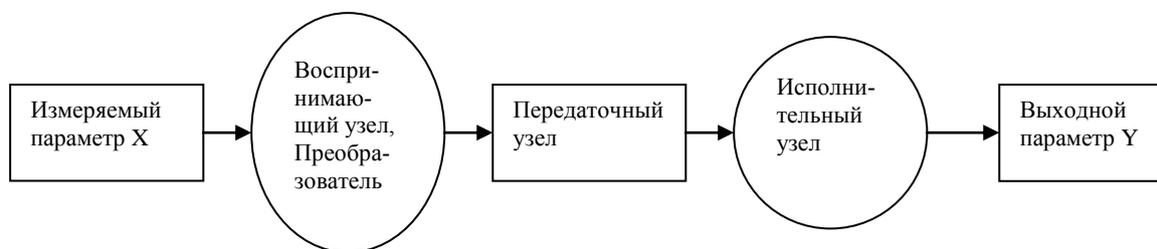


Рис. 1 Структурная схема измерительного прибора

Пример - манометр для измерения избыточного давления. Мостовая схема включения тензорезистора.

Во многих приборах измеряемая величина преобразуется в действующую силу или действующий момент, которые осуществляют перемещение или поворот исполнительного узла. Следовательно, между силой и углом или перемещением существует функциональная связь

$$M = f(X); \quad P = f(X)$$

Эти выражения называются уравнениями принципа действия прибора.

5.1 Типовые структуры ИУ

Исполнительное устройство или прибор можно рассматривать как преобразователь физической величины, являющимся входным сигналом в другую физическую величину – выходной сигнал, пригодную для отсчета или удобную для преобразования без участия человека,

Типовые структуры соединения блоков при прохождении сигналов показаны на рис. 2, где:

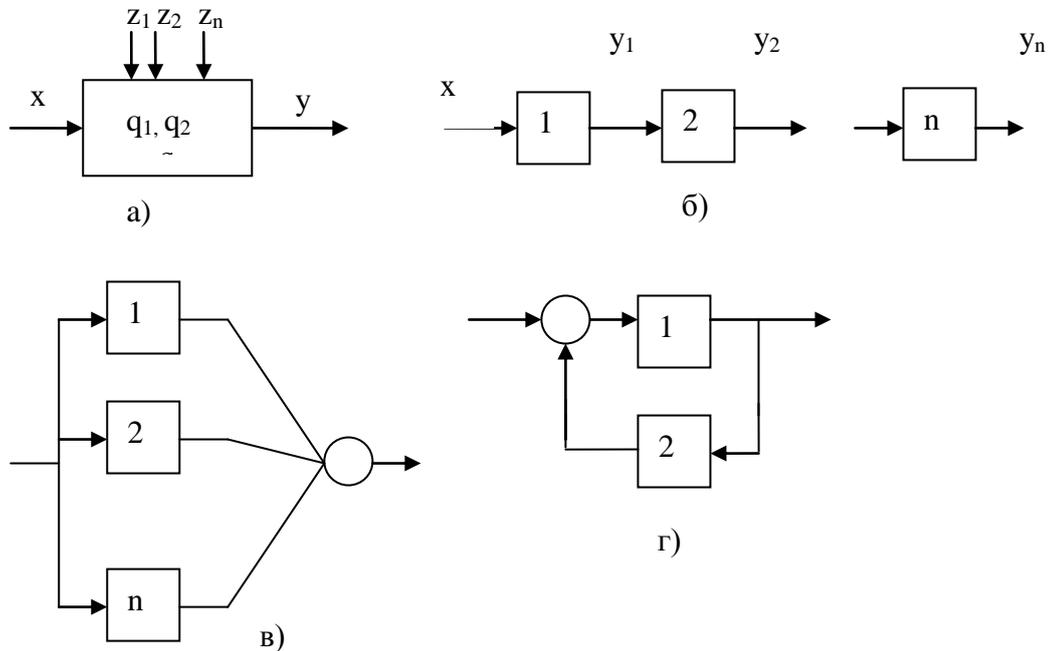


Рис. 2 Типовые схемы соединения блоков

- а) ИУ как преобразователь обобщенных физических величин;
- б) последовательное преобразование физических величин;
- в) параллельное преобразование;
- г) ИУ как преобразователь физических величин с отрицательной обратной связью

Схема прохождения сигнала может быть представлена в виде отдельных функциональных элементов, где кроме входных и выходных элементов представлены промежуточные, имеющие внутренние параметры, присущие данному типу ИУ и внешние параметры, отображающие условия в которых эксплуатируется ИУ.

В качестве примера рассмотрим последовательность преобразований в приборах пружинного типа, содержащих силовой или моментный чувствительный элемент.

К внутренним параметрам относятся геометрические размеры деталей, физические параметры материалов, внутренние дестабилизирующие воздействия (силы трения и дисбаланса, термо ЭДС и т.п.)

Внешние параметры – это параметры окружающей среды (атмосферное давление, температура воздуха и др.), источников питания, внешних электрических, магнитных и гравитационных полей, ускорения объектов на которых установлен прибор.

В большинстве приборов преобразование сигналов является многоступенчатым, когда измеряемая величина претерпевает преобразования, прежде чем дойдет до исполнительного элемента.

Лекция №2

Измерения и измерительная информация

1. Термины и определения

Измерение это нахождение значения физической величины опытным путем с помощью специальных технических средств.

Измерительная информации это значения физической величины. Результатом является количественная характеристика в виде числа. Основ-

ной характеристикой измерений является точность, которая характеризуется погрешностью и вероятностью появления.

Близкие по значению процессы контроль и счет.

Контроль это установление соответствия между заранее заданной величиной и значением контролируемого процесса с установлением и формированием суждения. Результатом является суждение вывод о нахождении контролируемого объекта в заданных пределах.

Счет это процесс определения числового значения дискретной величины. Результатом является число предметов счета не имеющих строго определенных параметров.

Результатом измерения является количественная характеристика, а контроля – качественная. Измерение производится в широком диапазоне значений, а контроль в ограниченном.

2. Виды и методы измерений

Основной задачей данного параграфа является доведение до сведения слушателей установившейся терминологии видов и методов измерений, к которым относятся методы сравнения, методы измерительных преобразований, и методы измерений.

Методом сравнения будем называть совокупность приемов использования физических явлений и процессов для определения соотношения сравниваемых величин

Методы сравнения можно подразделить на **непосредственные и после преобразования**. Например, непосредственное сравнение частот по методу биений или компенсационный метод (для величин непрерывного действия) взаимным уравниванием действующими сигналами на определенных участках.: напряжений, токов, магнитных полей, сил и моментов.

Примером после преобразования может служить определение соотношения между сопротивлениями путем определения разности потенциалов между двумя точками двух цепей

По характеру осуществляемых операций методы можно классифицировать как **одновременные, разновременные и периодического сравнения**. как показано на рис. 1.

Одновременные методы характерны наличием двух входов и одним выходом. Разновременного действия это сравнение двух спектров действующего и эталонного, сравнивается их разность.

Периодическое сравнение осуществляется при наличии переключателя на входе. Сравнение происходит вместе с составляющей, имеющей частоту переключения на входе.

Измерительное преобразование – операция преобразования одной или нескольких величин в величину измеряемой величины, удобную для восприятия.

Метод измерительного преобразования основан на приемах использования физических явлений и процессов с целью получения величины, содержащей информацию об измеряемой величине. Это может быть одна величина или несколько, например, суммо – разностный метод. Могут использоваться несколько величин одновременно, но для этого используют источник преобразования с несколькими входами и одним выходом.

Измерительные преобразователи в зависимости от вида структурной схемы подразделяются на прямого преобразования с разомкнутой структурной схемой и уравнивающего преобразования с замкнутой структурной схемой.

Классификация измерений по видам. В зависимости от способа получения численного значения измеряемой величины различают следующие виды измерений:

- прямые;
- косвенные;
- совокупные.

Прямые измерения используются для непосредственного измерения исследуемой величины. Измеряемая величина подается непосредственно на вход измерительного устройства и сравнивается с эталоном по показаниям прибора.

Косвенными измерениями являются такие, при которых значение измеряемой величины определяют по функциональной зависимости через иные величины, которые можно непосредственно измерить. К ним прибегают в случаях, когда измеряемая величина зависит от двух и более факторов одновременно, тогда их подают на вход, результат автоматически пересчитывается по функциональной зависимости и на выходе регистрируют выходную величину. Иногда замеряют выходную величину без преоб-

разования, но затем используют вычислительные устройства для определения результата. Например измерение мощности. Можно по току и напряжению, а можно ваттметром в котором имеется функциональное перемножающее устройство.

Совокупными называют такие измерения, при которых числовое значение совокупно измеряемых величин определяют путем решения систем уравнений через иные величины, которые измеряют прямо или косвенно. Например измерение температурных коэффициентов электрического сопротивления α и β . Определяют сопротивление при начальной температуре, затем при t_1 и t_2 и решают систему из трех уравнений с тремя неизвестными.

3. Классификация методов прямых измерений

Методом измерения называется совокупность приемов использования средств измерений: мер, масштабных преобразователей измеряемой величины, устройств сравнения для получения результата. Основой операцией при измерении является сравнение, поэтому методы измерения в первую очередь классифицируются по этому признаку.

В зависимости от особенностей операций сравнения методы измерения подразделяются на:

1. **С одновременным сравнением** измеряемой и известной величины.
2. **С разновременным сравнением** – в разное время вводят измеряемую величину и известную.
3. **С периодическим сравнением** вводят периодически измеряемую и эталонную величину.

Измеряемую величину можно масштабировать, поэтому методы можно подразделить на **масштабируемые** и **без масштабного преобразования**. Более надежные методы без масштабного преобразования.

Далее рассматриваются методы без масштабного преобразования.

Прямые измерения с одновременным сравнением можно подразделить в зависимости от особенностей применения и числа применяемых устройств сравнения. В зависимости от меры сравнения:

- **многозначные нерегулируемые**, воспроизводящие одновременно несколько известных значений X (например линейка)
- **однозначные**, воспроизводящие одно известное значение X ;

- *регулируемые меры*, воспроизводящие одно значение X , которое может меняться степенями Например изменение емкости переключателем.



Рис. 1 Классификация методов прямых измерений

В зависимости от особенностей применяемых мер для одновременного сравнения X и X_0 и числа устройств сравнения можно подразделить на методы с использованием *нерегулируемых многозначных мер* и многих устройств сравнения на каждом известном X_0 и метод с использованием *однозначных регулируемых и нерегулируемых мер* и небольшого числа устройств сравнения. Методы с использованием многозначных мер можно подразделить с использованием одной меры, но имеющей разное значение который называется *методом сопоставления или прямого преобразования* и метод с использованием двух и более многозначных мер, который называется методом *совпадения или методом нониуса*. Например, использование мер для линейного или углового перемещения это *сопоставление* или набор простейших мер для автоматического квантования это.

Метод использования двух и более многозначных мер называют методом нониуса, применяется тогда, когда ступени деления меры велики для измерения с заданной точностью и чувствительностью. Для этого применяется две и более многозначных мер, нулевые отметки которых сдви-

нуты на измеряемый интервал. Применим для измерения малых величин, меньших чем кванты. Числовое значение X первое из совпадающих квантов или близкое к нему. Часто этот метод используется для измерения перемещений или времени. Пример штангенциркуля и импульсного генератора

Метод уравнивания. Измеряют величину X и сравнивают с эталонным значением, если не совпадает увеличивают значение регулируемой меры до полной компенсации. Определяют сколько было добавлено регулируемой мерой и считают результат.

Дифференцированный метод или разностный применяется в тех случаях, когда ступени велики для измерения X . В этом случае измеряемая величина измеряется по частям. Первая часть измеряется с использованием крупных мер, а вторая с использованием меньших, сопоставимых с X_1 . Результат затем складывается.

Метод предварительной градуировки На первом этапе водится некоторая известная величина с дискретными значениями от регулируемой меры и запоминается, т.е. производится градуировка. Затем измерение.

Метод замещения. Выполняется в два этапа. На первом этапе подается X на вход на выходе производится измерение выходной величины Y и ее запоминание. На втором этапе на вход подается X от регулируемой меры, которая изменяется до тех пор пока Y не станет равным Y_1 .

На втором этапе метода замещения измерение выполняется методом уравнивания с помощью однозначной регулируемой меры.

Лекция №3

Виды информации и ее количественная оценка

1. Понятие об измерительной информации

Информация это сведения необходимые и полезные для использования и принятия решений.

Информация – обозначение содержания событий, изменяющих исходную неопределенность опыта, ситуации, явления. В процессе измере-

ния неопределенность снижается, поскольку измерения повышают уровень знаний о данном явлении. Следовательно - измерения тоже являются информацией.

Информация подразделяется на качественную и количественную. Качественная – это цвет, запах, свойства среды. Количественная информация, получаемая в результате счета, вычислений, измерений. Количественную информацию, получаемую в результате измерений, называют измерительной информацией.

Неопределенность измерительной ситуации выражается как логарифм числа, обратного вероятности измерительной ситуации P и определяется выражением

$$H(X)_{\text{исх}} = \log 1/p.$$

Если в данной ситуации об измеряемой величине все известно, то неопределенность равна нулю. При постоянном напряжении 100В сколько не измеряй через определенные промежутки времени все равно будет 100В, тогда вероятность этого значения равна $P = 1/N = 1$. Тогда исходная неопределенность (энтропия) данной ситуации равна

$$H(X)_{\text{исх}} = \log 1/1 = 0. \tag{1}$$

Следовательно измерение этого напряжения не изменяет неопределенности опыта и не дает информации.

Если нам не известно напряжение которое может быть показано прибором, но известно что оно может принимать значение 1,2,3,4,5....100В. При проведении 100 измерений суммарная вероятность

$$\sum_1^{100} P_i = 1 \text{ т.е. имеет место равная вероятность распределения. Если прово-}$$

дим одно измерение, то вероятность появления значения $P_i = 1/N = 1/100$, а исходная неопределенность этого будет равна

$$H(X)_{\text{исх}} = \log 1/1/N = \log N \tag{2}$$

Измерение в этой ситуации изменяет неопределенность и является процессом получения информации.

При равномерном распределении исходная неопределенность равна

$$H(X)_{исх} = \log N_H \quad (3)$$

и максимальна по значению, т.е. наше знание о ситуации **минимально**. При всяком другом законе распределения исходная неопределенность меньше. Всякое выравнивание и приближение соседних значений P_i в кривой распределения плотности вероятности приводит к увеличению средней энтропии (неопределенности).

При неодинаковой вероятности возможных **дискретных значений** напряжений ситуацию характеризуют средней неопределенностью (энтропией) или средневзвешенной энтропией

$$H(X) = \sum_{i=1}^{i=n} P(X)_i \log \frac{1}{P(X)_i} \quad (4)$$

При исследовании **аналоговой** величины теоретически может быть бесчисленное количество значений в заданном диапазоне и плотность вероятности может быть распределена по любому закону $P(X)$. В этом случае исходная неопределенность определяется по формуле

$$H(X) = \int_{X_{\min}}^{X_{\max}} P(X) \log \frac{1}{P(X)_i} dx. \quad (5)$$

2. Количество измерительной информации, получаемой от измерительного прибора

Количество информации, полученной при измерении, равно уменьшению неопределенности ситуации в результате измерения.

$$I(X) = H(X)_{исх} - H(X)_{ост}, \quad (6)$$

где : $H(X)_{исх}$ – исходная неопределенность значения величины до измерения; $H(X)_{ост}$ - остаточная неопределенность после измерения.

Если предположить, что измерили X без погрешности абсолютно точно и **дискретно**, т.е. при $\Delta X = 0$ и $X = \text{const}$, то при этом неопределенность $H(X)_{\text{ост}} = 0$.

Если в процессе измерения погрешность не равна нулю, как это обычно бывает при **аналоговом** измерении, то неопределенность ситуации после измерения также не равна нулю. Исходная неопределенность при аналоговой измеряемой величине стремиться к бесконечности, т.к. возможное число замеров в данной диапозоне бесконечно. Следовательно, для полного знания данной величины, и полного устранения неопределенности необходимо бесконечно большое количество информации.

А. Измерение дискретные величин

При определении числового значения для **дискретной** измеряемой величины с ограниченным числом значений $N = \frac{X_k}{\Delta X_k}$ - исходная неопределенность конечна и при одинаковой вероятности всех значений равна

$$H(X)_{\text{исх}} = \log N_n \quad (7)$$

Определить числовое значение такой дискретной величины с точностью до единицы счета равной единице квантования ΔX_k можно без погрешности и остаточной неопределенности в этом случае нет. Поэтому количество информации в этом случае будет равно

$$I(X) = \log N_n \quad (8)$$

При определении дискретной величины возможны ошибки, например ± 1 единица счета. Но можно взять и несколько единиц.

Остаточная неопределенность при равномерном распределении в этом случае будет

$$H(X)_{\text{ост}} = \sum_{i=1}^{i=n} P_i \log \frac{1}{P_i} = \log n. \quad (9)$$

Количество информации при таком определении числового значения дискретной величины равно

$$I(X) = \log N_n - \log n. \quad (10)$$

Пример. В ящике находится 1000 деталей и будем считать их десятками, то в десятичных единицах количество информации будет

$$I(X) = \log 1000 - \log 10 = 2, \quad (11)$$

т.е. в ящике действительно 1000 деталей или нет.

При измерении *аналоговой* величины X никогда не ставится задача точного определения её истинного значения, одного из бесконечных и с погрешностью равной нулю. Это не имеет смысла, на практике так не бывает. Всегда при измерении данной величины мы ограничены конечным числом значений $N_k = \frac{X_k}{\Delta X_k}$.

Кроме этого мы всегда располагаем определенными сведениями об измеряемой величине что именно замеряем, какая по размеру эта величина и другие особенности. Это и есть исходная неопределенность, которую можем вычислить по формуле

$$H(X)_{исх} = \log N_n \quad (12)$$

В данном случае мы полагаем, что разбиение диапазона производится равномерно без дополнительных погрешностей кроме самого разбиения. Т.о. мы приходим к дискретному разбиению. Ширина интервала неопределенности ΔX_k следовательно $n = 1$. Вероятность этого распределения равна $\log \frac{1}{1} = 0$ и остаточная неопределенность после измерения $H(X)_{ост} = 0$, следовательно количество информации полученной от такого прибора при равномерном распределении вероятности X будет равно

$$I(X) = \log N_n \quad (13)$$

Если погрешность промежуточных преобразований равна $\pm \Delta X$ величине интервала разбиения и распределена равномерно то число уровней квантования (разбиения) в интервале неопределенностей выходной величины прибора

$$2 \Delta X = 2\gamma X_n \quad (14)$$

(где γ – основная приведенная погрешность прибора) равно $n_2 = \frac{2\Delta X}{\Delta X_k}$

. Вероятность каждого из этих значений при равномерном распределении составит $P_z = 1/n_2$, а остаточная неопределенность результата измерения будет равна:

$$H(X)_{\text{ост}} = \sum_{i=1}^{i=n} P_{2i} \log \frac{1}{P_{2i}} = \log n_2 \quad (15)$$

Количество информации будет следующим:

$$I(X) = \log N_H - \log n_2 = \log \frac{X_H}{\Delta X_g} - \log \frac{2\Delta X}{\Delta X_k} = \log \frac{X_H}{2\Delta X} \quad (16)$$

Например, если в показывающем приборе класса 1, т.е. при $\Delta X = \pm 1\%$, число различимых оператором долей каждого деления шкалы равно 10, то $N_H = 10^{+3}$, а количество информации в десятичных единицах, которое можно получить от данного прибора при равномерном распределении измеряемой величины и погрешности, равно:

$$I(X) = \log 1000 - \log \frac{2*1}{0,1} = \log 1000 - \log 20 = 1,8.$$

Б. Измерение аналоговых сигналов

При изменении аналоговой величины более правильно учитывать её непрерывность и определять исходную и остаточную энтропию по непрерывным законам распределения $P(X)$. В этом случае средняя исходная энтропия будет равна:

$$H(X)_{\text{исх}} = \int_{X_{\min}}^{X_H} P(X) \log \frac{1}{P(X)} dX, \quad (17)$$

где $P(X)$ – плотность вероятности X до измерения.

Средняя остаточная энтропия при суммарной погрешности прибора δ_x равна:

$$H(X)_{\text{ост}} = \int_{X_{\min}}^{X_{\max}} P(\delta_x) \log \frac{1}{P(\delta_x)} d\delta_x, \quad (18)$$

где $P(\delta_x)$ – плотность вероятности X после измерения.

Зная исходную и остаточную энтропию можем получить количество информации.

3. Поток измерительной информации получаемой от измерительного прибора

Изменяющуюся во времени величину $X(t)$ можно измерять цифровым прибором только в дискретные моменты времени. Оператор отсчитывает показания по шкале аналогового прибора также только в дискретные моменты времени. Чем меньше цикл измерения $T_{\text{ц}}$ тем больше сведений получают об измеряемой величине от прибора в единицу времени. Максимальное количество информации об измеряемой величине, которое можно получить от прибора в единицу времени, называют **поток информации**, получаемой от прибора или пропускной способностью прибора

$$\Phi_{\text{инф}} = \frac{I(X)}{T}, \quad (19)$$

где $I(X)$ – количество выданной за время T информации в двоичных единицах информации.

Определим потоки информации полученные от цифровых и аналоговых приборов.

А. Цифровые приборы

Поток информации от цифрового прибора может быть определен так:

$$\Phi_{\text{инф.ц}} = \frac{\log N_{\text{ном}}}{T_{\text{ц}}} \quad (20)$$

Б. Аналоговые приборы

Поток информации об измеряемой величине, полученный от аналогового прибора, определяем при условии, что оператор отсчитывает показания

с точностью до одного деления шкалы и считаем, что цена деления шкалы в процентах равна удвоенному значению основной погрешности γ .

Поток погрешности от аналогового прибора можно получить по следующей формуле

$$\Phi_{\text{инф.ц}} = \frac{I(X)}{T} = \frac{\log_2\left(\frac{100}{2\gamma}\right)}{T_{\text{ц}}} = \frac{V_{\text{хм}}}{2\gamma} \log_2\left(\frac{100}{2\gamma}\right). \quad (21)$$

где $T_{\text{ц}} = \frac{2\gamma}{V_{\text{хм}}}$ - промежуток времени между моментами, в которых $X = Var$

по выходной величине аналогового прибора можно определить следующие друг за другом достоверные значения X при основной погрешности прибора $\pm\gamma$.

$V_{\text{хм}}$ - максимально допустимая скорость изменения измеряемой величины в %/сек для регистрирующих и кодирующих приборов при которой динамическая погрешность не превышает допустимой, а для показывающих приборов – скорость при которой оператор может точно отсчитывать показания.

Для автоматического регистрирующего компенсатора при постоянной скорости измерения X :

$$V_{\text{хм}} = K\beta\gamma_{\text{дин}} X_{\text{ном}} \quad (22)$$

Для регулирующих и кодирующих приборов при синусоидальном измерении X :

$$V_{\text{хм}} = 100 \omega_n = 200\pi f_n \quad (23)$$

где $\omega_n = 2\pi f_n$ – круговая частота;

f_n = частота, при которой динамические погрешности прибора еще не превышают допустимые значения

Используя полученные выражения (21) и ((23) определяем поток информации, получаемой от аналогового прибора:

$$\Phi_{\text{инф. а}} = \frac{100\pi f_n}{\gamma} \log_2 \frac{100}{2\gamma} \quad (\text{деи/сек}). \quad (24)$$

Для показывающих приборов при снятии отсчета оператором V_{xm} определяется не динамическими свойствами прибора, а классом его точности и возможностями оператора. Для прибора класса точности 1,0 оператору необходимо около 2 сек на каждый отсчет. Следовательно $V_{xm} = \frac{2\gamma}{T_{\gamma}} = \frac{2*1}{2} = 1,0 \text{ \%}/\text{сек}$. Если в показывающем приборе отсчет снимается автоматически, то V_{xm} будет определяться уже не возможностями оператора, а динамическими свойствами прибора.

Примеры:

Электронный осциллограф.	Скорость измерения – $6,28 * 10^{10} \text{ \%}/\text{сек}$ Относительная погрешность 5% Поток информации об измеряемой величии не $2,06 * 10^{10} \text{ деи}/\text{сек}$
Самопишущий прибор.	Скорость измерения $0,61 * 10^3 \text{ \%}/\text{сек}$ Относительная погрешность 1% Поток информации об измеряемой величине $1,8 * 10^3 \text{ деи}/\text{сек}$
Вольтметр показывающий	Скорость измерения 1,0 $\text{ \%}/\text{сек}$ Время измерения 3 сек Относительная погрешность 0,01% Поток информации об измеряемой величине $4,1 \text{ деи}/\text{сек}$

4. Сравнение аналоговых и цифровых вычислительных устройств по точности, стоимости, быстродействию и сложности изготовления

По результатам сравнения предельных потоков информации и на основании опыта производства и эксплуатации аналоговых и цифровых приборов их можно сравнить по точности в зависимости от быстродействия и по стоимости в зависимости от сложности изготовления. Типовые кривые зависимостей показаны на рис.1.

На основе имеющихся зависимостей можно сделать следующие выводы. В области средней и высокой точности цифровые приборы имеют значительно более высокое быстродействие, чем аналоговые, а в области невысокой точности аналоговые имеют более высокое быстродействие. Большая часть цифровых приборов имеет высокое быстродействие, но их

возможная точность резко снижается за счет уменьшения числа ступеней квантования по значению. У аналоговых приборов тоже снижается точность с увеличением быстродействия, но не так быстро как у цифровых, потому что в качестве выходной величины используется электронный луч, имеющий меньшую инерционность.

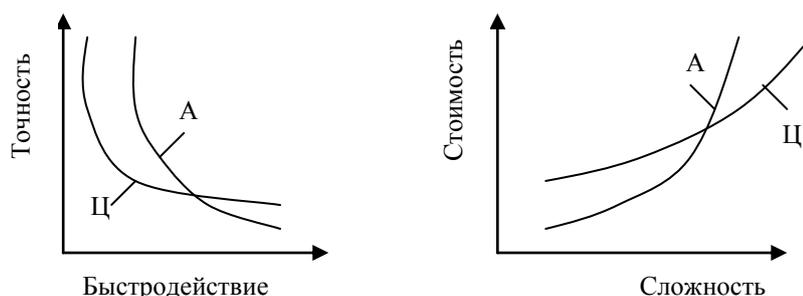


Рис. 1 Сравнение аналоговых и цифровых измерительных устройств

Сложность и стоимость приборов зависит от требований к приборам, накладываемым сложностью решаемых задач. Чем проще задача, тем выгоднее использовать аналоговые приборы.

Наиболее сложные вычислительные задачи, например задачи информационно – вычислительных систем, обрабатываются по сложной программе и с меньшими затратами решаются цифровыми приборами.

Лекция №4

Информационные характеристики средств измерения

1. Исходные положения, определяющие сущность измерения

Измерение это процесс получения точной количественной величины исследуемого явления. Это определение с точки зрения понятия подходит, но не достаточно точное с точки зрения его словесного оформления.

Поэтому становится целесообразным установить четкую формулировку отдельных понятий, с тем, чтобы в дальнейшем использовать термины и определения для более глубокого понимания сути проблемы и результатов измерений

Для этого введены следующие понятия:

- однородные величины;
- натуральный ряд однородных величин;
- шкала реперов;
- функциональная шкала;
- измерительное преобразование.

Однородные величины и понятие натурального ряда

Сравнение повторяющихся наблюдений убеждает нас в том, что сравниваться предметы и процессы могут лишь по однородным свойствам. При этом ***под однородными свойствами***, характеристиками и величинами понимаются такие, которые могут быть сопоставлены между собой ***по признаку «больше – меньше»***

Ряды, составленные ***по однородным свойствам*** различных предметов, называются последовательными ***натуральными рядами***. Это значит, что величины сравниваемые по признаку больше – меньше располагаются в порядке возрастания и каждая последующая величина больше всех предыдущих и меньше всех последующих.

Шкала реперов. Как только возможные значения измеряемой величины выстроены в ряд, возникает следующий вопрос, откуда начинаем измерение? Начинаем с какой – то отправной точки, с начальной, которую можем выбрать произвольно или упорядочено по возрастанию. Эта точка называется ***репер***, в переводе с французского это означает начальная точка отсчета. Совокупность выбранных точек отсчета образует последовательность ступенек, интервалов, которые формируют шкалу отсчета. Это название появилось от английского слова ***scale*** – лестница и означает расположение возможных значений измеряемой величины в порядке возрастания.

Например: современная шкала температур преобразования вещества:

Температура затвердевания кислорода – 282,3 °С

Точка плавления льда – 0 град С.

Точка кипения воды + 100 град С

Точка кипения серы + 444 град С

Точка плавления серебра + 960 град С

Точка плавления золота + 1063 град С

Подобным образом приходится поступать и в создании других шкал. Например шкала твердости минералов Всего десять баллов в шкале начиная с 0 это тальк и кончая алмазом – 10.

С точки зрения современных измерительных приборов сопоставление со шкалой может быть грубой оценкой, но в ряде случаев такой точности бывает достаточно.

Понятие информации с кибернетической точки зрения является мерой снижения неопределенности, а количество информации это разность между неопределенностью и до и после получения результата.

Если мы начинаем измерять неизвестную величину, то, первоначально, мы не знаем, в каком интервале находится измеряемая величина. Неопределенность простирается на всю шкалу. Измерили результат и определили, что результат находится в данном интервале, т.е. сузили область неопределенности от полной длины шкалы до указанного интервала.

В самом общем случае измерение представляет собой сравнение измеряемой величины с тем или иным образом построенной шкалой возможных значений этой величины, а результат измерения означает выбор одного интервала из всего множества интервалов этой шкалы.

Функциональные шкалы

Основным недостатком натуральной шкалы реперов является отсутствие каких – либо данных о соотношениях между отдельными интервалами, соседними точками реперов. Для интерполяции значений измеряемой величины внутри этих интервалов, а также для сравнительной оценки протяженности этих интервалов необходимо использовать какой – то определённый принцип пропорционального деления.

В качестве такого принципа используют **принцип последовательного счета** единичных значений измеряемой величины. Например, измере-

ние расстояния отрезком единичной длины. Но это не всегда оказывается точным способом, особенно если речь идет об измерениях не связанных с длинами и, кроме того, это никак не связано с физическим процессом или преобразованиями, происходящими в системе.

В действительности основным методом интерполяции шкалы измеряемых величин между начальными точками (реперами) служит **метод измерительных преобразований**, представляющий собой **определение измеряемой величины по значению другой величины, функционально связанной с ней**.

Понятие об измерительном преобразовании является основным понятием современной теории измерительных систем и с физической точки зрения означает, что измеряемая величина не может быть определена сама по себе, а может быть воспринята только вместе с тем физическим процессом, в котором она проявляется

Использование данного метода позволяет определить значение искомой величины по значению какой – либо особой точки, например точки кипения при исследовании процесса нагрева вещества и определения текущего значения температуры по функциональной зависимости другой величины функционально не связанной с искомой.

Использование функционально измерительного преобразования позволяет произвести интерполяцию между начальными точками натуральной шкалы с помощью функциональной шкалы, построенной на основе выбранного преобразования

Например измерение температуры на основе расширения ртути. Термометр для измерения температуры тела человека. Единственный недостаток шкала получается нелинейной и точность измерений может быть не высокой. Но используя различные виды преобразований можно существенно повысить точность измерений.

Понятие единиц измерения. Когда метод преобразования физической величины выбран и он имеет достаточно линейную характеристику, т.е. интервалы достаточно близки по значению, то каждый из этих интервалов может быть принят за единицу измерения.

Если для искомой величины X будет выбран интервал измерения X_0 , то измеренная величина будет иметь значение $X = \alpha X_0$, где α количество интервалов X_0 содержащихся в измеряемой величине. Результат измерения будет равен:

$$\alpha = \frac{X}{X_0}.$$

Классическое определение измерения. *Измерением называется процесс, заключающийся в сравнении, путем физического эксперимента данной величины с некоторым ее значением, принятым за единицу.*

Исходя из этого уравнение

$$X = \alpha X_0$$

часто называют *основным уравнением измерений*.

Измерительное преобразование является основным методом построения измерительных устройств и единственным. Он используется также для построения функциональных шкал

Метод используется как для построения сложных измерительных устройств, так и простых. Например ваттметров для измерения мощности или умножения значения на масштабный коэффициент. Это преобразование имеется и в простейших приборах, например микрометрах, когда размер считывается по шкале вместо определения расстояния между измерительными концевиками.

В современной теории измерительных устройств представление измерительного устройства как последовательного ряда отдельных измерительных преобразователей окончательно утвердилось и используется во многих литературных источниках.

2. Измерительные преобразования и преобразователи

.Процесс измерения выполняемый любым измерительным прибором состоит из ряда последовательных преобразований измеряемой величины, проводимых до тех пор, пока она не будет представлена в том виде, в котором требуется результат измерения.

Эти преобразования осуществляются отдельными узлами измерительного устройства, называемыми преобразователями. т.о. любое измерение это не что иное, как последовательная цепь измерительных преобразований, представляющих канал преобразования исследуемой величины.

При этом возможны различные преобразования энергии из одного вида в другой и состояния вещества из одного состояния в другое но не является главным при измерениях. Главное это передача информации от одного носителя к другому.

Выполняя процесс преобразования, результат может быть не обязательно в числовой форме, он может быть представлен в другой форме, удобной для восприятия другими устройствами, например компьютером, для осуществления дальнейших действий по преобразованию или принятию решения. Главное здесь получение качественной информации.

По форме представления информации преобразователи подразделяются на дискретные и аналоговые, поэтому существует всего два метода работы преобразователей.

1. Метод прямого преобразования.

2. Метод уравнивания.

При первом методе прямого преобразования чувствительность прибора будет зависеть от чувствительности отдельных преобразователей, также и погрешность будет складываться из погрешностей отдельных преобразователей.

При втором методе качество измерений будет зависеть от качества компенсации, тех мостовых схем, которые используются в приборе и погрешностей самого прибора.

3. Классификация измерительных приборов

Классификация приборов может проводиться по различным признакам и нет строгого подхода к выбору критериев классификации. Одним из первых признаков классификации является вид измеряемой величины в соответствии с которым различают приборы для регистрации физических величин времени, скорости, температуры, линейных размеров и др.

Отдельные величины по своей природе являются интегральными во времени например число оборотов вала двигателя, расстояние пройденное машиной, поездом и др., количество жидкости пройденное по трубопроводу. Такие приборы называются *интегрирующими* или суммирующими.

В зависимости от формы воспроизведения значений измеряемой величины приборы подразделяются на *показывающие, регистрирующие и комбинированные.*

В *показывающих* приборах значение регистрируемой величины отслеживается визуально по отсчетным устройствам прибора.

В *регистрирующих* приборах значение непрерывной величины регистрируется различными способами на носители информации, к которым относятся бумажные ленты, диаграммы, магнитные диски, память компьютера. Их также называют самопишущие приборы – самописцы

Комбинированные приборы одновременно показывают значение исследуемой величины и регистрируют ее на какой – либо носитель.

Приборы могут быть оснащены дополнительными сигнализирующими и регулирующими устройствами. В соответствии с этим признаком приборы называются *регистрирующими и сигнализирующими*.

По месту расположения прибора относительно места измерения различают приборы *местного и дистанционного* назначения.

Первичные и вторичные приборы используются для измерения различных величин и передачи на расстояние. Первый прибор воспринимает регистрирует и одновременно передает данные на второй прибор для повторной регистрации. Иногда вместо первого прибора используется датчик..

Наибольшее распространение в настоящее время находят комбинированные приборы. Оптико – электронные, магнито – электрические, автоматические потенциометры и др.

По назначению приборы подразделяются на:

Приборы для устройств обработки данных: компьютерная техника, средства оргтехники.

Приборы для техники связи радио и телевизионная техника, компьютерные сети

Приборы для измерительной техники: измерение времени, электрических величин, механических величин, оптические и электронные микроскопы, лазерные приборы и др.

Приборы для автоматизации: Чувствительные элементы, средства управления и регулирования, исполнительные устройства.

Приборы для фото и кинотехники.

Приборы для промышленности Производство микросистемных плат микропроцессоров.

Приборы для дома.

Приборы для игр в том числе компьютерных

4. Направления развития приборов и приборных систем

Одним из важнейших направлений совершенствования приборов и приборных систем является *обработки информации непосредственно в самом приборе*. Данная возможность появилась благодаря развитию электроники, которая прочно внедрилась в приборостроение. Например, электронные часы и другие приборы, где полностью исключена механика.

Однако значение *механической части* большинства приборов *остается весьма существенной*, и незаменимой в ряде случаев, это касается устройств сопряжения и передачи информации при сборе и выдаче данных в автоматических и автоматизированных устройствах. Например, сенсорные устройства для механического ввода команд и устройства восприятия механических, оптических и электрических сигналов.

Возрастают требования к неэлектронным специальным механическим узлам. Эти требования касаются *производительности, расширения диапазона измерения, большей миниатюризации, повышения точности, надежности, срока службы, экологичности*. Доля механических элементов в приборах в 1,5 раза превышает долю электронных и это в ближайшие годы останется почти неизменным. Поэтому в области конструирования приборов основным направлением прогресса является поиск механических конструкций и использование достижений микроэлектроники для разработки более совершенных конструкций. Постоянно существует потребность в разработке новых принципов работы, позволяющих реализовать достижения микроэлектроники, механики и электромеханики в одном изделии.

Внедрение новых *поколений приборов* идет быстрыми темпами, например, для компьютеров срок замены составляет *3 года*. Развитие других смежных с приборостроением научных направлений способствует скорейшему обновлению остальных видов приборов.

Появление новых задач в сфере производства и эксплуатации промышленного оборудования становится важным фактором совершенствования приборов. Это касается *производительности приборов, т.е. скорости обработки отдельных сигналов*. Это обуславливает использование в приборах микропроцессоров и микро ЭВМ.

Возрастают требования к *точности и надежности выполняемых функций* приборами. Это связано с возросшим проникновением в микромир и регистрацией скоротечных процессов.

Из *экономических критериев* выделяются такие, которые связаны с *экономией материалов*, которые используются в производстве приборов, например цветных и драгоценных металлов. *Снижение веса* приборов, применения новых принципов регистрации для экономии расходных материалов.

Снижение энергопотребления в промышленной сфере как производственных процессов так и приборов. В нашей стране энергоемкость производства изделий в 1,5 – 2 раза выше чем в европейских странах и США. Поэтому энергопотребление и низкий КПД производственных машин и приборов в сегодняшнее время недопустимы.

Важное значение имеет *эстетика приборов*. Разработка приборов с учетом возросших потребительских свойств, способствует переходу на качественно новый уровень взаимодействия человека с приборами и снижения физических и психологических нагрузок.

Унификация, стандартизация и типизация деталей позволяет изготавливать ряды типовых приборов и использовать средства автоматизации при их производстве.

Требования окружающей среды и условия эксплуатации предъявляют требования к защите приборов и систем особенно в экстремальных условиях.

Лекция №5

Измерительные сигналы

1. Измерительные сигналы их виды и типы

Для приборов основной функцией является преобразование входной информации в выходную, в то время как операции преобразования материала и энергии носят вспомогательный характер.

При проектировании приборов конструктору важно знать математическое описание носителя информации. Этот носитель должен иметь ре-

альную физическую величину и реально существовать. Форма существования может быть в виде распределения материала и (или) энергии в пространстве и времени и иметь математическое описание. **Изменение самой физической величины называется сигналом**, а сама физическая величина – **носителем сигнала**

Содержание информации в сигнале описывается **изменением информационного параметра P**

Сигналы в зависимости от физических явлений, лежащих в их основе, делятся на механические, тепловые, акустические, электрические, световые и др. В зависимости от характера их изменения во времени они бывают постоянные и переменные во времени.

Переменные во времени сигналы подразделяются на случайные и неслучайные (детерминированные и квазидетерминированные)

Случайный сигнал появляется во времени случайно и случаен по своей величине.

Детерминированными называют сигналы, закон изменения которых известен и известны значения всех его параметров. К ним относятся сигналы на выходе мер, калибровочные, а также сигналы используемые в качестве несущих сигналов при передаче и др.

Квазидетерминированные называют сигналы с известным характером закона изменения во времени, но неизвестным одним или несколькими параметрами. Например синусоидальный сигнал с известной амплитудой и частотой, но неизвестной фазой. Неизвестный параметр может изменяться в широком диапазоне значений и даже по случайному закону. Квазидетерминированные сигналы в свою очередь подразделяются на элементарные и сложные.

К основным **элементарным сигналам** относятся постоянный сигнал с **известной амплитудой, идеальный единичный импульс и синусоидальный сигнал.**

К **периодическим сложным** сигналам относятся полиграфический сигнал в виде последовательности прямоугольных, косинусоидальных, колокольных, треугольных, экспоненциальных трапецеидальных импульсов и др.

2. Преобразование сигналов

Для разработки приборов конструктору необходимо знать материальный носитель информации и его математическое описание. Сигнал подлежащий преобразованию называется *рабочим* сигналом. При проектировании преобразователей следует помнить, что в процессе преобразования сигнала может происходить его искажение и это может приводить к частичной или полной потере информации. В качестве примера можно привести потерю звуковой или видеоинформации, для преобразования данных и измерений.

Операции преобразования сигналов Многообразие и сложность преобразования сигналов, которые преобразовывают приборы сводятся к немногочисленному числу элементарных операций изменения сигнала. Они объединяются в различных количествах в требуемые структуры преобразования сигнала. При этом они могут реализовать различные функции в соответствии с назначением.

Для определения структуры преобразования используется **системный подход**. Он заключается в представлении прибора в виде системы, состоящей из отдельных элементов взаимосвязанных между собой и внешней средой. Разбиение на элементы происходит до тех пор пока они не станут простыми и с ними можно производить различные операции для достижения заданного состояния элемента, отдельного блока или узла. Затем выясняется влияние узла на другие элементы и систему в целом. Так последовательно добиваются заданного состояния прибора в целом.

Техническая система представляет собой ограниченную область реальной действительности, взаимодействующую с реальной средой (U), выполняющую определенные функции (F) и имеющую структуру (S). Конструктор должен однозначно определить все параметры, чтобы описать прибор. Взаимосвязь параметров показана на рис. 1.

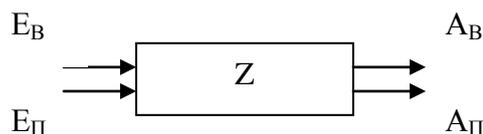


Рис. 1 Параметры системы

Входные величины E , выходные A . Верхний ряд – внешние факторы не относящиеся к функциям прибора, нижний ряд – характеризующие функции прибора.

Окружающая среда Прибор в процессе эксплуатации находится во взаимодействии с внешней средой. Это объекты внешней среды (технический объект, оператор, поле и др.) и процесс взаимодействия (изготовление, контроль, испытания, хранение, транспортировка и др.) Все случаи взаимодействия должны просматриваться при проектировании. Есть два варианта взаимодействия. Первый описывается габаритные размеры и материал среды которую исследуют, а также определенные элементы и отношения структуры, которые через оператор системы реализуют требуемую функцию. Второе – это описание входных и выходных величин, связывающих прибор и окружающую среду. Отношение выходных величин к входным представляет собой передаточную функцию прибора, которую и требуется реализовать.

Функция прибора – это измерения свойств объекта. Количество функций соответствует количеству используемых физических свойств прибора.

Следует различать *общие и частные функции системы*. Общая функция охватывает множество всех входных и выходных величин, которое характеризует систему (прибор, узел, деталь).

Частные функции подразделяются на главные и вспомогательные в зависимости от их значения и выполнения задачи.

Основные и вспомогательные в зависимости от изменений функции прибора.

Частные функции обработки: материал, энергии, информации и др.

Функции самого низшего уровня это *элементарные функции*

Если одна деталь или узел совмещают несколько функций, то такое явление *называется интеграцией* функций.

В технике функции принято классифицировать для того чтобы сократить их число и унифицировать, что позволяет использовать стандартные подходы к их реализации.

Структура. Внутреннее строение системы называется структурой, состоящей из элементов, которые связаны отношениями. Элемент это неделимая частица и в тоже время простая и понятная для ее изменения.

В зависимости от сложности объекта используются различные уровни рассмотрения. *Система* (например компьютерная) *прибор, узел, деталь, активная поверхность* (рабочая).

Конструктивный элемент – деталь или узел, которые рассматриваются при проектировании, если она выполняет определенную функцию, то это называется *функциональным элементом*.

Деталь – изготовленная из однородного материала и не являющаяся собранной с другой деталью

3. Основные функции сигналов

Основные функции преобразования сигналов и их физико – техническая реализация для практического применения следующие:

Преращение – это изменение материального или энергетического качества входного сигнала. (громкоговоритель, микрофон)

Преобразование – изменение характера или состояния сигнала во времени (механическая передача, цифроаналоговые преобразователи модулятор)

Изменение – изменение значения сигнала (Усилитель, трансформатор, механ. передачи)

Переключение – прерывание или изменение потока сигналов с помощью другой величины (тиристор, электромагнитный выключатель)

Передача – передача сигнала от входа к выходу (электропривод, световод и др.)

Фильтрация – выбор части из множества сигналов в соответствии с определенным критерием (механические, оптические фильтры)

Объединение – соединение нескольких сигналов. Выделяют математическое объединение, логическое объединение.

Хранение – прием нескольких сигналов и их выдача через определенное время в неизменном виде (триггер, регистр, счетчик, фото и др.)

Генерирование сигналов – подготовка сигналов (генератор импульсов, синусоидальных сигналов и др.)

Начиналось все с механических устройств, перешли к электронным.

4. Типовые функциональные структуры преобразования сигналов

В зависимости от требуемых условий преобразования различают два типа систем:

Аналоговые – состояние которых непрерывно изменяется в ограниченной области.

По этому принципу проектируются приборы для обычных измерений, в которых в качестве информационного параметра используется амплитуда сигнала

Дискретные – состояние которых может принимать только определенное множество дискретных значений. Так происходит выбор определенного количества теста и его перекодирование в текст другого вида. По такому принципу работают цифровые ЭВМ.

Существуют аналого – цифровые приборы, часто используются при контроле технологических процессов.

Получение сигналов. В общем случае получение сигналов связано с операциями преобразования т.к. регистрируемые физические величины имеют различную физическую природу (перемещение, температура, скорость и др.) и их значения должны быть отражены на одном носителе сигналов, в большинстве случаев это характеристика электрического тока

Внутреннее преобразование сигнала производится на базе основных функций преобразования сигнала. Аналоговые приборы часто строятся по следующим схемам, показанным на рис.2.

Использование сигнала представляет собой операции его преобразования, с помощью которого возможны различные случаи регулировки оборудования в процессе его работы или отображение сигналов или операции усиления и др.

Кодирование и декодирование сигнала. Отображение дискретной информации на носителе сигнала называется кодированием. Наглядным примером является кодирование букв и цифр в ЦВМ в виде электрических

сигналов. Кодирование используется для сокращения избыточности вида информации, для осуществления поиска и выборки сигнала.

Преобразование сигнала происходит, как правило, из аналогового в дискретный сигнал и из дискретного в аналоговый. Это имеет большое значение в приборостроении. Например, управление технологическим оборудованием от ЭВМ. Измерительные приборы все больше используют цифровую индикацию.

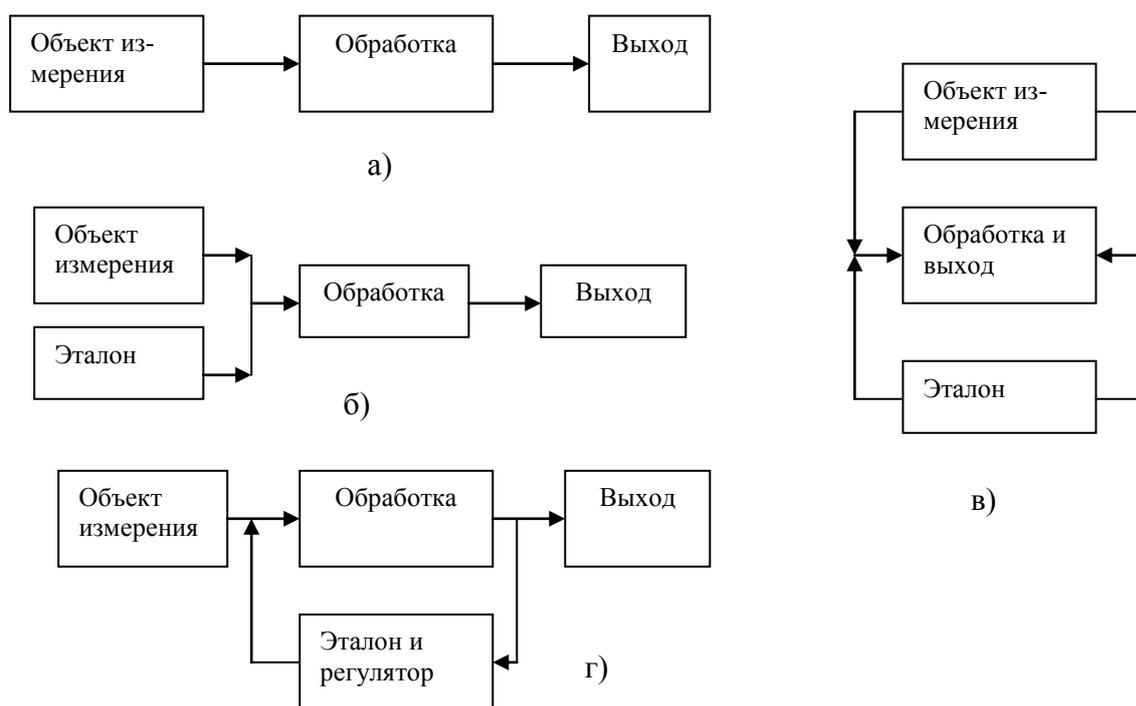


Рис. 2 Модели функциональной структуры внутреннего преобразования сигнала

- а) последовательная структура, метод амплитуд;
- б) и в) параллельные структуры разностный и дифференциальный метод;
- г) циклическая структура, компенсационный метод.

Внутреннее управление необходимо для реализации всего процесса преобразования сигнала и согласования его с функцией коммутации прибора, показанной на рис. 3.

Входная величина E чаще всего преобразуется в механическое перемещение W . Механическое перемещение в устройстве управления преобразуется в электрический сигнал на выходе которого имеем регулирующую величину Y . Последняя управляет функцией преобразования сигнала обычно за счет изменения параметров элементов или структуры функции преобразования. Состояние функции преобразования отслеживается по величине сигнала обратной связи X , который преобразуется в контрольную величину V подаваемую в устройство ввода. Это обобщенная структура внутреннего управления, которая используется для построения частных структур.

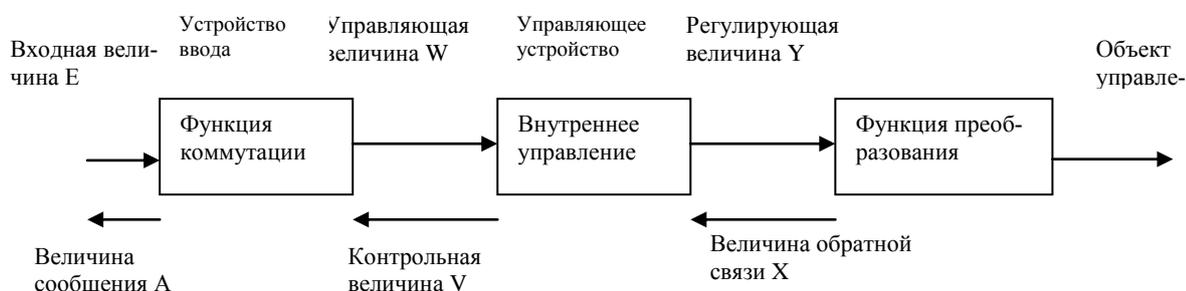


Рис. 3 Функциональная схема коммутации прибора

Структура со следящим управлением входной величины A и жесткой связью с управляющей величиной W . $A = f(W)$ Слежение происходит за выходной величиной функции коммутации и поддерживается в заданных пределах путем регулировки или задания сигнала ввода.

В приборах используется редко, но в неявном виде присутствует почти везде. Это происходит в случае представления прибора или отдельных его узлов в виде управляемых элементов, тогда нет сигналов ОС.(обратной связи)

Программное управление используется когда функция управления очень сложная и приходится использовать алгоритм управления. Простейшая функция это программно – временное управление с помощью датчика времени подающего сигналы пошагово, или другим дискретным

образом. Сигналов ОС нет и поэтому, управление ограничивается усилителями, преобразователями и т.п.

Программное управление с обратными связями отличается тем, что реализация функции преобразования зависит от содержания функции ОС. В данном случае становится нужным логическое устройство для связи сигналов ОС с тактовым генератором, задающим последовательность выполнения операций. Это управление по жесткой программе, реализуемой по тактовым сигналам. По этому принципу создают приборы работающие по жесткой программе и от оператора требуется только включение и выключение прибора.

В настоящее время функции управления расширены и есть возможность устанавливать разные программы и выполнять различные функции. Логика управления может быть реализована на микропроцессорах.

Лекция №6

Представление сигналов и их модели

1. Математические модели сигналов.

Математическая модель сигналов может быть представлена как

$$\alpha = f(x,y,z,t)$$

Эта модель описывает состояние носителя информации в зависимости от координат пространства x, y, z и времени t . α – параметр носителя информации ток, напряжение, сопротивление, индуктивность и др.

Наиболее простым является сигнал в виде зависимости параметра состояния носителя информации от одной структурной координаты или времени. В этом случае информация передается значениями этого параметра, который называется **информативным параметром**. Сигналы имеющие информативный характер принято называть **аналоговыми** непрерывными и дискретными.

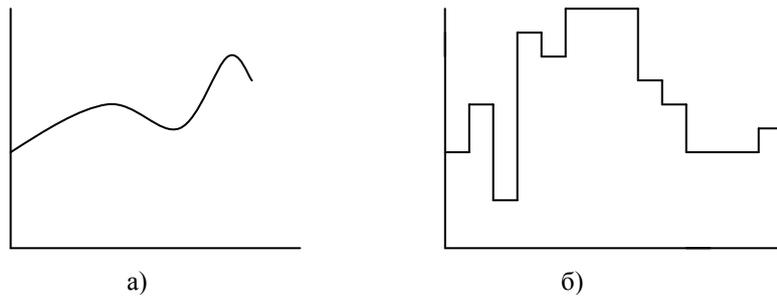


Рис.1 Аналоговый а) и дискретный б) сигналы.

При передаче измерительной информации она искажается под воздействием внешних воздействий на сигнал. Дискретные сигналы меньше подвержены искажениям в процессе передачи и эти искажения легче обнаружить. Дискретная информация имеет ряд преимуществ перед аналоговой при хранении и обработке

Операции замены аналоговой величины дискретной называется **квантованием**. При квантовании :

- вся область возможных значений разбивается на конечное число подобластей или интервалов квантования;
- каждому интервалу присваивается определенный индекс, обычно его порядковый номер;
- попадание выходного сигнала в любую точку интервала вызывает появление на выходе прибора индекса этого интервала.

Квантование по уровню

В результате квантования образуется ступенчатая функция. Переход с одной ступени на другую происходит в те моменты, когда первоначальная непрерывная функция пересекает линию, проведенную по середине интервала квантования

По оси ординат откладывается значение заранее выбранного шага квантования q и проводят линии, параллельные оси времени, обозначающие уровни квантования. При постоянном шаге квантования имеем случай равномерного квантования.

Максимальная ошибка квантования $\Delta_{\max} = \pm q/2$. $q = 2\Delta_{\max}$

Погрешность квантования

$$\gamma_{\text{отн}} = \frac{\Delta_{\text{max}} * 100\%}{\lambda_{\text{max}} - \lambda_{\text{min}}} = \frac{\Delta_{\text{max}} * 100\%}{Nq} = \frac{100\%}{2N} = \frac{50}{N}$$

где N – число интервалов $M = N + 1$ – число уровней квантования

В произвольный момент времени ошибка квантования представляет собой непрерывную случайную величину, равномерно распределенную в интервале $\pm \Delta_{\text{max}}$. При условии что M велико, все значения λ в одном интервале квантования можно считать равномерными. Плотность вероятности ошибки квантования

$$P(\Delta) = 1/2 \Delta = 2/2 q = 1/q$$

Среднее значение ошибки квантования

$$\Delta_{\text{ср}} = \int_{-\Delta_{\text{min}}}^{\Delta_{\text{max}}} P(\Delta) \Delta d\Delta$$

Квантование по времени

Замена непрерывной функции ее отдельными значениями в определенные моменты времени называется квантованием по времени или ***дискретизацией***. Процесс дискретизации функции представлен на рис. 3. Горизонтальная ось времени делится на интервалы, отстоящие друг от друга на интервал квантования Δt . Далее проводятся вертикальные линии до пересечения с квантуемой функцией, в точках 1,2,3 ... и определяются значения функций. Значения функций в точках пересечения будут передаваться в дискретные моменты времени. Чем меньше шаг квантования, тем точнее будет восстанавливаться на приеме функция $\lambda(t)$.

Шаг квантования будет определяться из теоремы Котельникова смысл которой заключается в следующем: любая функция, спектр частот которой ограничен F_{max} , может быть полностью восстановлена по ее дискретным значениям, взятым через интервалы времени:

$$\Delta(t) \leq 1/2 F_{\text{max}}$$

Оптимальным является такая дискретизация, которая обеспечивает представление исходной функции с заданной точностью минимальным

числом отсчетов. Все отсчеты в данном случае существенны для восстановления функции. Если дискретизация неоптимальная, то производятся избыточные отсчеты. Это приводит к :

- увеличению занятости канала связи;
- увеличению объемов памяти при хранении ;
- увеличению времени поиска и считывания данных;
- уменьшению скорости обработки данных;

Поэтому операцию дискретизации следует рассматривать как один из методов устранения избыточной информации для потребителя.

Квантование по уровню и времени

Осуществляется путем замены через время t значений функции $\lambda(t)$ ближайшим дискретным уровнем. Процесс квантования функции представлен на рис. 4. Проводятся линии параллельные оси абсцисс с шагом q , а затем параллельные оси ординат с шагом Δt , оси времени. В данный момент времени передается только одно значение уровня, ближайшее к кривой $\lambda(t)$. При квантовании по уровню и по времени погрешность от квантования

$$\Delta k = \sqrt{\Delta k_u + \Delta k_v}$$

Погрешность результата измерения определяется восприятием и выбором измеряемой физической величины в исследуемом или контролируемом процессе и формированием первичного измерительного сигнала.

На самом деле операция преобразования аналогового измерительного сигнала в цифровую форму имеет место во всех измерительных устройствах и баз такого преобразования невозможно получить результат в виде числа. В аналоговых приборах наблюдатель самостоятельно определяет число по отклонению стрелки и делениям шкалы прибора.

В цифровых приборах происходит преобразование измеряемой величины в код, а затем измеряемая величина представляется на отсчетном устройстве в виде числа.

2. Формы выходных сигналов аналоговых и цифровых приборов

Выход измерительных приборов по форме сигналов может быть аналоговым или дискретным (цифровым). Это зависит от типа прибора и его

преобразователей. Кроме этого выходные сигналы могут быть непрерывными во времени и прерывистыми, т. е. дискретизированными.

Если говорить *о точности* аналоговых и цифровых приборов, то *цифровые*, в этом случае, удерживают *первенство*, поскольку дискретная форма сигнала может быть преобразована, передана и воспроизведена без дополнительных погрешностей. Пример, повышается точность траектории полета космических аппаратов, улучшается качество изображения телевизионной техники.

Если не удобен вид *цифрового* сигнала, в случае сравнения с предельными значениями, его *преобразуют в аналоговый*. *Сложность* в ряде случаев представляет *нелинейность сигналов*, потому, что появляются искажения сигнала и дополнительная погрешность воспроизведения, поэтому в цифровых приборах стараются не использовать данные преобразования.

В *аналоговых* приборах при регистрации непрерывной величины в виде перемещения сравнивается оператором с имеющейся шкалой. В этом случае *точность отслеживания* будет зависеть от способностей *оператора*.

В цифровых приборах процесс квантования и цифрового кодирования происходит автоматически. Сравнение результата происходит с заранее квантованной эталонной величиной. Поэтому *цифровой* прибор в большей степени автоматизирован и *имеет более* высокую *точность* и быстроедействие.

При квантовании, как в аналоговых, так и в цифровых приборах в результате замены данного значения X ближайшим дискретным значением возникает *погрешность квантования* по значению или погрешность от дискретности, которая в *аналоговых* приборах является одной из составляющих погрешности отсчета.

Выход измерительного прибора может быть *непрерывным и прерывным*, т.е. дискретизированным. При *непрерывном* измерении *выходная* величина *следует за входной*. При *прерывистом* результат фиксируется в *определенные* промежутки времени, а между ними данных нет. *Дискретизация* во времени через равные промежутки называется *равномерной*. Если промежутки *времени* регистрации *не одинаковы*, это означает, что происходит *неравномерная* дискретизация во времени.

Цифровые приборы всегда **имеют дискретный выход**, потому что для регистрации и получения значения требуется определенное время. Если требуется получить **промежуточные значения**, то используется **непрерывная функция**. При аппроксимации возникают погрешности, которые называются **погрешностями аппроксимации** или погрешностями от дискретизации во времени.

При **регистрации цифровым** прибором непрерывной величины фиксируются ее **промежуточные значения**, которые запоминаются и может быть построена функциональная зависимость, но в виде ступенчатой функции. На основании этих данных может измеряться интеграл величины во времени, среднее, среднеквадратичное, минимальное, максимальное значение измеряемой величины, скорость изменения X , ординаты кривой распределения.

Интеграл величины во времени является, например, количество электричества – **интеграл тока**, энергия – интеграл **мощности**. Могут выдаваться непрерывно и дискретно.

Электрические величины **интегрируются непосредственно или интегрированием** промежуточной величины. Выходные интегрированные величины преобразуются **по линейному закону** в величину удобную для регистрации, например в угловую скорость, частоту вращения, постоянное напряжение или ток. Интегрирующие устройства это **счетчики числа оборотов**, числа **импульсов**, интегрирующие **усилители**.

В **цифровых** приборах при определении средних значений через определенные промежутки времени дает **более правильную картину** поведения измеряемых **факторов**, поскольку фиксируются последовательно увеличение и уменьшение фактора и это позволяет правильно оценить поведение исследуемой величины даже с учетом выбросов.

При исследовании **периодических и непериодических сигналов** сложной формы необходимо определить **частотный спектр** данной величины. Измерение частотных спектров производится с помощью анализаторов спектра.

Амплитудно - частотный спектр необходим для определения Амплитудно – частотных характеристик различных четырехполюсников.

Значение фазового частотного спектра необходимо для определения фазо – частотных характеристик четырехполюсников

Если измеряемая *величина изменяется по случайному закону*, то исследователю не всегда нужно ее мгновенное значение, а необходимо *знать статистические* характеристики измеряемой величины: закон распределения случайной величины, среднее значение, функцию корреляции и др. Для этого существуют *статистические приборы*, которые определяют кривую распределения случайной величины, выдают значения в пределах ступени квантования. Измеряют время пребывания случайной величины в пределах данной ступени квантования и выдают необходимые данные для построения распределения. Кривая распределения есть результат обработки кривой $X(t)$ по определенной программе. Кроме этого программа позволяет построить *гистограмму* по которой можно определить среднее значение С.К.О. максимальное и минимальное значение, величину допустимых значений и др.

Примером может служить прибор, измеряющий амплитудный спектр последовательности импульсов.

Следовательно, приборами измеряются мгновенные, средние, среднеквадратические, минимальные и максимальные значения величин, а также интегралы измеряемых величин непрерывно или дискретно во времени, а выход прибора бывает аналоговым или дискретным

Представление во времени результатов измерений различных значений $X(t)$ показано в кн. П.П. Орнадского «Автоматические измерения и приборы» на с. 62, например аналоговые следящие, аналоговые дискретные во времени, аналоговые цифровые и др.

Лекция №7

Функциональная структура приборов

1. Модели измерительного канала

Для измерения одной или нескольких величин проектируются и изготавливаются измерительные приборы в виде самостоятельных устройств. В настоящее время с ростом автоматизации производственных процессов, увеличением контрольных функций, применением диагностики, увеличе-

нием количества контролируемых факторов, проектируются информационно – измерительные системы (ИИС), позволяющие автоматически получать необходимую информацию непосредственно от изучаемого объекта, перерабатывать ее и выдавать в нужной форма. Специализированные измерительные системы разрабатываются практически для всех отраслей науки и техники.

При проектировании ИИС по заданным техническим и эксплуатационным характеристикам возникает задача связанная с выбором рациональной структуры и набором технических средств для ее построения. Структура в основном определяется методом измерения, положенным в ее основу, а количество и тип технических средств – информационным процессом, протекающим в системе. Оценить характер информационного процесса и вид преобразования информации можно на основании анализа информационной модели ИИС. Однако построение модели процесса и ее анализ является трудоемкой задачей.

Учитывая, что ИИС третьего поколения обработки информации используют ЭВМ, которые являются структурным звеном системы, то информационную модель можно упростить, сведя ее к модели измерительного канала (ИК). Модель измерительного канала включает элементы преобразования сигналов, переработки, запоминания и другие виды, которые в конечном итоге не многочисленны. Поэтому, объединив все виды преобразования в одном канале и выделив его из состава ИИС с учетом того, что на входе имеем аналоговый сигнал, получаем две модели измерительных каналов с прямым преобразованием и обратным, т.е. использующим обратные связи.

На рис. 1 показана модель ИК прямого преобразования

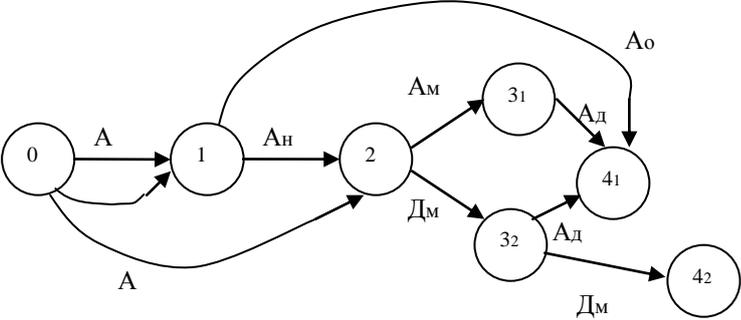


Рис. 1 Модель прямого измерительного канала

На моделях в узлах $0 - 4$ происходит преобразование информации. Стрелки указывают направление движения информации, а буквы вид преобразования. Узел 0 является выходом объекта исследования или управления, в котором формируется аналоговая информация A . Аналоговая информация поступает в узел 1 , где она преобразуется к виду A_H , для дальнейших преобразований в системе.

В узле 1 могут осуществляться преобразования неэлектрического носителя информации в электрический, усиление масштабирование, линеаризация и др.

В узле 2 нормированный носитель информации A_H модулируется для передачи по линии связи и предоставляется в виде аналогового A_M , или дискретного D_M сигнала.

Аналоговая информация A_M в узле 3_1 демодулируется и поступает в узел 4_1 , где она измеряется и отображается.

Дискретная информация в узле 3_2 либо преобразуется в аналоговую информацию A_D и поступает в узел 4_1 , либо после цифрового преобразования поступает на средство отображения цифровой информации или устройство для ее обработки

В некоторых ИК нормированный носитель информации A сразу поступает из узла 1 в узел 4_1 для измерения и отображения. В других ИК аналоговая информация A без операции нормирования сразу поступает в узел 2 , где она дискретизируется.

Таким образом модель прямого преобразования (рис.1) имеет шесть ветвей, по которым по которым передаются потоки информации:

- аналоговые $0 - 1 - 2 - 3_1 - 4_1$, $0 - 1 - 4_1$ и
- аналого – дискретные $0 - 1 - 2 - 3_2 - 4_1$, $0 - 1 - 2 - 3_2 - 4_2$, и $0 - 2 - 3_2 - 4_2$. Модель $0 - 1 - 4_1$ при построении каналов ИИС не используется, а применяется лишь в автономных измерительных приборах.

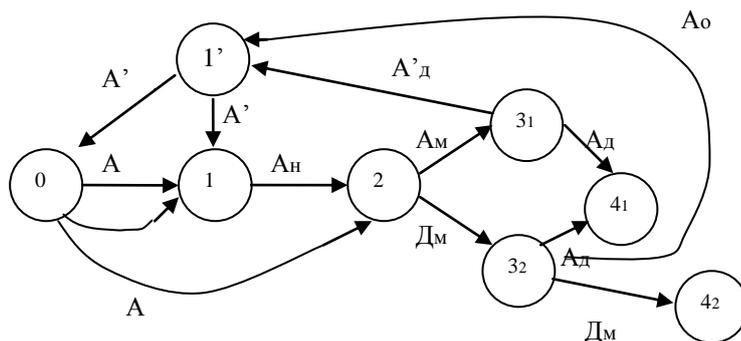


Рис. 2 Модель обратного канала преобразования информации.

Модель приведенная на рис.2 отличается от модели на рис.1 наличием ветвей $3_2 - 1' - 0$, $3_2 - 1' - 1$, $3_1 - 1' - 1$ по которым осуществляется обратная передача аналогового сигнала. В узле $1'$ выходной носитель дискретной информации $A'д$ преобразуется в однородный с носителем информации A или носителем нормированной информации $Aн$. Компенсация может осуществляться как по A , так и по $Aн$.

Анализ информационных моделей показывает, что при построении на их основе метода прямого преобразования возможно построить пять структур, а на основе метода обратного преобразования 20 структур приборов.

В ряде случаев особенно при построении ИИС для удаленных объектов обобщенная информационная модель ИК ИИС имеет такой же вид как на рис.1 и 2. Наибольшее распространение получили аналого – дискретные ветви $0 - 1 - 2 - 32 - 42$, $0 - 2 - 32 - 42$. Как видно, для указанных ветвей число уровне преобразования информации в ИК не превышает трех.

Так как в узлах располагаются технические средства, осуществляющие преобразование информации, число которых ограничено, то их можно объединить в три группы. Это позволяет при разработке ИК ИСС выбирать нужные технические средства для реализации той или иной структуры.

Для узла 1 группа технических средств включает в себя весь набор первичных преобразователей, а также унифицирующие (нормирующие) измерительные преобразователи (УИП), осуществляющие масштабирование, линеаризацию, преобразование мощности и т.п. длюки формирования тестов и образцовые меры.

В узле 2 в случае использования аналого – дискретных ветвей располагается другая группа средств измерения: аналого – цифровые преобразователи (АЦП), коммутаторы (КМ), служащие для подключения соответствующих источников информации к ИК или устройству обработки, а также каналы связи (КС)

В узле 3, третья группа устройств объединяет в своем составе преобразователи кодов (ПК), цифроаналоговые преобразователи (ЦАП) и линии задержки (ЛЗ).

Таким образом, информационная модель ИК ИИС позволяет перейти к его структуре по схеме 0 – 1 – 2 – 32 – 42 , имеет вид показанный на рис. 3.

Приведенная структура ИК, реализующая метод прямых измерений , показана без коммутационных элементов, управляющих работой схемы и АЦП – связей. Она является типовой и на ее основе строится большинство многоканальных ИИС, особенно ИИС дальнего действия.

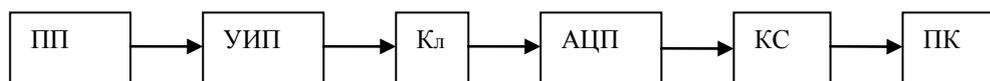


Рис. 3 Структурная схема измерительного канала ИИС

ПП – первичный преобразователь, Кл – ключевой элемент управляющего коммутатора КМ, ПК – преобразователь кодов.

Интерес представляют методы расчета точности ИК для различных моделей. Строгий математический расчет невозможен, но используя вероятностные методы расчета можно определить погрешность реального измерительного канала. Для этого необходимо знать параметры и законы распределения составляющих погрешности, значения доверительной вероятности, корреляционные связи и другие статистические характеристики.

2. Развитие структур измерительных приборов

Первоначально структуры измерительных приборов были достаточно просты и состояли из небольшого числа звеньев. В настоящее время в

связи с повышением требований к приборам по точности, быстродействию, чувствительности, защищенности, числу измеряемых величин и др. структуры непрерывно совершенствуются.

Рассмотрим развитие структур по мере повышения их точности, в зависимости от числа и вида измеряемых величин и числа выходных величин.

1. В зависимости от числа входных величин, в которой содержится информация об измеряемой величине, входные преобразователи бывают с одним входом и несколькими. На преобразователь с одним входом подается одна измеряемая величина, если входов два или несколько то соответственно две или несколько.

На измерительный преобразователь с двумя входами подаются две входные величины функционально связанные с одной измеряемой. Например измерители мощности, логометры.

Встречаются измерители с тремя и более входами, измерение расхода тепла и др. В этих случаях в измерительных устройствах автоматизируются косвенные измерения.

ИИС с большим числом входов и с несколькими измеряемыми величинами отличаются тем, что появляется необходимость выделения измерительных сигналов из входных величин. Для этого используют сложные вычислительные устройства, которые автоматизируют процесс совокупных измерений.

В зависимости *от наличия связи* входа и выхода структурные схемы подразделяются на *разомкнутые и замкнутые*. Примеры схем разомкнутой и замкнутой систем.

Выбор структуры измерительного устройства зависит от самой измеряемой величины.

При регистрации величин удобных для квантования и кодирования и получения точного цифрового измерения наиболее подходит разомкнутая схема. Это измерение перемещений и времени.

Применение замкнутых схем удобно при сравнении величин, обладающих однонаправленным действием: напряжение, ток, магнитный поток, механические силы, поток.

Применение устройств с периодическим входом зависит от свойств измеряемых величин. Наиболее удобными являются величины имеющие

физическую природу: свет, электрический ток, поток радиоактивных веществ.

3. Особенности измерительных схем с разомкнутой структурой

Уравнение измерения устройств построенных по разомкнутой схеме, состоящей из последовательного соединения звеньев имеет вид:

$$Y = X \prod_{i=1}^n K_i ,$$

где K_i – коэффициент преобразования i вена.

Уравнение суммарной погрешности

$$\gamma_c = \sum_1^m \gamma_i + \frac{\delta X_i}{A}$$

где: γ_i – мультипликативная приведенная погрешность i – го звена;
 δX – приведенная к входу абсолютная аддитивная погрешность всего устройства.

Для высокой точности прибора и необходима высокая стабильность коэффициента усиления K во времени и малая подверженность внешним воздействиям.

Стабильность K обеспечивается:

- компенсацией действующих факторов,
- стабилизацией значения влияющего фактора;
- калибровкой обычно при одном значении известной величины (мультипликация коррекции);
- введением поправки вручную в зависимости от известного значения возмущающего фактора (аддитивная коррекция);
- более частыми поверками или повторными градуировками.

Применение последних трех способов ведет к снижению производительности труда.

Аддитивные и мультипликативные погрешности можно устранять применением измерительного устройства с одновременным входом величин методом замещения

Применение систем построенных по разомкнутой схеме экономически целесообразно.

Для обеспечения постоянства K звеньев применяются соответствующие конструктивные, схемные и технологические меры:

- компенсация влияния возмущающих факторов, температурная компенсация, частотная, стабилизация отдельных возмущающих факторов, например, температурная компенсация, стабилизация напряжения питания, и др.;

- защита или изоляция от действия возмущающих факторов, например экранирование, тепловая изоляция и т.д.;

Иногда затруднения вызывает нестабильность коэффициентов преобразования. При высоком коэф. и чувствительности происходит высокая воспроизводимость помех, снижение устойчивости работы прибора, что приводит к сложным и громоздким устройствам компенсации.

При конструировании приборов возникает вопрос определения K усиления отдельных элементов. Их определить нельзя и поэтому определяют общий K и затем разбивают его на отдельные элементы, а затем вручную подбирают коэффициент.

Для этого подают эталонный сигнал K и затем одним из звеньев регулируют выходное значение. Это называется также калибровкой прибора. Она возможна как ручная, так и автоматическая.

Уменьшить погрешность можно введением поправки оператором, если известна зависимость между влияющим фактором и выходной величиной.

4. Особенности измерительных устройств с замкнутой структурой регулирования

В измерительных устройствах с замкнутыми структурными схемами производится сравнение выхода со входом, автоматически образуется величина

$\Delta X = X - X_0$ разность неизвестной и известной величин. Эта величина используется для автоматического поддержания стабильности K

Замкнутые схемы бывают с регулируемыми звеньями и нерегулируемыми. Регулировка в прямой цепи производится для поддержания по-

стоянного значения выходной величины Y вплоть до поддержания $Y/X = const$.

Это производится автоматическим введением поправки или автоматической калибровкой

Автоматически уравновесить измерительное устройство, в котором происходит сравнение неизвестной X и неизвестной $X_k = K1 X_0$ величин можно одним из следующих способов:

1. Изменением X_k вплоть до равенства с X . По такой схеме выполнено большинство приборов уравновешивания, так как происходит компенсация X и благодаря этому минимально потребление мощности.

Такие приборы возможны если образцовая известная величина является мерной и воспроизводится с высокой точностью. Регулировать удобно с помощью механического перемещения или поворота оси.

2. Изменением регулируемой по значению величины X_n пропорциональной X с помощью управляемого предварительно включенного преобразователя $ПП$ с коэффициентом преобразования $K2$, включенного перед измерительным устройством сравнения.

По этой схеме измерительное устройство всегда работает в одной точке характеристики, поэтому можно использовать преобразователи с нелинейной характеристикой с необходимым коэффициентом преобразования в рабочей точке. Это удобно когда невозможно создать точную образцовую компенсирующую величину $X_k = K1 X_0$, но можно создать образцовую величину имеющую одно значение X_0 , например с помощью моста с переменным сопротивлением или с помощью фотоэлектрического компаратора, работающего в одно точке.

3. Поочередным или одновременным изменением известной величины X_k и величины X_n пропорциональной измеряемой X .

Осуществляется в приборах с большим диапазоном регулирования

$$D = \frac{X_{\max}}{X_{\min}}$$

В автоматических приборах уравновешивание происходит путем автоматического изменения образцовой компенсирующей величины X_k , т. е. путем изменения $K1$, а изменение $K2$ производится вручную при выборе предела измерения.

В автоматических приборах вначале измерения изменяется $K2$ а затем заканчивается автоматическим изменением $K1$ вплоть до равенства $K2X = K1X_0$.

В приборах уравнивания на входе и на выходе замкнутой части включают последовательно по одному или несколько звеньев в этом случае компенсируется одна из величин.

Лекция №8

Структуры приборов

Проектирование приборов требует грамотного подхода и соблюдения установившихся правил и положений, что необходимо для создания современных измерительных систем отвечающих повышенным эксплуатационным требованиям. В основе методики проектирования положены методы анализа и синтеза, результатам которых становится техническая структура приборов. С точки зрения системного подхода структура прибора представляет совокупность отдельных элементов, взаимосвязанных между собой и внешней средой. Поэтому проектирование целесообразно рассматривать с двух позиций: первая это функциональное проектирование, создание функциональной структуры, отвечающей назначению прибора и его взаимодействию в измеряемыми величинами, вторая – разработка элементов, их конструкции и обеспечения внутренних параметров, что в совокупности составляет принципиальную структуру.

1. Функциональна структура

Представляет собой общность функциональных элементов и функциональных отношений между ними, называемых связями. Выявление и установление связей является важнейшим этапом проектирования, поскольку разработка общей схемы прибора возможна только при достаточно подробном разбиении функций и их реализации. Такое разбиение позволяет выявить все взаимосвязи и проектировать сложные приборы, не поддающиеся логическому и математическому описанию.

Это позволяет также эффективно осуществлять анализ и синтез прибора, поскольку реализация общей функциональной структуры производится с учетом детальных функций каждого элемента.

В общем случае функциональная модель отражает отношения прибора с окружающей средой и может быть описана функциональными зависимостями. Отношения, существующие с окружающей средой и между функциональными блоками можно разделить на *три уровня абстрагирования*.

1. Уровень преобразования. Прибор предназначен для выполнения определенных технических операций или участия в них. Это реализуется путем преобразования некоторых физических величин или определенного количества информации E в результате чего образуется некоторая выходная величина A . Это *называется функцией преобразования*.

2. Уровень коммуникации. С помощью коммуникации происходит обмен данными между прибором другим устройством или между прибором и оператором. Происходит отслеживание входной величины E , преобразованной в A . Это может использоваться как результат или, как обратная связь, для принятия дальнейших решений. Это *называется функцией коммуникации*.

3. Уровень возмущений. На этом уровне отслеживаются все воздействующие на прибор внешние возмущающие воздействия, оказывающие негативное влияние на основную функцию прибора и выходные величины, оказывающие негативное воздействие на окружающую среду. Учет этих величин производится с целью обеспечения надежности функционирования, выполнения функций преобразования и защиты окружающей среды от вредных воздействий приборов. Это *называется функцией надежности*.

С помощью этих категорий входных и выходных величин можно построить структуру обобщенной функциональной модели, состоящей из трех частных функций: преобразования, коммуникации и надежности. Две последние имеют внутренние связи с функцией преобразования.

2. Функция преобразования

С позиции теории систем функцию преобразования можно определить следующим образом. *Это свойство прибора, используемое для вы-*

полнения определенной задачи Эта задача заключается в преобразовании входного сигнала в выходную величину А. Требуемое изменение осуществляется с помощью качественного и количественного преобразования.

Величины подлежащие преобразованию подразделяются на три группы: **информация, энергия и материалы** и области преобразования называются также. При определении назначения прибора одна из этих областей является **основной, первичной**, а остальные **вспомогательными**. Поэтому можно говорить об основных функциях преобразования и вспомогательных. Пример преобразования информации в цифровом приборе. Главная функция измерение физической величины, вспомогательные – преобразование аналогового сигнала в цифровой и др.

Устройства для преобразования энергии. Узлы электропитания приборов, электромеханические приводы, гидравлические приводы регулирования, управления, устройство для выработки холода и др.

Устройства для преобразования материала. Устройства ввода, вывода, транспортирования и хранения жидких сред (шариковая ручка, шприц, производство хладагента, химические реакции.

3. Функция коммуникации

Значение коммуникации, или обмена информацией между прибором и внешней средой в последнее время значительно возросли и в будущем будут только увеличиваться.

Основным объектом преобразования в приборе является информация, касающаяся непосредственно человека. Эта категория требует особого использования сенсорных, моторных и интеллектуальных особенностей человека, что обуславливает поиск новых форм представления информации, функциональных и конструкторских решений.

Учитывая возрастающую роль функции коммуникации и ограниченные человеческие возможности, возникла задача оптимального сочетания человека и прибора с учетом средних способностей. Причем информация, показываемая прибором должна стремиться к однородной и абсолютно однозначной, поведение и рабочее состояние прибора также должно отвечать определенным стандартам.

С учетом того, что нагрузки на операторов приборов возрастают как в эмоциональном, психологическом, так и управленческом плане требования к охране труда, эргономике и эстетике постоянно возрастают.

Рост автоматизации труда ведет к оснащению централизованного управления микропроцессорами, мини ЭВМ, и все большей взаимосвязи приборов в рамках комплексной системы приборов.

В связи с тем, что ответственность при принятии решений по данным приборов возрастает, а иногда от этого зависят человеческие жизни, коммуникационные отношения в систем человек – прибор с учетом использования микропроцессорной техники накладывают особые обязательства на проектировщиков.

Функции коммуникации используются не только в системе человек – прибор, но и человек – машина. Преобразование входной информации происходит не только для восприятия ее человеком, но и для восприятия другой машиной выполняющей технологические функции, при этом производится контроль функционирования машины. Поэтому сигналы формируемые прибором подразделяются на управляющие и контрольные. Классифицировать функции коммуникации можно по сенсорным и моторным способностям человека и по физико – техническим возможностям, определяемым свойствами прибора.

В настоящее время распространяется сенсорный ввод информации, путем прикосновения к активным экранам и другим элементам. Расширяется область использования речевого ввода информации.

Для ввода и восприятия информации в частных случаях используются все сенсорные способности человека. Главный упор делается на зрительное восприятие информации, которое позволяет воспринимать до 78% от общего объема. Затем слуховое восприятие, которое позволяет быть в курсе событий всем находящимся в данном помещении. Важную роль в будущем будет играть речевой ввод информации и вывод, когда прибор будет произносить отдельные слова для контроля ситуации.

Предполагается использовать тактильную чувствительность человека (осязание), а для ее приема использовать датчики, реагирующие на напряжение сухожилий и мышц. При этом необходим контакт касания.

Об использовании в приборах датчиков запаха и вкуса ничего неизвестно.

При использовании частных функций «Обслуживание», «Индикация» конструктивно должны выполняться так, чтобы оператор, работающий с прибором не был узким специалистом и чтобы функции прибора и человека были разделены и отсутствовал эффект мешающего. Прибор должен работать с высокой скоростью и надежностью, а оператор с низкой скоростью и относительно малой надежностью.

При разработке приборов для управления в автоматических системах следует учитывать однородность каналов связи, для этого следует пользоваться стандартами на проектирование интерфейсов, для того, чтобы они были совместимы с различными устройствами ввода и обработки информации такими как микропроцессоры, компьютеры.

4. Функция надежности

При рассмотрении приборных систем можно выделить три частных функции надежности:

1. Обеспечение надежности функции преобразования прибора при возможных возмущениях со стороны окружающей среды, когда происходит преобразование внешних воздействий во внутренние, но возмущения не оказывают воздействия на функцию преобразования.

2. Обеспечение надежности выполнения функций преобразования прибора при возможных собственных возмущениях, возникающих при преобразовании внутренней величины в выходную

3. Обеспечение безопасности внешней среды при возможных возмущениях создаваемых прибором при преобразовании внутренних возмущающих величин в выходные.

Среди возмущающих величин заметную роль играют механические возмущающие воздействия, имеющие постоянные величины, гравитация, статические и динамические силы. Поскольку приборы защищаются от действия нагрузок корпусами, служащими для установки, то вводится понятие установки или базирования. Это может быть по плоскости, по цилиндрической поверхности и точке и др. комбинации. Это первая функция надежности установочная. При установке может быть частично решена преобразующая функция, например использование металлических деталей в качестве заземления или нуля.

Расположение функциональных элементов и обеспечение системы отсчета внутри прибора называются функциями внутренней установки. При расположении прибора на объекте его установка называется внешней функцией установки.

Остальные задачи функции надежности можно объединить понятием функции защиты, которую можно разделить на функцию защиты прибора и окружающей среды, особенно человека.

Прибор следует защищать от внутренних воздействий и внешних, к которым относится изоляция, экранирование, покрытие и облицовка. В результате не происходит передачи внешних воздействий на устройства преобразования и функция преобразования не претерпевает изменений.

Кроме того, требуется «отвод» возмущающих воздействий, возникающих в самом приборе. При работе подвижных частей возможен их износ в результате чего увеличиваются зазоры и возникают ударные явления. Для устранения таких последствий должны быть предусмотрены регулировки и компенсаторы.

В электронном приборе для компенсации искажений используются специальные схемы компенсации и коррекции искажений.

При защите внешней среды главная задача защита оператора и охрана его здоровья.

Лекция № 9

Характеристика качества ИИП

Погрешности ИИП, классификация, определение, расчет

1. Погрешности измерительных приборов

Показания измерительного прибора более или менее отличается от измеряемой величины. Действительное значение измеряемой величины определяется по эталонной мере, образцу, или образцовому прибору. *Разность между показаниями регистрирующего прибора и образцовым показанием или действительной измеряемой величиной называется **погрешностью показания прибора** или **абсолютной погрешностью**:*

$$\gamma = \Pi - A$$

где Π – показания прибора, A – действительная величина.

Величина по абсолютному значению равная погрешности и взятая с обратным знаком, называется поправкой. Чтобы получить истинное значение измеряемой величины, необходимо внести эту поправку.

Погрешность показания выраженная в долях или процентах измеряемой величины, называется **относительной погрешностью**:

$$d = \frac{\gamma}{A}; \quad d = \frac{\gamma}{A} 100\%$$

Относительная погрешность показания иногда используется в качестве одной из характеристик точности измерительного прибора.

Для большинства приборов характеристикой качества является относительная **приведенная погрешность**. Так называется погрешность выраженная в долях диапазона шкалы измерения:

$$d = \frac{\gamma}{A_v - A_n}; \quad d = \frac{\gamma}{A_v - A_n} 100\%,$$

где A_v и A_n верхний и нижний пределы показания шкалы прибора.

Различают **основную и дополнительную** погрешности показания прибора. Основной называется погрешность показания при нормальных условиях указанных в паспорте прибора, например температуре окружающего воздуха и давлении, магнитных полях и др.

Дополнительной считается погрешность вызванная отклонениями от нормальных условий. Это может быть температурная погрешность, погрешность позиционирования и др.

Для технических приборов в зависимости от качества и назначения, ТУ и нормами устанавливаются значения основной допустимой погрешности выраженной в форме абсолютной, относительной или приведенной погрешности. Если при проверке оказывается, что величина абсолютной погрешности при нормальных условиях превышает заданную, то прибор считается не годным

Для большинства приборов, для измерения давления, уровня, температуры и ряда других величин **основную допустимую погрешность указывают в форме допустимой приведенной погрешности**, выраженной в процентах от диапазона показаний прибора. Обычно погрешность лежит в пределах $\pm 0,5$ до $\pm 2,5$ %, образцовых $\pm 0,5$ и ниже

По величине **основной допустимой погрешности** приборы подразделяются по **классам точности**

Условное обозначение класса точности соответствует величине основной допустимой погрешности выраженной в процентах. Основные классы точности 0,005; 0,02; 0,05; 0,1; 0,2; 0,5; 1,0; 1,5; 2,0; 4,0; 6,0.

Допустимые величины дополнительных погрешностей также устанавливаются нормами и ТУ . Например при повышении температуры на каждые 10 град. погрешность манометра не должна превышать $\pm 0,2\%$, начиная от нормальных условий.

Характеристиками точности прибора являются **вариации и порог чувствительности**.

Вариацией называется наибольшая разность между повторными показаниями прибора при одних и тех же значениях измеряемой величины. Эта величина не должна превосходить основную погрешность прибора.

Порогом чувствительности называется наименьшее значение измеряемой величины, способное вызвать малейшее изменение показаний прибора, заметное при визуальном наблюдении показаний. Величина чувствительности не должна превышать 0,2 основной допустимой погрешности

В зависимости от причин происхождения погрешности можно подразделить на **методические и инструментальные**

Методическими можно назвать погрешности вызванные несовершенством принципиальной схемы прибора и принятого способа измерения. Пример измерение скорости воздушного потока при предположении постоянства его плотности на различной высоте.

Инструментальные погрешности или их еще называют технологическими, являются результатом неточности изготовления и сборки прибора, несовершенством применяемых материалов, трения в механизмах прибора и др. причинами.

К числу инструментальных погрешностей относятся:

1. **Шкаловые погрешности**, обусловленные неточным выполнением расчетных параметров, размеров при изготовлении, регулировке или их

изменением в течение времени виду износа, коробления, структурных изменений материалов. Устраняются регулировкой.

2. **Температурные** погрешности. Изменяются свойства материалов при увеличении температуры. Устраняются путем введения компенсаторов, если имеет место систематическая погрешность

3. Погрешности от **трения в кинематических парах** механизма прибора. Если при измерении прибор уравнивается за счет сил трения, в которые входят и силы трения, то при нарушении постоянства последних результат искажается. Необходимо следить за состоянием опор, шарниров и других подвижных соединений.

4. Погрешности **от зазоров** в кинематических парах, вследствие неуровновешенности подвижных частей прибора и т. д.

На погрешность показаний прибора влияют **ошибки отсчета**, обусловленные как несовершенством отсчетного устройства прибора, так и ошибками оператора. Отсчет производится, как правило, с точностью 0,2 цены деления шкалы.

Значительное место занимают погрешности преобразователей. Преобразователи осуществляют перевод входной величины в выходную по определенной зависимости:

$$B_i = f_i(A_i)$$

При рассмотрении характеристик преобразователей закон изменения динамической характеристики остается неизменным и соответствует своим расчетным значениям. Практически всегда имеет место отклонения параметров преобразователя от своих расчетных значений. Величину отклонения параметров от расчетных значений будем называть **первичной погрешностью**

Каждая из первичных погрешностей вызывает отклонение значения выходной величины ***B*** от ее расчетного значения при заданном значении входной величины ***A***. Отдельно взятая величина, которая вызывает отклонение выходной величины называется **частной погрешностью преобразователя** и обозначается символом **δB_{ij}**

Нередко одна из частных погрешностей является превалирующей и определяет величину преобразователя. В этом случае остальные погрешности можно не учитывать.

2. Суммирование погрешностей измерительных устройств

Задача возникает при анализе как отдельных измерительных преобразователей, так и измерительного устройства в целом. Результирующая погрешность складывается из большого числа отдельных составляющих. Каждая из них может быть найдена теоретическим или эмпирическим путем. Таких погрешностей может быть выявлено и определено достаточное количество, например 10 – 15 или 30, все зависит от сложности прибора. Возникает задача, как их суммировать?

Существует по крайней мере четыре подхода к суммированию.

1. Понятие «*суммирования*» погрешностей заменяется *на «образование»* погрешности из ряда составляющих, это означает, что некоторые авторы, в том числе В.О. Арутюнов считают, *методов сложения еще не разработано*, которые позволяли бы это точно сделать.

2. Вторая группа авторов в том числе и Ю.М. Богданов считают, что достаточно простого арифметического сложения погрешностей *по их максимальным значениям*. Но вероятность того, что это происходит именно так, очень мала. При большом числе составляющих погрешности их направление не определено

3. Предлагают суммировать погрешности *геометрически*, объясняя это тем, что составляющие погрешности имеют один закон распределения вероятностей, совпадающий с законом распределения результирующей погрешности. В связи с этим они делают еще предположение, что все составляющие являются условно – случайными и распределены по нормальному закону. Но это можно уточнить, если использовать реальные законы распределения случайных величин.

4. П.В. Новицкий считает, что определяющим признаком при суммировании погрешностей, в предыдущих методах, является их разделение на систематические и случайные и предлагает ввести новый признак – взаимную корреляционную связь. Например, в магнито – электрических приборах при колебаниях температуры окружающей среды жесткость пружины повышается и магнитная индукция снижается. Эти две величины жестко коррелированы и взаимоисключаемы. Поэтому при расчетах они должны вычитаться. Но есть множество примеров, когда случайные величины не связаны и некоррелированы, в этом случае они должны складываться по правилам сложения независимых величин, т.е. геометрически.

Вместе с тем для определения энтропийного значения результирующей погрешности П.В. Новицкий предлагает учитывать ряд обстоятельств

3. Систематические и случайные погрешности.

Перерождение систематических погрешностей в случайные

В теории измерений погрешности обычно подразделяются на систематические и случайные.

Систематическими погрешностями называются погрешности, постоянные или меняющиеся по определенному закону. Они нарушают правильность измерений, но не искажают результат. И если их свести к минимуму, то результата будет более правильный

Случайными погрешностями называются не определенные по своей величине и природе погрешности, а появление каждой из них не подчинено никакому закону. При повторном измерении они могут быть а могут и нет.

Систематические погрешности это такие, которые имеют жесткую функциональную связь с вызывающими их источниками, и сама функция и ее аргумент известны. Поэтому такие погрешности могут быть исключены либо при аттестации, или при градуировке. Однако полного исключения систематических погрешностей добиться нельзя. Их можно свести до уровня случайных погрешностей.

Исключить дестабилизирующий фактор полностью невозможно, можно ввести поправку, но практически точно это не удастся сделать, поскольку условия эксплуатации меняются. При этом систематические погрешности приобретают характер случайных в силу случайности появления факторов их вызывающих.

Например температурная погрешность может быть устранена только при известном значении температуры окружающей среды. А если температура не известна, то какую поправку вводить тоже неизвестно. И температурная погрешность попала в разряд случайных.

Подобным образом изменяется погрешность колебания напряжения питающей сети. И так целый ряд систематических погрешностей переходят в случайные.

Как считает М.В. Маликов выявить систематические погрешности можно только путем статистических испытаний. Если при этом погреш-

ность определенного знака и величины устойчиво проявляется в целом ряде измерений, то ее можно считать систематической.

При изготовлении приборов систематические погрешности можно считать как достаточно большими, но после регулировки они устраняются и затем в процессе эксплуатации появляются вновь. Этот процесс может быть монотонным и монотонно прогрессирующим. В первом случае ее можно учесть с помощью дисперсионного анализа, т.е. определить меру рассеяния от средней величины. Во втором случае присутствует низкочастотная составляющая, вызванная дрейфом нуля или чувствительностью прибора. Случайная погрешность не может рассматриваться как центрированная. В этом случае может быть определена прогрессирующая составляющая путем скользящего усреднения.

Именно эта величина не позволяет описывать появление систематических погрешностей центральными моментами, т.е. их средними величинами

Устранение низкочастотных погрешностей возможно путем внесения поправки, а высокочастотные можно устранить только путем наблюдений, проводимых в результате определенного числа измерений и введением дополнительных поправок.

4. Происхождение статических погрешностей

В связи с тем, что определение погрешности прибора при изготовлении выполняется сначала при нормальных условиях, а затем при специальных условиях статическую погрешность принято делить на две части: **основную и дополнительную**

Основную погрешность в зависимости от причин ее появления можно разделить на следующие виды:

- **погрешность приближения**, или органическая погрешность;
- **погрешность от изменения внутренних параметров**;
- **погрешность от вредных внутренних воздействий**, дестабилизирующих факторов;

Погрешность приближения появляется в случае отклонения от реального закона измеряемой величины, когда реализуется приближенная функция преобразования. Эта погрешность имеет систематический характер и не зависит от качества изготовления деталей прибора.

Возникает при проектировании кинематической или электрической схем. Например, при преобразовании вращательного движения в поступательное с помощью шатунно – кривошипного механизма, которые вместо линейной зависимости реализуют тригонометрические.

При использовании косвенного метода измерения когда формула преобразования имеет приближение, измерение температуры по расширению жидкости или металла.

Дискретный выход сигнала из - за ошибок квантования.

Вторая погрешность связана с качеством материалов из которых делаются детали, точностью изготовления деталей и узлов механизмов прибора. Это несовершенство технологий, методов сборки, регулировки и контроля. Погрешности носят вероятностный характер.

К числу этих погрешностей также относятся температурные, при протекании тока или трения в подвижных частях механизма. Линейные расширения и свойства материалов при этом меняются.

Вследствие влияния основных факторов указанных в первом и втором случаях появляются **дополнительные**, например разбалансировка мостовой схемы.

При **изменении сил и моментов** возникают дополнительные нагрузки на опоры и другие элементы, увеличиваются силы трения и неуравновешенность подвижной системы.

Возникает **неуравновешенность магнитной системы** при взаимодействии с электрическими полями

Гидростатические силы изменяются при расположении подвижной системы в жидкости.

Если в состав прибора входят электронные схемы, то могут происходить **изменения термоэлектродвижущих** сил, сопротивления утечек, паразитные индуктивные и емкостные связи, внутренние шумы радиоэлектронных приборов.

Дополнительные погрешности:

Возникают в результате **отклонения от нормы климатических условий питания прибора его расположения в пространстве.**

Как правило изменяется один параметр и происходит влияние на прибор, например изменяется частота колебаний и происходят изменения в результатах. При проверке приборов так и поступают, изменяют один из

факторов и смотрят отклонения. Изменение факторов носит случайный характер, и ошибки относятся к разряду случайных.

5. Происхождение динамических погрешностей

Подразделяется на *основную и дополнительную*

Основная динамическая погрешность возникает при нормальных климатических условиях. Её подразделяют *на собственную и вынужденную*.

Источниками погрешности являются *инерционные и демпфирующие элементы с определенными параметрами* (массой, моментом инерции, коэф демпфирования, индуктивностью, емкостью и др.). Это приводит к *запаздыванию процессов* преобразования и передачи информации, а также к динамическим искажениям выходного сигнала.

В механической части прибора основной источник возмущения это *инерционная масса*.

При *измерении тепловых величин* имеет место запаздывание *из – за теплоемкости чувствительных и преобразующих* элементов..

При наличии нелинейных составляющих в измерительной цепи (люфты, гистерезис, релейные элементы) имеет место *нелинейное запаздывание*.

Источниками *внутренней динамической погрешности* являются внутренние шумы и наводки в результате которых генерируются паразитная переменная составляющая сигнала. Причинами могут быть автоколебательные явления, выпрямители переменного тока, внутренние шумы отдельных элементов.

Внутренняя погрешность возникает при условии постоянного входного сигнала и изменяет выходной. Она имеет случайный характер.

6. Дополнительная динамическая погрешность

Возникает при изменении нормальных климатических условий и наложении дополнительных внешних воздействий. К дополнительным относятся климатическое воздействие, электрическое и электромагнитное, сопровождающие помехи.

При изменении температуры изменяются внутренние параметры измерительной системы и изменению динамических характеристик. Изменение параметров жидкостного демпфера при изменении вязкости среды

Механические воздействия: Линейные вибрации, угловые вибрации (крутильные колебания)

Электрические и электромагнитные воздействия. Наличие паразитных связей, наличие внешних магнитных и электрических полей, пульсация напряжения внешних источников питания.

Сопровождающие помехи на входе ИУ. Наложение на входной сигнал помех с различным частотным спектром. Они либо увеличивают погрешность, либо просто в ней присутствуют.

Лекция № 10

Надежность приборов

Развитие средств автоматизации производства и автоматических систем становится не возможным без использования приборов для измерения, управления и регулирования, работающих, в том числе, в автоматическом режиме. Возрастает роль приборов, способных усиливать слабые сигналы без искажения и выполнять функцию управления. В связи с этим чувствительность и надежность приобретают в приборостроении доминирующую роль.

В настоящее время возрастает число приборов повышенной сложности, в результате чего возрастает число элементов, что приводит к повышению чувствительности приборов к различным возмущениям и надежность в этом случае падает. В условиях повышения интенсивности работы и увеличения нагрузок приборы начинают работать на верхнем пределе своих возможностей, это приводит к тому что запас надежности также снижается. Если раньше запас надежности определялся в основном по результатам опытов, то в настоящее время его определяют аналитически исходя из возможностей используемых материалов.

Формулировка требований к надежности производится исходя из условий эксплуатации изделия. При этом должны быть учтены все процессы,

которые могут ухудшать показатели приборов в течение всего жизненного цикла.

При достижении целей надежности следует учитывать два основных требования: Первое, в течение всего срока эксплуатации должна поддерживаться очень высокая вероятность функционирования изделия. Это касается систем, которые обеспечивают безопасность людей или защиту больших материальных ценностей, выход из строя которых повлечет серьезные экономические и экологические последствия. Это относится к авиационной технике, атомной промышленности к военным системам.

Второе требование связано с потребительскими и экономическими показателями. Чем надежнее изделие тем стоимость его выше. Поэтому, при определении затрат этот показатель может стать основным при определении надежности. Кроме этого имеет значение экономия материалов и энергии при изготовлении приборов, что приводит к экономии в рамках предприятия и страны в целом.

Точность и надежность приборов определяются в основном на стадиях его проектирования и конструирования, поэтому разработчики должны обладать соответствующей квалификацией.

1. Основные понятия из теории надежности

Параметры, описывающие изменение свойств во времени определяются надежностью и зависят от назначения прибора, его физико – технической природы, технологии изготовления, условий эксплуатации, экономических и организационных факторов.

Надежностью технического изделия называется способность отвечать цели своего применения в течение определенного периода времени.

Надежность – свойство изделия описывающее изменение качества изделия с учетом выхода его из строя, ремонта и технического обслуживания. Надежность может быть выявлена по результатам длительного наблюдения за одним изделием в течение длительного времени. Поэтому эти наблюдения имеют вид прогноза с определенной вероятностью, например вид средней частоты отказов или вид самих вероятностей, например вероятность безотказной работы.

А точность изделия касается достижения и сохранения требуемых функциональных параметров технической системы в пределах допустимых

отклонений. Это связано с определенным состоянием изделия во времени, сохранением параметров системы в заданных пределах при его эксплуатации.

Выполнение прибором его функций, его качественные показатели обусловлены структурой прибора, условиями изготовления, сборки и эксплуатации, влиянием окружающей среды, старением, усталостью или изнашиванием. Способность противостоять внешним и внутренним возмущающим факторам в большей степени зависит от качественных и количественных структурных соотношений. Поэтому точность и надежность приборов при конструировании учитываются в тесной взаимосвязи.

2. Общая методика, правила и принципы конструирования

Основной задачей проектирования приборов является переход от функциональной структуры к принципиальной. Этот переход связан с многозначностью и неопределенностью. Поэтому правильно организовать процесс конструирования, последовательно сокращающий эту неопределенность до появления готового изделия и составляет основу всех методов.

При конструировании происходит циклический процесс с использованием правил и требований различного уровня.

Первый уровень это обязательные специальные требования, относящиеся к разрабатываемому изделию и касающиеся технических и экономических параметров.

Второй уровень включает требования общего характера, которые должны учитываться при проектировании любых изделий для выполнения которых не требуется выполнения фиксированных значений и пределов. Эти требования базируются на экономических показателях и включают пять составляющих:

- **требование минимума затрат** на изготовление, на материалы, производственные затраты, амортизация основных фондов и др.
- **требование минимума объема** устройства;
- **минимума массы**, за счет выбора материалов с повышенными прочностными и другими свойствами и их оптимального расхода;
- **минимум потерь**, при расходовании энергии и материалов;

- **оптимальность использования изделия** за счет рационального обслуживания, оптимального качества защиты, надежного выполнения функций.

Эти требования обязательно должны выполняться конструктором и они в свою очередь определяют правила конструирования: **простота, однозначность, надежность изделия**

Эти правила применимы на всех этапах конструирования от постановки задачи до разработки чертежей деталей. Это итерационный процесс, который связан с простотой конструирования, поиском однозначных связей, возможностью изменения соотношений между входной и выходной величиной, получения оптимальной и безопасной конструкции, не наносящей вред окружающей среде.

Эти правила означают следующее и точки зрения **окружающей среды, функций и структуры**

Простота заключается в наглядных и однозначных отношениях между устройством и человеком. Управление, обслуживание, контроль, ремонт.

Возможно меньшее число частных функций, наглядность их математического описания.

Структура должна содержать минимально возможное число элементов, простые геометрические формы для упрощения технологии изготовления.

Однозначность при рассмотрении с окружающей средой заключается в исключении ошибок при сборке, управлении, связях с другими системами, техническое обслуживание. Инструкции по эксплуатации однозначные

Определенное соподчинение частных функций, определенное направление потоков информации и материалов. Определенное использование физических эффектов, позволяющих четко описывать зависимости между входом и выходом.

Предотвращение вынужденных состояний в результате случайного соединения элементов, при перегрузочных явлениях. Однозначная реакция на возмущения.

Надежность обеспечивается путем защиты устройства от действия окружающей среды и защиты окружающей среды от действия устройства.

Предотвращение вредных взаимодействий между частными функциями, сокращение сложных и комплексных функций.

Обеспечение непосредственной надежности путем выполнения правил достаточной прочности и допустимого отказа без тяжелых последствий.

Применение этих трех основных правил требует от разработчиков учета:

- методического порядка действий;
- учет основных конструкторских подходов правил и рекомендаций;
- учет основных вариантов построения функциональных структур и принципов конструирования.

3. Обзор принципов конструирования

Принципы конструирования предназначены для построения структур устройств на базе внутренних взаимодействий и изменения этих структур с уже имеющимися элементами. Целью использования принципов, методов и правил, является построение требуемой функции устройства с учетом пяти основных требований.

Рассмотрим наиболее часто используемые принципы проектирования:

Принцип разделения, объединения функций

В технических изделиях, состоящих из определенного числа деталей, обычно реализуется одна главная функция и несколько частных. Когда существует возможность реализации нескольких частных функций, то такой прием называется **объединением**. Примером может служить опора скольжения, состоящая из втулки установленной на оси. Этот узел служит для ориентации в пространстве оси и восприятия радиальных сил. Но кроме этого узел способен воспринимать осевые силы и втулка совершать вращательное движение, удерживать смазку между трущимися поверхностями. Все это достигнуто автоматически, но тоже самое может быть достигнуто и целенаправленно, имея ввиду сокращение конструктивных элементов, упрощение конструкции прибора, уменьшения веса и габаритов, сокращения сборочных работ, экономии материалов.

1. Объединение функций означат, что свойства одной составной части структуры используются неоднократно. С точки зрения надежности этот прием не всегда целесообразен, поскольку переполнение частных функций приводит к снижению уровня надежности. Например, увеличение числа электронных приборов на одной плате, уменьшает габариты устройства, но при работе элементов выделяется тепло, которое может нарушить работу других элементов и следовательно какая - то из функций может быть нарушена.

При стремлении получить более оптимальную структуру использовать все частные функции не всегда удается, если это касается несущей способности или точности.

Технология изготовления усложняется, если стремимся сделать более сложное изделие.

Затрудняется возможность регулировки отдельных параметров частных функций.

Поэтому объединение функций не всегда используют в приборостроении, особенно если к точности и надежности предъявляются повышенные требования. В этом случае накладывают ограничения на взаимовлияния и возмущения, которые мешают выполнять главные функции в полном объеме. Чтобы исключить это используют принцип разделения, при котором отделяют второстепенные функции.

2. Разделение функций является операцией противоположной объединению и предусматривает выделение отдельных подструктур для выполнения отдельных частных функций или одной функций. При этом структура может оставаться оптимальной. При устранении недостатков объединения могут появиться новые, например увеличиваются объем и масса устройства, но это менее отрицательные моменты по сравнению с повышением точности и надежности. В приборостроении этот принцип применяется именно для повышения качественных характеристик.

Пример шариковый радиальноупорный подшипник и сдвоенный шариковый и упорный подшипники для восприятия радиальных и осевых сил.

3. Разделение структуры (выполнение корпуса из отдельных частей для удобства сборки)

4. Объединение структуры (печатная плата, интегральная схема, каркас и корпус в виде одной детали)

5. Передача сил прямой короткий путь передачи силы и равнопрочность (использование балки переменного сечения). Пример, упорный подшипник с разными диаметрами сепараторов с шариками (возникает дополнительный изгибающий момент) и одинаковые диаметры сепараторов. (изгибающий момент не возникает)

6. Согласование деформаций. Сварные швы: Сжатие, швы в накладку и нижний лист в упоре, на верхний действует горизонтальная сила, сдвигающая его. Второй случай, швы в накладку, но силы действующие на листы направлены в противоположные стороны. Третий случай швы сварены в косой стык и силы направлены в противоположные стороны.

Расположение колеса со ступицей на валу. Ступица всегда располагается ближе к опоре, а не диск колеса

7. Компенсация сил . Вместо косозубой передачи используется шевронная

8. Определенное распределение силы. Сила действует на верхнюю часть буквы П или сила действует на верх Δ у которого опоры перпендикулярны боковым граням.

9. Установка (выбор структуры, элементы которой поддерживают друг друга, вспомогательные функции способствуют выполнению основной) Пример сборка ступени редуктора и предотвращение осевого смещения элементов.

10. Самоусиление (уплотнение крышки при повышении давления в сосуде, затягивание гайки при увеличении числа оборотов вала)

11. Самозащита (появление дополнительного пути передачи силы при перегрузке, в упругой муфте используется дополнительный штифт) Использование байпаса в гидравлических системах.

12. Самокомпенсация (использование побочных эффектов для выполнения основной функции). Повышение устойчивости тонкого диска при вращении за счет действия инерционных сил. Самоустановка вала в гидростатическом подшипнике.

13. Создание конструкции с минимальными погрешностями (выбор структуры имеющей погрешности второго и более высшего порядков). Компенсация первичных погрешностей.

14. Инноцентность – изменение расположения элементов в устройстве не нарушающих характеристики прибора при его эксплуатации.

15. Инвариантность – использование устройств позволяющих компенсировать возмущающие воздействия и устранять их вредное воздействие. Таким образом прибор становится независимым от возмущающих воздействий.

16. Компенсация погрешности. Использование компенсаторов погрешностей

17. Предотвращение переопределенностей. Правила базирования деталей при обработке.

18. Использование функционально необходимого материала для изготовления функционально необходимого конструктивного элемента..

Лекция № 11

Обзор принципов конструирования

1. Принципы передачи сил

При конструировании механических систем приборов решаются вопросы поддержания в пространстве элементов передач, их взаимное расположение и ориентировка, восприятие и передача сил и моментов.

При передаче информации важным критерием является отсутствие искажения, поэтому иногда при передаче усилий на первое место выходит не прочность, а отсутствие упругих деформаций. Также, очень часто, при небольших размерах элементов, передаваемая нагрузка становится предельной, поэтому при проектировании используются методы действующие в общем машиностроении.

Выделяется четыре принципа передачи сил. При этом следует иметь в виду, что силовое взаимодействие всегда замкнуто и оно не может внезапно появиться и внезапно исчезнуть.

1. Принцип равнопрочности. Все элементы рассчитываются из условия равной прочности во всех местах конструктивного элемента путем соответствующего выбора его формы, размеров и материалов. Но при проектировании точных механических цепей это правило не всегда приводит к положительному результату ввиду значительных упругих деформаций.

2. Принцип прямого короткого пути обуславливает минимум упругих деформаций, причем наилучшим условием является действие только растягивающих или сжимающих напряжений. Крутильные или изгибные колебания имеют большую величину чем линейные. (рис. распределения сил в опорах и упорном подшипнике)

3. Принцип согласованных деформаций применяется при расчете двух деталей взаимодействующих одна с другой, при этом важно чтобы силы в месте соприкосновения не вызывали бы деформаций. Это возможно в случае, когда деформации обеих деталей равны и направлены в одну сторону. Относительные деформации отсутствуют, поскольку обе детали смещаются в одну сторону. Это характерно для сварных, клеевых, клепанных, паяных и прессованных соединений. Этот принцип обеспечивает равномерность распределения напряжений внутри соединения. При ударных нагрузках, а также при наличии концентраторов напряжений, рассчитать прочность соединений становится сложнее. (рис сварных соединений)

4. Принцип компенсации сил. Усилия не относящиеся к функции кинематической пары, но возникающие при ее работе в виде дополнительных воздействий. Например осевые силы в косозубой передаче. Такие си-

лы должны замыкаться по возможно короткому пути в пределах одного вала и должны быть направлены на встречу друг другу. Это шевронные зубчатые колеса. Фрикционные муфты, которые должны состоять из двух полумуфт, полумуфты соединяются одним элементом, компенсирующим осевые силы.

5. Принцип определенного распределения сил. Часто используется в приборах, для разделения силового потока по нескольким ветвям, параллельно расположенным. Это делается для снижения упругих деформаций. При этом силы должны быть распределены по элементам так, чтобы погрешности сборки и эксплуатации не вызывали деформаций, нарушающих основную функцию прибора.

При использовании данного принципа следует иметь в виду, что неопределенность силового потока должна отсутствовать. Пример, движение по прямоугольному рельсу сосредоточенной массы. Для исключения прогиба используют несколько опор или разносят действие нагрузки на большое расстояние используя ролики.

Согласование деформаций. Сварные швы: Сжатие, швы в накладку и нижний лист в упоре, на верхний действует горизонтальная сила, сдвигающая его. Второй случай, швы в накладку, но силы действующие на листы направлены в противоположные стороны. Третий случай швы сварены в косой стык и силы направлены в противоположные стороны.

Расположение колеса со ступицей на валу. Ступица всегда располагается ближе к опоре, а не диск колеса

6. Компенсация сил . Вместо косозубой передачи используется шевронная

7. Определенное распределение силы. Сила действует на верхнюю часть буквы П или сила действует на верх Δ у которого опоры перпендикулярны боковым граням.

8. Установка (выбор структуры, элементы которой поддерживают друг друга, вспомогательные функции способствуют выполнению основ-

ной) Пример сборки ступени редуктора и предотвращение осевого смещения элементов.

9. Самоусиление (уплотнение крышки при повышении давления в сосуде, затягивание гайки при увеличении числа оборотов вала)

10. Самозащита (появление дополнительного пути передачи силы при перегрузке, в упругой муфте используется дополнительный штифт) Использование байпаса в гидравлических системах.

11. Самокомпенсация (использование побочных эффектов для выполнения основной функции). Повышение устойчивости тонкого диска при вращении за счет действия инерционных сил. Самоустановка вала в гидростатическом подшипнике.

12. Создание конструкции с минимальными погрешностями (выбор структуры имеющей погрешности второго и более высшего порядков). Компенсация первичных погрешностей.

13. Инноцентность и инвариантность – сохранение точностных характеристик в течение длительного времени.

Инноцентность - изменение расположения элементов в устройстве не нарушающих характеристики прибора при его эксплуатации. Это означает, что выходные характеристики не изменяются при появлении внешних возмущающих воздействий или в них появляются погрешности второго или более высокого порядков.

Инвариантность – использование устройств позволяющих компенсировать возмущающие воздействия и устранять их вредное воздействие. Таким образом, прибор становится независимым от возмущающих воздействий.

Наиболее часто эти принципы используют при появлении геометрических погрешностей и отклонений от правильного расположения одних деталей относительно других. При изменении допусков и посадок Причинами их являются неустранимые погрешности при изготовлении деталей и

сборке, а также изменение положения в процессе эксплуатации, в следствие деформаций под действием сил и температур, а также износа. Именно это и является предметом устранения погрешностей с помощью данного метода.

Примеры оптических конструктивных элементов, инвариантных к изменению их положения. Трипель - призма для поворота на 180 град лучей или параллельное смещение лучей (ромбическая призма) при повороте этих конструктивных элементов вокруг всех трех осей прямоугольной системы координат. Отклонение лучей на 90 град пентапризмой инвариантно относительно поворота её вокруг оси перпендикулярной главному сечению призмы.

Известны инвариантные и инноцентные структуры в механических системах для компенсации люфтов. Пример цилиндрического толкателя, предназначенного для передачи движения. Люфт влияния не окажет на точность передачи движения.

Нутромер измерительный горизонтальный ход шарикового щупа благодаря скосу сухаря, связанного с измерительным стержнем, преобразуется в вертикальный ход этого стержня. Если есть люфт, то щуп не перемещается. Это устранено путем введения дополнительного сегмента и люфт не влияет на показания.

14. Инвариантность – использование устройств позволяющих компенсировать возмущающие воздействия и устранять их вредное воздействие. Таким образом прибор становится независимым от возмущающих воздействий.

15. Компенсация погрешности. Использование компенсаторов погрешностей. Например набор шайб для компенсации замыкающего размера в силовой цепи

16. Предотвращение переопределенностей.

Изделие состоит из отдельных деталей, сопряженных одна с другой. Они находятся в неподвижном состоянии или перемещаются одна относительно другой, образуя с нею соответствующую кинематическую пару.

Под кинематической парой понимается соединение двух деталей, которые соединяются друг с другом в точках, линиях или площадках, благодаря чему они жестко связаны друг с другом или сохраняют определенную подвижность. Кинематическая пара имеет одну две или несколько контактных пар, представляющих точки, линии или площадки.

Если взять две детали, то одна из них считается неподвижной, другая подвижной. Для простоты используется понятие **степеней свободы**, определяемое в прямоугольной системе координат, всего их 12. Если степень свободы нельзя реализовать назовем ее **степень несвободы**.

Основные случаи степеней несвободы используемые в технике

Формула определения числа несвободы имеет вид:

$$u = 6 - f,$$

где f – число степеней свободы, если жесткая заделка $f = 0$, то $u = 6$. Если $u > 6$ и предусмотрена еще одна степень несвободы, то говорят о переопределенности

В изделиях содержащих более двух деталей число несвободы равно:

$$u = 6(n-1),$$

Если в изделии число степеней свободы равно F , то суммарное число степеней несвободы равно:

$$u = 6(n-1) - F.$$

Но это не позволяет сделать вывод о жесткости или свободе механизма. Здесь необходим учет взаимного пространственного положения степеней свободы и несвободы отдельных кинематических пар, их зависимость друг от друга и, возможно имеющих идентичных степеней свободы. Если число степеней несвободы превышает допустимое, то возникает неопределенность, которая недопустима. Для установления определенности базирования используют следующие приемы. Например в приборных направляющих.

Для предотвращения переопределенности используются конструктивные меры, изменение принципа базирования, изменение формы отдельных мест контакта.

Сохранение переопределенности при устранении или уменьшении ее последствий обеспечивается соблюдением допусков, идентичностью длин и углов, что обеспечивается с помощью совместной обработки, пригонки, шлифовки, юстировки, с помощью упругих элементов.

17. Использование функционально необходимого материала для изготовления функционально необходимого конструктивного элемента.

Лекция № 12

Обеспечение точности приборов при конструировании

1. Определение влияющих величин на точность приборов

Вопрос о точности в приборостроении приобретает все большее значение. Поэтому конструирование приборов с использованием разработанных принципов оправдывает себя, поскольку разработанные устройства имеют минимальные погрешности.

Для обеспечения точностной характеристики прибора необходимо знать влияющие на него величины. В процессе конструирования прибора на первом этапе сложно предположить какие будут внешние и внутренние возмущения и в какой степени они будут влиять на частные погрешности, поскольку оценка их производится теоретически.

Выявление внешних и внутренних возмущающих величин может производиться различными теоретическими методами. Конструкция может быть представлена в виде соединения звеньев, имеющих определенное относительное положение. Определив упругие деформации каждого звена и стыков от действия нагрузки можно предположить погрешность вызываемую упругими деформациями.

Можно использовать графовый метод, который заключается в представлении отдельных элементов в виде окружностей, а взаимосвязи линиями, соединяющие эти окружности. В качестве примера рассмотрим пе-

редачу винт – гайка, преобразующую вращательное движение в поступательное.

При повороте винта на угол α гайка перемещается по направляющей на расстояние L . На гайку действуют внешние и внутренние возмущения. Внешние - это нагрузка, которую перемещает гайка. Внутренние - это погрешность нарезки винтовой поверхности на винте. Определение погрешности начинается с первого звена и последовательно добавляется остальные. В данном случае показано только одно звено - винт. Далее рассчитывается влияние фактора на выходной параметр или на последующее звено. Разбиение погрешности на три составляющие в зависимости от расположения элементов, юстировки и допусков изготовления конструктивного элемента, позволяет получить представление о характере погрешностей прибора и выявить наиболее эффективные пути улучшения его точностной характеристики.

Погрешности элементов, также дают возможность определить, какое из звеньев является наибольшим источником частной погрешности. Анализ всех погрешностей дает информацию о том, какие следует использовать приемы и мероприятия для устранения внутренних возмущающих факторов.

2. Обеспечение точности в процессе конструкторской подготовки производства

Обеспечение точности приборов в процессе производства, является основным требованием, которому следует уделять особое внимание. Его выполнение начинается с конструкторской подготовки производства на этапе функциональной структуры, формализации принципа действия и создания конструкции.

На первых двух этапах конструирования определить погрешности еще не удастся, это становится возможным на третьем этапе, оценивая разработанную конструкцию. Иногда невыполнение требования точности приводит к изменению функционально структуры и повторной конструкторской проработке, изменению физико – технического принципа и возврату к конструированию.

Для улучшения точностной характеристики используют следующие приемы: изменение структуры, когда изменению могут быть подвергнуты функциональные свойства структуры, характеристики или материал.

Численная коррекция частных погрешностей для конкретного образца прибора. Это производится путем введения постоянных составляющих погрешностей, особенно в электронные приборы, которые управляются компьютером.

Для создания приборов с минимальными погрешностями используется **технический принцип** проектирования, который позволяет получать высокую точностную характеристику. Производится это путем внесения количественных и незначительных качественных изменений структуры этого устройства.

Поиск таких структур должен вестись целенаправленно, так как они позволяют значительно улучшить точностную характеристику, без дополнительных экономических и материальных затрат. Это может быть выполнено путем минимизации коэффициента погрешности и компенсации. Также использованием юстировки и рационального выбора допусков.

Минимизация коэффициента погрешности может производиться двумя путями это с использованием принципов инноцентности и инвариантности. Зависимости определения частных погрешностей в общем виде могут быть представлены выражениями.

Погрешность в частном случае становится малой, если коэффициент погрешности V_F мал. Уменьшить его можно с помощью математических методов оптимизации.

В зависимости от степени уменьшения получают инвариантные или инноцентные конструкции в отношении погрешности.

Максимально эффективные структуры получаются тогда, когда коэффициент погрешности снижен настолько, что остаются только погрешности второго порядка или ниже. Коэф. V_F имеет следующий вид:

$$V_F = C \text{ (Влияющая величина),}$$

тогда частная погрешность выражается соотношением $\Delta A = V_F$ и появляющиеся при этом погрешности второго порядка в большинстве случаев пренебрежимо малы.

Такие структуры называются инноцентными. Инноцентные структуры представляют собой устройства с минимальными погрешностями

В инвариантных структурах $V_F = 0$, такое устройство инвариантно относительно влияющей величины. Частная погрешность становится равной нулю. Такие системы называются инвариантными.

Пример. Минимизированная относительно погрешности фрикционная муфта, Передаваемый предельный момент зависит от передаваемого момента, коэффициента трения, усилия пружины и эффективного радиуса трения Первоначально установлена дисковая пружина, которая затем заменена на тарельчатую

3. Юстировка

Юстировка представляет собой операцию, при которой путем изменения характеристик прибора могут быть значительно снижены или полностью устранены частные погрешности.

Юстировщик изменяет характеристики прибора до тех пор, пока значение требуемой характеристики не будет равной заданной. Юстировка позволяет компенсировать в первую очередь внутренние возмущающие воздействия. Она производится во время или после сборки, но ее возможность должна просматриваться уже при конструировании прибора. Юстировка может иметь общие и специфические признаки.

Общие признаки юстировки. Юстировка – однократная операция, которая заканчивается получением требуемой характеристики прибора. Она должна хорошо вписываться в сборочный процесс. Она статична, так как время велико по сравнению с протекающим динамическим процессом регулировки. Юстировку производит оператор, но сейчас появились автоматические устройства.

Специфические признаки юстировки. Юстируемое значение представляет собой определенное значение, лежащее в заданных пределах. Юстировку осуществляют по замкнутому контуру. Юстируемую величину измеряют и сравнивают с заданным значением. Изменение характеристики должно осуществляться с требуемой чувствительностью. Это изменение должно быть целенаправленным и вести к требуемому результату.

Если все эти требования выполняются, то эта юстировка называется определенной, если нет, то это неопределенная юстировка и ее следует избегать.

4. Способы юстировки

Юстировка муфты, включающейся при предельном вращающем моменте – одиночный контур изменения

Включение муфты должно происходить, когда момент лежит в узком диапазоне, а допуски на диски и пружину не могут быть сколь угодно малы.

Момент, передаваемый муфтой, один и имеет вполне определенное значение. Следовательно - достаточно одного простого контура юстировки. Напряжение пружины можно изменять до тех пор, пока момент не достигнет заданного значения. Затем гайку фиксируют. Это простая юстировка, поскольку контур замкнут и имеется прямой отсчет значений.

Характерные отличия и признаки различных способов юстировки приведены в таблице:

Таблица

Характерные отличия	Признаки, способ юстировки			
Виды выходных величин	Одно дискретное значение, простой контур юстировки	Несколько дискретных значений	Функционально зависящие значения	
		Несколько простых связанных контуров		
Вид контура юстировки	Замкнутый, непрерывная юстировка		Разомкнутый, последовательная юстировка	
Вид сбора информации	Значения входных величин	Значения выходных величин	Параметры	Комбинированные величины

Юстировка пассиметра – последовательная юстировка

Последовательная юстировка необходима когда ее контур не замкнут. Пассиметр служит для измерения длин деталей или диаметров. Сначала берут концевую меру, ее устанавливают между измерительными наконечниками и выставляют показания отсчетного устройства. Затем берут измеряемую деталь и смотрят ее отклонение от эталонного размера. Юстировка заключается в том, чтобы настроит прибор на максимально точные

показания. Это производится путем изменения длины одного из рычагов измерительной системы. Используется два приема: определения показания путем разностного измерения и дискретного изменения длин плеча рычага. Если зависимость погрешности и длины рычага известна, то юстировку можно провести за один прием.

5. Компенсация

Предусматривается простая компенсация соответствующих частных погрешностей обусловленных внутренними и внешними возмущениями. Компенсатор может быть выполнен в виде замкнутого и разомкнутого контура, которые принципиально отличаются. Первый из них работает в качестве контура регулирования, второй в качестве контура управления. На рис показан принцип действия компенсатора. Компенсатор может подключаться к входу, выходу или непосредственно к схеме прибора.

Пример. Компенсация работы термостата. Это используют в случае, когда колебания температуры приводят к значительным погрешностям. Например, к изменению частоты импульсов кварцевого генератора. Для обеспечения высокой точности этой частоты, необходима стабильная температура. Для этого используют сигнал компенсатора, в качестве которого использован датчик температуры установленный в отдельной камере с постоянной температурой. Этот сигнал подается на вход прибора.

Мероприятия повышающие точность прибора:

- уменьшение частной погрешности путем ее корреляции или улучшения точностной характеристики;
- выбор соответствующего технического принципа;
- тщательное выявление всех влияющих величин, обуславливающих погрешности приборов;
- теоретическое определение всех частных погрешностей;
- выбор способа, позволяющего получить конструкцию с минимальными погрешностями, например минимизация коэффициента погрешности, инноцентных и инвариантных конструкций, юстировка, назначение соответствующих допусков, компенсации возмущающих воздействий

Лекция №13

Техническая надежность приборов

1. Определение технической надежности

Надежность является частным свойством качества изделий, которая характеризует закономерности появления отказов, сроков его технического обслуживания и ремонта. Параметры, описывающие закономерности отказов представляют собой средние, вероятностные или прогнозные значения на базе вероятностных данных. Понятие технической надежности до сих пор не стандартизовано международными стандартами. В некоторых стандартах надежность сводится к какому либо одному показателю (вероятность безотказной работы, частота отказов и т.д.).

Зарубежные стандарты определяют надежность в более широком смысле.

Надежность технического изделия представляет собой свойство, характеризующее выполнение изделием заданных функций в определенном временном интервале при сохранении значений установленных параметров в определенных пределах, соответствующим заданным режимам работы, а также условиям эксплуатации, технического обслуживания, хранения и транспортирования.

Если говорить о факторах, которые конструктор должен учитывать и на которые он может оказывать влияние, то определение надежности выглядит несколько иначе: техническая надежность является комплексным свойством технического изделия выполнять заданные функции в течении определенного срока службы, при уже имеющейся наработке, при заданных условиях эксплуатации и окружающей среды, при определенных внутренних и внешних условиях работ при нагрузках, изменяющихся в заданных пределах.

На надежность влияют следующие факторы, которые можно разделить на три группы.

1. *Структура элементов*

(изготовление, выбор, материалы, допуски и др.) и

Отношения элементов

(выбор расположения и связей элементов, назначение размеров и посадок, удобство ремонта и обслуживания и др.)

2. Окружающая среда

Изготовление (документация, освоение, технологическое оборудование, технологические методы, организация производства, материалы и др.).

Использование (упаковка, транспортирование, хранение, установка, эксплуатация, ТО, уход, услуги, срок службы, нагрузки и др.)

3. Влияния более высокого порядка.

Объективные (объем выпуска, стандарты, климатические условия, надежность технологического оборудования)

Субъективные (теоретические данные, практический опыт, традиции, добросовестность и др.)

2. Параметры, характеризующие надежность

Одним из параметров является отказ. Отказ изделия наступает тогда, когда оно перестает выполнять свои функции. Для восстановления функций требуется ремонт, Поскольку отказ не является плановым, то и ремонт не является плановым мероприятием

Чтобы получить возможность целенаправленно влиять на отказы целесообразно классифицировать их по техническим признакам:

1. По объему

Полный отказ, частичный отказ, катастрофический отказ, деградирующий отказ.

2. По характеру изменения

Внезапный отказ, постепенный отказ, перемеживающийся отказ.

3. По нагрузке при допустимой и недопустимой нагрузке.

4. По времени появления отказа. Приработочный отказ, случайный отказ, систематический отказ

5. По причине возникновения Конструкционный, производственный, эксплуатационный, неявный, явный отказ

Характеристики отказов

Рассмотрим процесс выполнения функции изделием в интервале времени $(0, t)$. В момент начала эксплуатации $t = 0$ функция выполняется

надежно. Время эксплуатации изделия не может быть точно предсказано, поэтому его устанавливают на основании опытных данных большого количества однотипных изделий. Поскольку срок службы рассматривается как случайная величина, то его определение выполняется с использованием методов теории вероятности и математической статистики:

$$F(t) = P(T < t)$$

Или время безотказной работы

$$R(t) = 1 - F(t) = P(T > 0)$$

Это означает, что отказ наступит по истечении времени t

В большинстве случаев T может быть описано не случайной величиной, а функцией распределения плотности вероятности

$$f(t) = \frac{\partial F(t)}{\partial t}$$

тогда величина $f(t)\partial t = F(t + \partial t) - F(t)$ означает вероятность появления отказа в интервале $(t, t + \partial t)$.

Интенсивность отказов представляет собой производную по времени отношения числа изделий dN_o отказавших в интервале времени $(t, t+dt)$ к общему числу изделий $(N_o - N\partial)$, исправных в данный момент времени t

Следовательно интенсивность отказов является также функцией «возврата» изделий t . В другой записи $\lambda(t)$ имеет вид.

Интенсивность отказов зависит от условий окружающей среды и условий эксплуатации изделия, поэтому ее можно рассматривать как интенсивность отказов в зависимости от условий среды и в зависимости от условий нагрузки.

Типовая диаграмма интенсивности отказов для электронных и механических систем имеет вид:

Взаимосвязь между интенсивностью безотказной работы $R(t)$ и интенсивностью отказов $\lambda(t)$ определяется выражением

В расчетах в которых необходимы функциональные зависимости интенсивности отказов их находят из опытных данных и подводят к известным законам. Наиболее распространенными законами являются закон нормального распределения, закон Гаусса, экспоненциальный закон, усеченный экспоненциальный закон Вейбулла, частным случаем которого является закон Релея.

Особое значение имеет экспоненциальный закон, поскольку большинство отказов элементов систем подчиняется корытообразному закону.

Приработка, работа в стабильном режиме и интенсивный износ. При работе в зоне стабильного режима отказы возможны, в этом случае происходит замена элементов вышедших из строя и вновь работа продолжается.

Экспоненциальное распределение удобно использовать в расчетах. Тогда вместо интенсивности отказов используют другую характеристику наработки на отказ – *среднюю наработку на отказ* – среднее значение функции плотности.

При экспоненциальном распределении при $\lambda = \text{const}$ получим

$$\Theta = 1/\lambda$$

Средняя наработка на отказ обратна интенсивности отказов и измеряется в часах.

3. Вероятность безотказной работы

Изменение вероятности безотказной работы R при экспоненциальном распределении

Это изменение можно пояснить анализом некоторых характерных точек. При $t = \theta$, $R = 37\%$ $t = \theta/10$, $R=90\%$ $t = \theta/20$, $R = 95\%$. Это означает, что из 100 приборов к моменту средней наработки на отказ исправными остаются лишь 37, или система, средняя наработка на отказ которой равна 100 часов, остае5тся исправной в течении 100 часов в вероятностью 37%, в течении 10 часов с вероятностью 90%.

Пример. Прибор работает 100 часов. Он проработал 25 часов. Какова безотказность его работы

$$R = e^{-t/\theta} = e^{-25/100} = 0,78$$

Т.е. из 100 таких приборов через 25 часов работы 22 прибора окажутся неисправными

Поэтому при известной наработке на отказ или интенсивности отказов можно рассчитать вероятность сохранения исправного состояния в течение определенного времени. Но здесь речь идет о статистических величинах. Это означает, что при работоспособности в 100 часов прибор может выйти из строя через 1 час или через 50 часов, речь идет о времени работы прибора. Или зная количество отказов можем определить среднее время работы прибора.

Т.к. вероятность безотказной работы относится к неремонтируемым изделиям она оказывается полезной для определения надежности **неремонтируемых изделий**

Она полезна и для ремонтируемых систем, поскольку позволяет определить к какому времени система может выйти из строя.

4. Коэффициент готовности

Рассчитывается следующим образом

$$V_G = \frac{\theta}{\theta + T_A},$$

где T_A – среднее время восстановления работоспособности системы.

В большинстве случаев этот коэффициент рассчитывается в % Время T_A включает время поиска причины отказа поиска и простоя. Оно зависит от качества сигналов отказа, программ поиска неисправностей и ремонтнопригодности, квалификации работников и организации ремонта. Он отражает субъективные факторы. Кроме того учитывает события происходящие после отказа, т.е. время восстановления.

Для конструкторов это важный показатель, поскольку его снижение напрямую связано с конструкцией прибора, его ремонтнопригодностью,

быстротой обнаружения неисправностей, модульностью конструкции, простоты обслуживания. Этот показатель важен и для потребителей.

Для описания надежности изделия в зависимости от его назначения могут быть выбраны параметры $\lambda(t)$, θ , $R(t)$ V_T

Но одного параметра недостаточно. В приборостроении где устройства ремонтируются многократно используются θ и V_T дополнительно используют T_A среднее время в течение которого изделие находится в неисправном состоянии, к числу отказов. Это характеристика ремонтпригодности.

5. Затраты и надежность

Полные затраты $K_{полн}$ потребителя на изделие складываются из следующих составляющих: затраты на покупку K_1 , затраты на техническое обслуживание K_2 , связанные с затратами на предотвращение отказов, сопряженные затраты K_3 , обусловленные неработоспособностью изделия.

Основное экономическое уравнение надежности имеет вид:

$$K_{полн} = K_1 + (K_2 + K_3)$$

Существование минимума затрат говорит о том, что не всегда нужно стремиться к максимальному расходованию средств на поддержание максимальной надежности, нужно стремиться к их оптимальному значению.

Определение $K_1 - K_3$ вызывает большие трудности, особенно на стадии разработки. В первом приближении это можно сделать с помощью данных об уже существующих подобных изделиях. Но не все можно измерить в затратах, есть и технический эффект и социальный.

6. Отказы элементов и систем

Распределение *отказов* во времени обычно описывается *их интенсивностью* $\lambda(t)$. Все остальные характеристики справедливы для определенных отрезков времени. Поэтому вместо интенсивности отказов используют математическое ожидание *допустимого числа рабочих циклов* (оборотов, циклов нагрузки, переключений и др.). С помощью этой характери-

стики рассчитанной для единицы времени можно найти средний срок службы, среднюю наработку на отказ.

Наработку на отказ следует определять при определенных условиях, которые заранее известны. При этом нагрузки разделяются на две категории. Первая это

нагрузки окружающей среды (температура, влажность, давление, агрессивные среды, пыль) и

вторые - **функциональные нагрузки** (напряжение, ток, мощность, выделение теплоты, потери на трение, частота, разбаланс и др.)

Экспериментально их определить достаточно трудно, а теоретический расчет ограничен отдельными случаями при основных нагрузках.

Прежде всего определяют зависимость интенсивности отказов от функциональных нагрузок и температуры. Нагрузки действующие со стороны окружающей среды накладываются на функциональные. Причем для механических систем влияние окружающей среды зачастую сильнее чем функциональных. Это коррозия, недостаточная смазка, отложение пыли и др. Повышенные нагрузки часто возникают в пусковых режимах, что приводит к увеличению отказов. Такого рода влияния могут быть с трудом учтены при расчетах.

Интенсивность отказов учитывается различным образом:

В виде фиксированного значения при соответствующих функциональных нагрузках и нагрузках со стороны окружающей среды. Например для геркона указывают ток 50 мА, напр. 24 В, темп. +5...+70 град.С, среднее число переключений до первого отказа $5 \cdot 10^6$ переключений.

В виде таблицы для определенных функциональных нагрузок и нагрузок со стороны окружающей среды.

В виде кривой для углеродистых пленочных резисторов

В виде уравнения, например для германиевых транзисторов.

С использованием коэффициента снижения:

$$\lambda = \kappa \lambda_{\text{ном}}$$

где κ – функциональная нагрузка со стороны окружающей среды, например температура.

Для лабораторного оборудования $\kappa = 1$, для ж/д транспорта $\kappa = 40$, наземного $\kappa = 10$, авиационного $\kappa = 150$, ракета $\kappa = 1000$

При расчете интенсивности отказов считается, что взаимовлияние элементов отсутствует. Для радиотехнических элементов это в большинстве случаев справедливо. При выходе из строя одного элемента, например резистора остальные остаются пригодными к эксплуатации. В механических системах бывает наоборот. При поломке одного элемента выходят из строя другие, например подшипник рассыпался, тела качения попадают в зацепления зубчатых колес, это ведет к поломке, изгибу валов и выходу из строя всего изделия.

В этом случае предсказать интенсивность отказов сложно. Поэтому указывают интенсивность отказов отдельных узлов, например двигателя, муфты, коробки скоростей и др.

При указанных выше условиях надежность систем можно определить по интенсивностям отказов элементов с учетом их связи в системе. По типу связей различают системы с последовательно включенными элементами и параллельно включенными

Лекция № 14

Особенности отказа механических систем

Отказы механических систем имеют определенные особенности в сравнении электронными системами и это требует дополнительных корректирующих мероприятий направленных на повышение надежности. В процессе работы механических устройств происходит износ элементов, это может быть абразивный износ, адгезионный, схватывание при высоких нагрузках и др. В результате этого образуются зазоры и нарушается правильность относительного положения деталей, появляются различного рода погрешности, точность функционирования снижается. На этапе приработки отказы связаны с технологией изготовления и они достаточно часты, на этапе стабильной работы отказы маловероятны, но они случаются и произойти это может в любой момент. Причиной могут стать различные возмущающие факторы и неспособность противостоять помехам.

Интенсивность отказов на завершающем этапе работы устройств достаточно велика, сказывается ослабление элементов конструкций по

причине износа, усталости, нарушения функционирования, вызванного изменением посадок и относительного расположения деталей.

У систем, для которых предусмотрен профилактический ремонт, случайные отказы после приработки определяют надежность систем. В этом случае целесообразно учитывать значение интенсивности отказов.

Для модульных систем важное значение имеет надежность отдельных модулей, поэтому следует точно знать, когда необходимо произвести замену или обслуживание модуля и рассчитать эти сроки. Учесть особенности обслуживания.

В практике эксплуатации механических систем их принято эксплуатировать до появления отказов в результате старения. При этом интенсивность отказов измеряется во времени. Использовать резервирование в данном случае не имеет смысла, поскольку происходит износ всех элементов.

Для механических систем, имеющих последовательное соединение элементов, применяется нагруженный резерв. При определении надежности в этом случае придется учитывать взаимовлияние элементов.

При использовании параллельного резерва следует иметь в виду, что при выходе из строя одного элемента произойдет отказ всей цепи и нагрузка на работающую цепь существенно возрастет. Это приведет к повышенному износу цепи и ее отказу. Поэтому взаимное влияние элементов друг на друга имеется, что сильно затрудняет расчет надежности. Вероятностный метод также труден для расчетов.

Для выхода из данной ситуации следует использовать приемы из электроники, когда взаимовлияние элементов отсутствует, тогда надежность механической системы может быть рассчитана по аналогии с электронными приборами и по той же зависимости:

$$R_{\text{мех}}(t) = \prod_{i=1}^n R(t)$$

где $R(t)$ – вероятность безотказной работы независимой подсистемы.

Основной проблемой при определении надежности теоретическим методом является отсутствие данных для расчета. Здесь используются комбинированные методы теории надежности. Но они ограничены в применении ввиду малого объема выпуска изделий, низкой степенью стандартизации, трудностью оценок ожидаемых нагрузок

При малых объемах выпуска все это неэффективно, поскольку затраты на определение данных будут велики.

Выход остается один, это получение данных из эксперимента. Кроме этого удастся установить механизм выхода элементов из строя. Например, пружины выходят из строя по причине усталостного износа, зубчатые колеса – усталостное выкрашивание или абразивный износ, валы усталостный износ в результате действия ациклических нагрузок.

Были выделены конструктивные и технологические факторы, оказывающие влияние на надежность элементов. Также определено взаимовлияние элементов механических систем и установлены причины выхода из строя элементов. Установлены пределы допусков и посадок при которых происходят отказы. Но при этом следует иметь ввиду, что эти виды отказов не являются характерными для всего многообразия изделий. Более удобно учитывать виды повреждений и возникающие при этом последствия.

8. Повышение надежности.

Знание параметров надежности и влияющих на нее факторов облегчает поиск мероприятий, направленных на ее повышение. Различают предупредительные (активные) и последующие (пассивные) мероприятия, в зависимости от места и фазы конструкторской подготовки производства, или на этапах исследований, разработки, изготовления, испытаний, эксплуатации, технического обслуживания. При этом учитывают условия изготовления, условия эксплуатации, внутренние и внешние нагрузки.

1. Мероприятия учитывающие срок службы изделий

Надежность прибора тем выше, чем меньше срок его службы. Но мы не можем снижать срок службы приборов. Одним из направлений, которое может предложить конструктор, является сокращение времени выполнения функций его подсистемами элементами, без снижения их срока службы.

Правило 1. Выбирать для систем, подсистем и элементов минимально необходимое время выполнения операций. Если по истечению этого времени операция не выполняется, то происходит ее отключение.

Например, отключение периферийных устройств компьютера, ламп освещения и др. Иногда это приводит к сохранности элементов, поскольку рабочая нагрузка значительно выше той, которую воспринимает элемент при переходе на ждущий режим

Правило 1а. Учитывать режим включения выключения, поскольку в переходных режимах перегрузки могут быть достаточно существенными и снижать надежность. Поэтому следует использовать непрерывный режим работы, но при снижении нагрузки.

2 Мероприятия, учитывающие фазу эксплуатации изделия.

В зависимости от нахождения в зоне кривой износа изделий.

2.1. Мероприятия, проводимые в фазе прирабочных отказов

Целью этих мероприятий является снижение интенсивности отказов в основном в течение приработки и опробования изделий. Для этого используются два правила.

Правило 2. Своевременно и более полно предотвращать прирабочные отказы.

В ТУ на испытания должны быть включены пункты, предусматривающие испытания отдельных элементов в функционирующих узлах прибора.

Появление отказов следует определять в узлах прибора до их установки в прибор.

Протоколировать случившиеся отказы с целью определения возможного времени их появления.

Учитывать погрешности сборки приборов, которые могут возникнуть при нарушении технологии сборки.

При испытаниях на износ, при выявлении отказов, следует проводить до и после появления отказов.

Примечание 1 Особенно благоприятные условия при наработке на отказ имеются в случае модульного проектирования. При наработке на отказ желательно испытывать несколько вариантов изделий.

Примечание 2. Особый интерес представляет математическое ожидание $E(t)$ времени прекращения прирабочных отказов, которые оп-

ределяются преимущественно с помощью гистограмм отказов, отражающей изменение интенсивности отказов во времени.

Интенсивность отказов в процессе приработки можно определить по формуле

$$\lambda = \lambda_0 + \lambda^{-t/E}$$

Так как вероятность того, что E представляет собой время появления прирабочных отказов, равно 63% в качестве ориентировочного значения для полного времени прекращения этих отказов можно принять:

$$T = (3 \dots 5)E.$$

Примечание 3 При изготовлении опытных образцов случается появление ошибок в чертежах и документации. Опытные рабочие их устраняют, но это нужно протоколировать.

Примечание 4. Иногда приборы изготавливают в одном или нескольких экземплярах с целью проверки его функционирования и затем разбирают. Этого не следует делать сразу, желательно проверить надежность отдельных узлов прибора и чем раньше это будет сделано тем лучше.

2.2. Мероприятия проводимые в фазе постоянной интенсивности отказов

Моменты отказов в этой фазе имеют чисто случайный характер и интенсивность отказов имеет постоянное минимальное значение, поэтому никаких мероприятий по повышению надежности здесь не проводят. Желательно использовать системы прошедшие стадию приработки, чтобы исключить отказы. Полезно также проводить инспекцию узлов прибора и собирать информацию об отказах, чтобы использовать результаты в дальнейшем.

2.3. Мероприятия проводимые в фазе старения

Несмотря на использование конструктивных элементов, имеющих максимальный срок службы, который все равно имеет свою величину, используют следующее правило:

Правило 3. Явления старения или износа могут быть предотвращены или отсрочены с помощью компенсации. Удлинение срока службы может быть достигнуто с помощью технического обслуживания, т.е. ремонта и ухода.

Примечание 1. Компенсация может быть получена с помощью регулирования или управления. Регулирование производится за счет взаимной компенсации элементов и характеристик, например, в усилителе изменяет выходной сигнал, пороговое значение срабатывания триггерного каскада изменяется. Пружинное устройство для устранения зазора в подшипнике

Примечание 2. Техническое обслуживание может быть корректирующим (поддержание определенного уровня сигнала) и предупреждающим. Для механических систем лучше проводить предупреждающие мероприятия. Проводить профилактический осмотр, заменять детали годные, но отслужившие свой срок. Это является эффективным средством повышения надежности.

3. Мероприятия по повышению надежности, учитывающие условия эксплуатации

3.1 Мероприятия проводимые с учетом внутренних условий эксплуатации

Эти мероприятия проводятся прежде всего с концептуальным строением прибора. Какой технический принцип обеспечивает большую надежность. Именно это является основой совершенствования прибора для повышения надежности Второе направление связано с числом элементов, реализующим технические принципы.

Надежность прибора зависит от числа элементов, поэтому чем больше элементов, тем ниже надежность, несмотря на то, что технический принцип заложен оптимальный. Может случиться так, что технический принцип уступает оптимальному, но число элементов для его реализации мало, следовательно, надежность повышается.

В данном случае речь идет об оптимальной концепции прибора в отношении его физико – технического принципа.

Правило 4. Конструировать следует надежно в соответствии с правилами конструкторской подготовки производства. При этом следует учитывать четкую формулировку задачи, отсутствие многофункциональности, точное разделение обязательных и необязательных требований.

В процессе конструкторской подготовки необходимо точное определение функций на верхнем уровне абстрагирования и разделение системы на подсистемы подчиненные друг другу.

Поиск самых простых структур.

Определение нескольких принципов действия и их оценка, оптимизация и т.п. в соответствии с фазами и стадиями проектирования

Правило 5 Для повышения надежности использовать структурное резервирование в форме нагруженного и ненагруженного резерва, если расходы, связанные с этим приемлемы.

Это могут быть сдвоенные контакты, две сигнальные лампочки, резервный аккумулятор.

Это фундаментальное правило конструирования и используется во многих случаях

Важно в механических системах не допускать **бесполезного резервирования**, когда несколько элементов выполняют одну и ту же функцию. Это возможно, но только когда они не мешают друг другу и работают раздельно. Когда они работают вместе, то создается неопределенность, кто из них работоспособен, а кто нет, это снижает надежность.

Правило 6 Предотвращать бесполезно резервирование.

Правило 7. Применять принцип разделения функций, речь идет о исключении взаимовлияния элементов, выполняющих одновременно две или более функции. Это повышает требования к повышению точности изготовления деталей и их удорожанию. Лучше разделять частные функции.

Правило 8. Применять принцип создания конструкций с минимальными погрешностями. Инноцентные и инвариантные структуры, не реагирующие на внутренние и внешние возмущения. Такие системы являются идеальными с точки зрения обеспечения точности и надежности.

Дополнительные мероприятия сведены в следующее правило.

Правило 9. Обеспечить удобство технического обслуживания за счет легкого доступа и высокой ремонтпригодности узлов чувствительных к возмущающим воздействиям и быстро изнашиваемым.

Избегать излишней плотности установки элементов и ражки деформаций.

3.2 Мероприятия учитывающие внешние условия

К ним относятся все факторы внешней среды.

Правило 10 Учитывать технические, физические, климатические, биологические условия действующие при эксплуатации прибора.

Не стоит создавать универсальных приборов.

Обеспечивать защиту приборов от основных воздействий окружающей среды, например экранирование, демпфирование, уплотнение, обработку от коррозии и др.

Простое обслуживание.

3.3 Мероприятия по повышению надежности учитывающие нагрузки

Рассмотрим графики изменения интенсивности отказов в зависимости от нагрузки и работоспособности элементов. Как видно из него область отказов тем меньше, чем меньше колебания нагрузки и чем больше запас прочности элементов и чем меньше рассеивание обеих кривых распределения.

Рассеивание значения работоспособности элементов определяется качеством его изготовления, рассеивание значений нагрузки – условиями окружающей среды и эксплуатации, а также принципом действия прибора, с помощью которого эта нагрузка может быть ограничена. Поэтому.

Правило 11. Для повышения надежности нужно использовать:

- завышение размеров для увеличения запаса прочности по нагрузке;
- ограничение колебаний нагрузки;
- ограничение колебаний нагрузки за счет конструкторско - технологических мероприятий.

Но следует иметь в виду, что недогрузка также может негативно сказаться на работоспособности, например, недогруз гидростатических опор приведет к их преждевременному износу.

Правило 11 следует применять когда известен принципиальный характер повреждения. Это позволит назначить размеры деталей исходя из срока службы. При этом следует учитывать эффект аккумуляирования усталостных повреждений, появляющихся при повреждениях связанных с динамическими нагрузками.

Для предварительного определения срока службы необходимо знать все влияющие на него факторы, а именно нагрузку и условия эксплуатации и окружающей среды.

Через определенное время происходит ослабление стыков, резьбовых соединений, посадок, что приводит к отказам. Теоретически определить срок службы изделий в настоящее время проблематично. Поэтому используют различные виды испытаний в том числе испытания на отказ до полного разрушения, что конечно не всегда оправдано.

4. Определение параметров надежности приборов

Приведенные ниже правила позволяют проектировать приборы с высокой надежностью, но не позволяют определить фактическую надежность. Особенно это касается механических систем. Поэтому наряду с математическим моделированием применяют инженерно технические и экспериментальные методы расчета параметров надежности.

Инженерно – технические методы.

Для обеспечения надежности используются логические методы, позволяющие рассматривать причины отказов по мере их развития в процессе эксплуатации прибора.

Метод дерева погрешностей Древовидная разветвленная структура, предусматривает рассмотрение вероятностей отказов отдельных элементов. Сложение вероятностей позволяет определить суммарную вероятность отказов и выявлять слабые звенья.

Техническое диагностирование. С помощью изменения параметров элементов производится оценка повреждений и ожидаемый срок службы (изменяются зазоры и натяги изменяется шум подшипников) Диагностиче-

ские испытания проводятся также с целью определения слабых мест в конструкции и определения потенциально ненадежных элементов.

Технический анализ причин отказов представляет выяснение причин вышедших из строя изделий, устанавливают последовательность выхода из строя элементов и определяют связь с технологией изготовления, приводящей к отказу.

Метод контрольных таблиц. Разрабатывается программа обеспечения надежности изделия, начиная от его разработки до эксплуатации. Применяются теоретические методы.

Экспериментальные методы

Эксплуатационные испытания. При номинальной нагрузке исследуют действие наибольшего количества факторов с целью определения параметров надежности.

Ускоренные испытания. Увеличивают нагрузки до предельных или выше и производят испытания. Сокращают время приработочных испытаний.

Испытания под напряжением проводят при нагрузках близких к предельным для выявления слабых мест и причин отказов.

При проведении исследований следует использовать комбинацию методов и планировать проведение исследований. Несмотря на то, что время на исследование надежности сокращается, расходы на исследования растут и поэтому экспериментальные исследования пока остаются актуальными.

Лекция №15

Расчет и конструирование деталей механизмов

1 Требования предъявляемые к механизмам приборов

В каждом конкретном случае механизмы проектируются с учетом специфики прибора и поэтому и поэтому требования не всегда совпадают. Поэтому требования формируются до начала проектирования в виде задания с указанием основных параметров механизма и ТУ его эксплуатации.

Основными требованиями являются:

- точность выполнения заданных функций;
- надежность и безотказность работы;
- удобство, простота и безопасность обслуживания;
- минимальное количество звеньев и кинематических пар;
- бесшумность и плавность работы;
- уравновешенность и виброустойчивость;
- долговечность;
- высокий к.п.д;
- экономичность изготовления и эксплуатации;
- простота сборки и ремонта;
- минимальная затрата материалов;
- малые масса и габариты;
- широкое применение стандартных деталей и узлов;
- взаимозаменяемость;
- высокая технологичность;
- минимальная трудоемкость и стоимость изготовления;
- современная эстетическая отделка и оформление.

Кроме этого предъявляются специальные требования: высокая чувствительность, безинерционность, защищенность от внешних условий.

2. Общие замечания по расчету и конструированию деталей механизмов

Геометрическая форма и размеры деталей определяются: ее назначением и взаимодействием с другими деталями, взаимным расположением, нагрузками, деформациями, условиями эксплуатации, сборкой и ремонтом.

При расчете делаются допущения и используются эмпирические формулы для расчета.

Прочность по допускаемым напряжениям контактным и кручения.

Расчет напряжений ведется в определенной последовательности:

1. Определяются нагрузки;
2. Выявляются виды деформации и распределение напряжений, опасные сечения.
3. Выбирается материал.

4. Определяются действующие напряжения по формулам сопротивления материалов.

3. Выбор материалов деталей механизмов

Выбор материалов для изготовления деталей приборов должен производиться обоснованно с учетом его свойств физических, химических, технологических свойств, а также экономически обоснованных методов обработки и требований по эксплуатации.

Эксплуатационные требования к материалу определяются функциональным назначением и условиями работы деталей в механизме:

- прочность, характеризуемая пределами выносливости, текучести;
- жесткость;
- податливость;
- ударная вязкость;
- износостойкость, зависящая от твердости по Бринеллю или Роквеллу;
- антифрикционность;
- коррозионная стойкость;
- плотность;
- специальные требования, коэф. линейного расширения, электропроводность, магнитные свойства и др.

При создании изделий с минимальной массой важное значение имеет материал. Основные характеристики удельная прочность при растяжении, кручении, изгибе, удельная выносливость, удельная жесткость, это есть отношение соответствующей величины к удельному весу.

Технологические требования выражающиеся в литейных свойствах, пластичности, термообработке, свариваемости, образования прочного поверхностного слоя.

Экономические требования, стоимость материала и его обработка.

Тип производства и технология определяют вид материала.

В приборостроении применяют сталь, чугун, сплавы цветных металлов, металлокерамику, композиты и различные неметаллические материалы.

4. Способы упрочнения деталей

Нормализация;
Улучшение;
Азотирование;
Цианирование; (азот + углерод)
Цементация;
Поверхностно пластическое деформирование.

5. Защитные и декоративные покрытия

От коррозии и придания эстетического вида.

Гальванические покрытия:

- цинкование;
- кадмирование;
- омеднение;
- никелирование;
- хромирование.

Химические покрытия.

- 1) Металлические - никелирование, серебрение, золочение.
- 2) Неорганические - защитные пленки, оксидирование, фосфатирование, хроматирование и пассивирование
- 3) Анодизационные покрытия (анодное оксидирование)
- 4) Лакокрасочные покрытия.

Назначают с учетом комплекса эксплуатационных, технологических и экономических требований.

6. Технологичность и экономичность конструкции

Технологичность конструкции это совокупность свойств изделия проявляемых в оптимальных затратах на изготовление, эксплуатацию, ремонт, обслуживание при заданном качестве изготовления.

К условиям изготовления относятся тип производства, повторяемость выпуска, применяемые технологические процессы.

Для обеспечения высокой технологичности конструкции необходимо чтобы материал, форма и размеры детали удовлетворяли требованиям изготовления, сборки и ремонта.

Характеристики типов производства.

Требования к механически обрабатываемым деталям.

Требования к литым деталям.

Требования к кованным и штампованным деталям.

Прессование деталей из пластмасс.

Лекция № 16

Методы и этапы проектирования приборов и систем

1. Современная методика проектирования

Конструкторам принадлежит главный творческий вклад в создание материальных ценностей и особенно тех, от которых зависит технический прогресс и развитие страны в целом

Исторически проектирование складывалось из принятия решений, преобразования и отображения модели. Все развитие шло по пути преобразования и отображения моделей, принятие решений не являлось предметом рассмотрения, поскольку это относилось к индивидуальной сфере деятельности. Все, что связано с индивидуальной деятельностью, можно считать искусством, потому, что творение не подлежит никаким законам и это связано только с особенностями личности.

Подготовка проекта и конструкторской документации это коллективный труд и он организован по определенным правилам, согласно ЕСКД. Поэтому проектирование есть искусство и научная организация труда проектировщика с использованием научных методов проектирования.

Если считать основными процедурами проектирования принятие решений, преобразование и отображение модели объекта, то весь предшествующий период был связан с развитием принятия решений и подготовкой конструкторской документации. Что касается методов принятия решений, то этот этап разработан в меньшей степени, чем последний. Для пра-

вильного решения творческих задач кроме знаний нужны творческие способности, воображение и интуиция. Но опыт последних лет показывает, что все больше операций проектировании переходит в разряд формализованных, выполняемых по отдельным алгоритмам.

Обратимся к фундаментальным исследованиям в области теории механизмов акад. И.И. Артаболовского, который рассматривает проектирование как комплексную операцию. Данную операцию он разбивает на ряд этапов.

Первый – установление основной кинематической схемы механизма, отвечающее виду и закону движения.

Второй этап, разработка конструктивной формы механизма, обеспечивающего его прочность, долговечность, высокий к.п.д. и др.

Третий этап связан с достижением технологических и технико – экономических показателей проектируемого механизма в производстве, эксплуатации и ремонте.

Теория механизмов и приборов берет на себя методы с помощью которых может быть разработана кинематическая схема механизма прибора, воспроизводящая требуемый закон движения. При этом в качестве второго и третьего этапов учитывается возможность изготовления деталей и их сборка

Общая задача синтеза механизмов сводится к следующему:

Задан закон движения ведущего и ведомого звена в виде функции положения или передаточного отношения. Необходимо подобрать механизмы преобразующие движение ведущего звена в движение ведомого.

Все это возможно на стадии эскизного и технического проектирования, но что касается технического предложения и технического задания, то эти этапы требуют своего подхода и выходят за рамки курса теории механизмов и приборов.

Развитие техники столкнулось с рядом противоречий.

Первое из них заключается в преобладании темпа роста сложности технических систем (ТС) над развитием методов их проектирования

Возрастание сложности ТС проявляется в увеличении количества входящих в нее подсистем и в среднем число элементов и систем удваивается через каждые 15 лет.

Растет разделение труда и число специалистов, разрабатывающих ТС.

Осложняется согласование действий, теряется представление о разрабатываемой ТС как о едином целом. ТС оказывается малоэффективной или неработоспособной, несмотря на высокие показатели ее подсистем и элементов

Второе противоречие проявляется во взаимодействии факторов продолжительности разработки и срока морального старения. Не успеет изделие пройти срок внедрения или реализации и вскоре наступает моральное старение. С увеличением сложности систем увеличивается время проектирования, а время до морального износа сокращается ввиду ускоренного развития научного прогресса.

Устранить указанное противоречие возможно путем увеличения производительности труда в проектировании, используя перспективные технические решения. В последнее столетие производительность труда в проектировании возросла на 30%, а в производстве на 1000%. Поэтому практика настоятельно требует совершенствования методов проектирования.

Поиск перспективных технических решений в условиях традиционных методов и средств проектирования осложняется из – за постоянного роста объемов научно – технической информации, увеличивающейся в два раза каждые 5 лет.

Дополнительно к этому остро ощущается дефицит конструкторов.

2. Этапы становления современной техники

В развитии техники сейчас наблюдается разработка аппаратуры управления производственными машинами, бытовой техникой и технологическими процессами в целом. Прослеживается взаимосвязь технического творчества, стандартизации и экономики конструирования. Техническое творчество и стандартизация дополняют друг друга и являются составными частями единого процесса, поскольку, используя новые технические решения, все положительные моменты и преимественность сохраняются и закрепляются стандартами. Это приводит к сокращению сроков проектирования и повышению качества продукции, что повышает экономичность труда проектировщиков.

Стандартные решения составляют основу формализации инженерных задач и применения методов компьютерного проектирования.

Современная наука о проектировании ТС базируется на:

- научно – техническом творчестве;
- стандартизации;
- экономике проектирования.

Научно – техническое творчество, связанное с методами поиска новых технических решений можно условно разделить на две группы:

1. Эвристические методы.
2. Методы поискового конструирования.

Первые методы развивались на основе опыта разработчиков и компьютерной поддержки не требовали.

Вторые, наоборот, без компьютеров обходиться не могут, потому что представить сложную систему в голове человек не в состоянии, особенно системы работающие на основе новых физических эффектов, затруднительных для мысленного моделирования.

Число подобных задач растет и поисковые методы проектирования выделяются в особую группу, которая активно развивается.

3. Методы автоматизированного конструирования

Задачи конструирования приборов, представляющих собой специальный класс объектов машиностроения весьма многообразны. Решение этих задач тесно переплетается с выполнением других проектных работ, которые характеризуются значительной трудоемкостью и необходимостью применения методов, отличных от методов решения расчетных задач. Автоматизация конструирования приборов, в свою очередь, вызывает ряд проблем, которые необходимо учитывать при разработке САПР.

Особенностями автоматизированного конструирования приборов является применение графической формы представления проектной информации. К числу таких задач необходимо отнести определение взаимного расположения и формы узлов и деталей, характерное для начальных этапов проектирования. Однако при переходе к автоматизированному конструированию возникают существенные трудности формального представления и автоматического преобразования графической информации.

На взаимное расположение поверхностей накладывается большое количество ограничений, накладываемое на взаимное расположение поверхностей. Одно дело это выполнять традиционными методами, другое

дело с помощью компьютера, когда расположение поверхностей связано с кодированием и определением координат каждой характерной точки изображения. Трудности характерны также при решении задач целенаправленного преобразования графической информации заданной в цифровой форме.

Основная трудность, которая существует при создании конструкций приборов, заключается в отсутствии четко выраженных соответствий между функциями конструкции, задаваемыми входными требованиями и конструктивными элементами, реализующими эти функции. Это заставило разработчиков искать компромиссные пути решения проблем автоматизации конструирования, основным из которых является широкое привлечение диалоговых способов ведения конструкторских работ, когда конструктор выполняет привычные для него функции. Компьютер используется для хранения больших объемов информации, выполнения расчетных операций, быстрого и точного представления данных по запросам конструктора, который использует их для принятия проектных решений.

Следующей особенностью конструирования является их относительно большой объем в сравнении с расчетными задачами. Например, трудоемкость проработки конструкции различных приборов и традиционного выполнения рабочих чертежей может быть в пять-десять раз выше, чем трудоемкость расчетных операций.

Чрезвычайно высока доля операций по преобразованию и представлению графической информации носящей нетворческий характер. Если на поиск решения уходит 10% времени, то все остальное время приходится тратить на представление найденного решения в виде чертежей и графиков, спецификаций и прочее.

Нетворческий характер работы конструктора связан с появлением ошибок, которые обнаруживаются только в процессе изготовления опытных образцов. Их трудно исправлять по всей документации сразу. Это накладывает особые требования к разработке программного обеспечения. Кроме этого изменение нормативных требований усложняет автоматизацию подготовки конструкторской документации.

Но эти трудности не являются условием для отказа от автоматизации подготовки конструкторской документации. В настоящее время значительно возросли возможности компьютеров и периферийных устройств,

улучшилось системное программное обеспечение, что делает эту работу вполне разрешимой.

Все это является необходимой предпосылкой для построения прикладного ПО, предназначенного для получения графических документов, применительно к каждому классу приборов.

На первом этапе автоматизации проводится анализ основных конструктивных схем данного класса приборов, необходимых графических изображений и конструкторских работ с графическими данными. Это позволяет выделить набор типовых геометрических элементов и требуемых способов их объединения и преобразования. Затем на основе полученных данных выбирается базовая графическая система, разрабатывается комплекс прикладных программ и базы данных, необходимые для всей совокупности конструкторских задач. Структурная схема графической системы показана на рис. 1

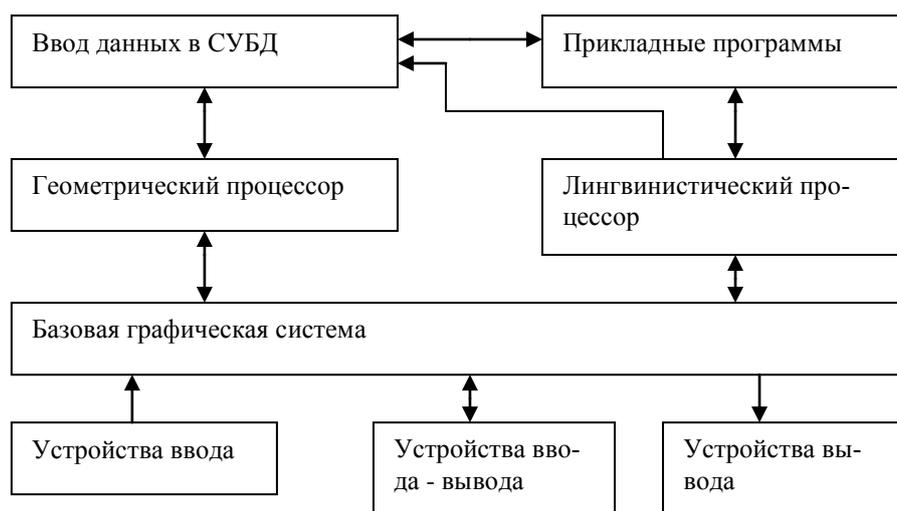


Рис. 1 Структурная схема графической системы.

Функции обработки запросов пользователей, содержатся в прикладных программах, которые обрабатываются лингвистическим процессором, который преобразует описания геометрии объектов в принятую форму. Преобразование геометрической информации выполняется геометрическим процессором, который включает программы выполнения таких операций как построение проекций, сечений, разрезов, удаление невиди-

мых линий, при построении проекций, формирование структур данных принятых в системе.

Конструирование представляет неотъемлемую часть проектирования в целом. Конструкторские задачи решаются в процессе всего проектирования прибора: на начальных этапах определяется компоновочная схема прибора и проводятся предварительные конструкторские расчеты, в дальнейшем конструкция может уточняться и детализироваться по результатам параметрической оптимизации и на завершающем этапе рассчитываются допуски на параметры, размерные цепи, выпускается необходимая документация.

Поскольку конструирование производится на основе предварительных расчетов, то в процессе работы устройство уточняется и поэтому требуются проверочные расчеты, которые затем и проводятся. Это и есть единый взаимосвязанный процесс проектирования.

Связи конструирования прибора с другими этапами проектирования могут различаться в зависимости от особенностей класса прибора. Так, например, конструкции приборов общепромышленного применения отработывались в течение длительного времени. Поэтому конструктор может получить чертежи отдельных узлов и конструкции в целом из архива готовых изделий.

Многообразие конструкций приборов специального назначения делают невозможным ориентацию на некоторую типовую конструкцию всего устройства в целом и его отдельных элементов. Конструкция формируется с учетом большого числа разнообразных факторов, среди которых: габаритные размеры, масса, точность отсчета, применяемые комплектующие изделия, используемые способы защиты от вредных воздействий, вибраций, температур, загрязнений и др.. Расчеты носят характер проверки ранее сформированной конструкции.

Структура типовой процедуры автоматизированного конструирования, объединяющей расчеты и графические построения, приведена на рис. 2.

Построение и коррекция геометрической модели объекта производятся на различных этапах проектирования. В этих условиях необходим внешний накопитель информации. В нем могут храниться наброски, эскизы и чертежи. Они играют тройную роль: первое как объект творческой

работы, второе как исходные данные для дальнейшего проектирования, третье как основа оформления конструкторской документации.

Поэтому рассмотрим более подробно построение геометрических моделей приборов.

4. Методы формирования геометрических моделей приборов

В процессе автоматизированного конструирования пользователи оперируют с различными геометрическими моделями приборов, которые отличаются степенью детализации, способами описания и представления в памяти компьютера. Геометрическая модель представляет собой математическое описание объекта, как правило в трехмерном пространстве, определенное в терминах аналитической геометрии или при помощи некоторой

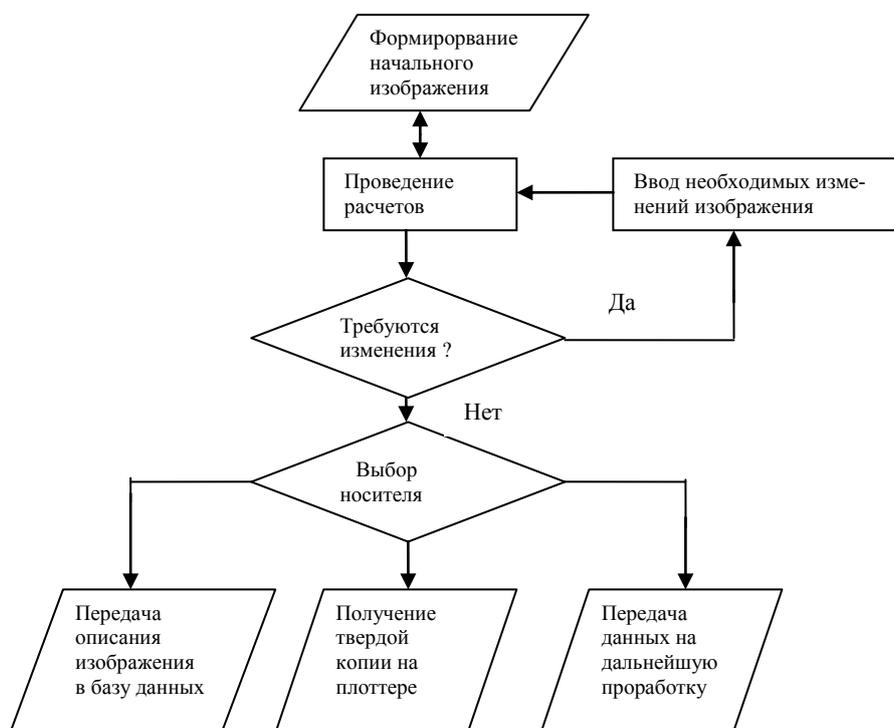


Рис. 2 Структура типовой процедуры автоматизированного конструирования

структуры данных и соответствующих алгоритмов получения изображений. Эти модели отражаются на экранах компьютеров в виде изображений на плоскости.

Конструкцию прибора можно представить как совокупность узлов и деталей, имеющих жестко определенные функциональные и пространственные связи. Функциональные взаимосвязи удобно изображать в виде древовидной структуры, которая может быть получена из более общей структуры. При этом элементарными компонентами конструкции могут быть детали, например валы, зубчатые колеса, подшипниковые узлы, корпусные детали, детали крепления или отдельные их элементы (поверхности установки элементов, поверхности крепления, устройства переключения и др).

Степень разбиения конструкции зависит от вида решаемых задач конструирования и выбранных способов формирования изображения основных узлов и деталей. Если конструктор проводит начальную компоновку прибора, то ему достаточно иметь схематичные изображения основных узлов и деталей и возможность их частично изменять и объединять. В случае изготовления деталировки требуется наиболее детальное графическое изображение. При этом изображения могут подвергнуться различной декомпозиции в зависимости от степени унификации и стандартизации.

Предельно подробная декомпозиция не утраивает конструктора, если например изображение формируется из отдельных линий, окружностей и других типовых линий.

Другим крайним случаем является конструирование с использованием готовых узлов или деталей прибора. Разнообразие деталей и узлов будет перегружать память компьютера и их использование не будет столь частым, поскольку приборы также разнообразны.

Между этими крайними подходами и находится проблема рационального разделения конструкции. Для решения этой проблемы необходим системный анализ конструкции прибора, который выделил бы образующие ее элементы, а также основные операции по формированию и преобразованию графических изображений.

Лекция № 17

Постановка задач проектирования

Применение компьютерной техники и математических методов при проектировании сложных технических систем возможно только в том слу-

чае, если имеется их адекватные математические модели. Разработка мат. моделей творческая задача, при решении которой необходимо использовать знания и опыт, накопленные современной математикой, механикой, физикой, материаловедением и др. науками.

Возможность построения иерархических моделей имеет важнейшее значение в процессе автоматизированного проектирования и создания САПР. Каждому этапу проектирования можно сопоставить свою модель объекта и тем самым упростить процесс проектирования.

В математической модели проектируемого объекта выделяют структурно - параметрическое описание объекта и функциональное описание. Это означает, что математическая модель состоит из двух частей, описания набора проектных параметров и модели функционирования.

1. Структурно параметрическое описание объекта проектирования

Понимается такое его описание, которое показывает, из каких подсистем, блоков, узлов и деталей состоит данный объект, как эти компоненты соединены и взаимодействуют между собой, каковы их вес и габариты и т.п. Структурно -параметрическое описание должно задавать возможность генерировать множество альтернатив объекта, быть достаточно подробным, соответствовать определенному этапу проектирования и обеспечивать информацией функциональную модель. Такое деление условно, но оно позволяет сформировать группы специалистов для решения

Для сложных объектов проектирования предложены различные методы структурно – параметрического описания, например, иерархическое описание объекта систематического покрытия поля, отрицания и конструирования, морфологического ящика, комбинаторного файла и др.

Рассмотрим модели иерархической системы проектирования, которая наиболее адекватно описывает ОП. При этом структурно – параметрическая модель описывается И/ИЛИ графом.

И/ИЛИ граф представляет собой множество вершин, которые разбиты на два класса. И – вершины, изображаются в виде кругов, ИЛИ – вершины в виде квадратов.

Каждая И – вершина интерпретируется как подсистема ОП определенного уровня иерархии. ИЛИ – вершины соответствуют альтернативным

внутренним структурам подсистем. Например, прибор для измерения температуры состоит из отсчетного устройства, преобразователя, регистрирующего и передающего устройства. Прибор для измерения скорости состоит из тех же самых функциональных устройств. Методика проектирования на данном уровне будет заключаться в подборе подсистем и формировании заданных функций прибора.

Переходы от ИЛИ – вершины к И – вершинам называют операцией «*раскрытия*» ИЛИ вершины. В задачах проектирования ИЛИ – вершины графа соответствуют операторам разбиения подсистем различного уровня иерархии, а выбор или раскрытие оператора ИЛИ - это проработка внутренней структуры ОП.

Прибор для измерения температуры

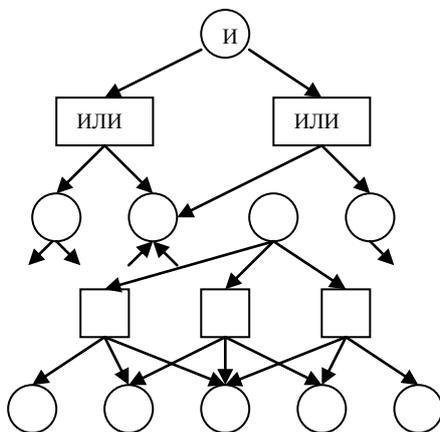


Рис. 1 Структурно параметрический И/ИЛИ граф

Структурное и параметрическое описание накладываются друг на друга. И-вершина может быть в виде линейки из И – подвершин. Переходы осуществляются на основе дезагрегирования, детализации параметрического описания соответствующей подсистемы ОП.

Линейную структуру имеют ИЛИ – вершины. Это различные уровни, подсистемы. Эти вершины могут быть не связаны

Структурно параметрический И/ИЛИ граф содержит иерархию описаний ОП, порождаемую введением уровней структурного и параметрического описаний.

На структуру и параметры накладываются ограничения.

Это описание отвечает главной задаче проектирования – декомпозиции проектирования, включающую уровневую декомпозицию и этапную декомпозицию.

В данном случае требуется развитие методов графовой оптимизации и применение методов искусственного интеллекта, связывающих правила раскрытия вершин графа и экспертная оценка

2. Модели функционирования объектов проектирования

Полный набор моделей функционирования технических систем, которые используются при проектировании, достаточно велик. Рассмотрим модели только одного класса на примере которого проиллюстрируем принятие проектных решений.. Это модели функционирования управляемых динамических систем, описываемых обыкновенными дифференциальными уравнениями. Описание приборных систем адекватно отражается при использовании мат моделей данного типа.

При разработке математических моделей функционирования проектируемых объектов первоначально их представляют в виде динамических систем.

Динамическая система S представляется в виде множеств и функций

1. Множества T – множества времени t ; Z – состояния z ; W – мгновенные значения входных воздействий w ; Ω – допустимый вектор входных воздействий; $T - W$

Y – мгновенных значений выходных сообщений y ; Γ – допустимых входных сообщений γ ; $T - Y$.

При этом T (множества времени) есть упорядоченное подмножество множества вещественных чисел;

Формально описанную динамическую систему обозначают так:

$$S = (X, N, Z, W, \Omega, Y, \Gamma, \varphi, \eta) \quad (1)$$

Функции φ и η называют операторами функционирования системы S .

φ – это переходная функция;

η – выходное отображение

Ω - входные воздействия, которые можно подразделить на контролируемые u и неконтролируемые μ . Поэтому вектор входных воздействий есть некоторое множество функций $\omega = (u; \mu)$ отображающих T и W .

Это есть общий подход к моделированию, выделения единства и разнообразий приложений. Для получения практически полезных выводов на объекты входящие в 1 накладываются дополнительные требования. Так получаем системы стационарные, с непрерывным и дискретным временем, конечным (автоматам), линейным, гладким и т.д.

Первоначально возьмем системы без управления:

$$z = f(t, z, x) \quad (2)$$

где z – вектор фазовых переменных (состояний) t – время, x – набор проектных параметров. Множество значений x , соответствует технически реализуемым объектам, описывается при разработке структурно – параметрической модели объекта проектирования.

Если задать начальное условие $z(t_0) = z_0$ и предположить, что функция обладает определенными свойствами, то на интервале $[t_0, \infty]$ существует единственное решение дифференциального уравнения.

Говоря о дифференциальных уравнениях, считается, что всегда выполняемы стандартные условия существования, единственности и бесконечной продолжимости решений

Кроме связи 2 в моделях без управления обычно существуют фазовые ограничения

z принадлежит $Z(x)$ выполнение которых следует обеспечить за счет выбора параметров x для любого решения уравнения.

3. Общая постановка задач проектирования

Постановка задач проектирования осуществляется в несколько этапов, как показано на рис. 2.

Универсальных рецептов построения моделей нет. Есть общие принципы, на которых базируется САПР это инвариантность математического и программного обеспечения.

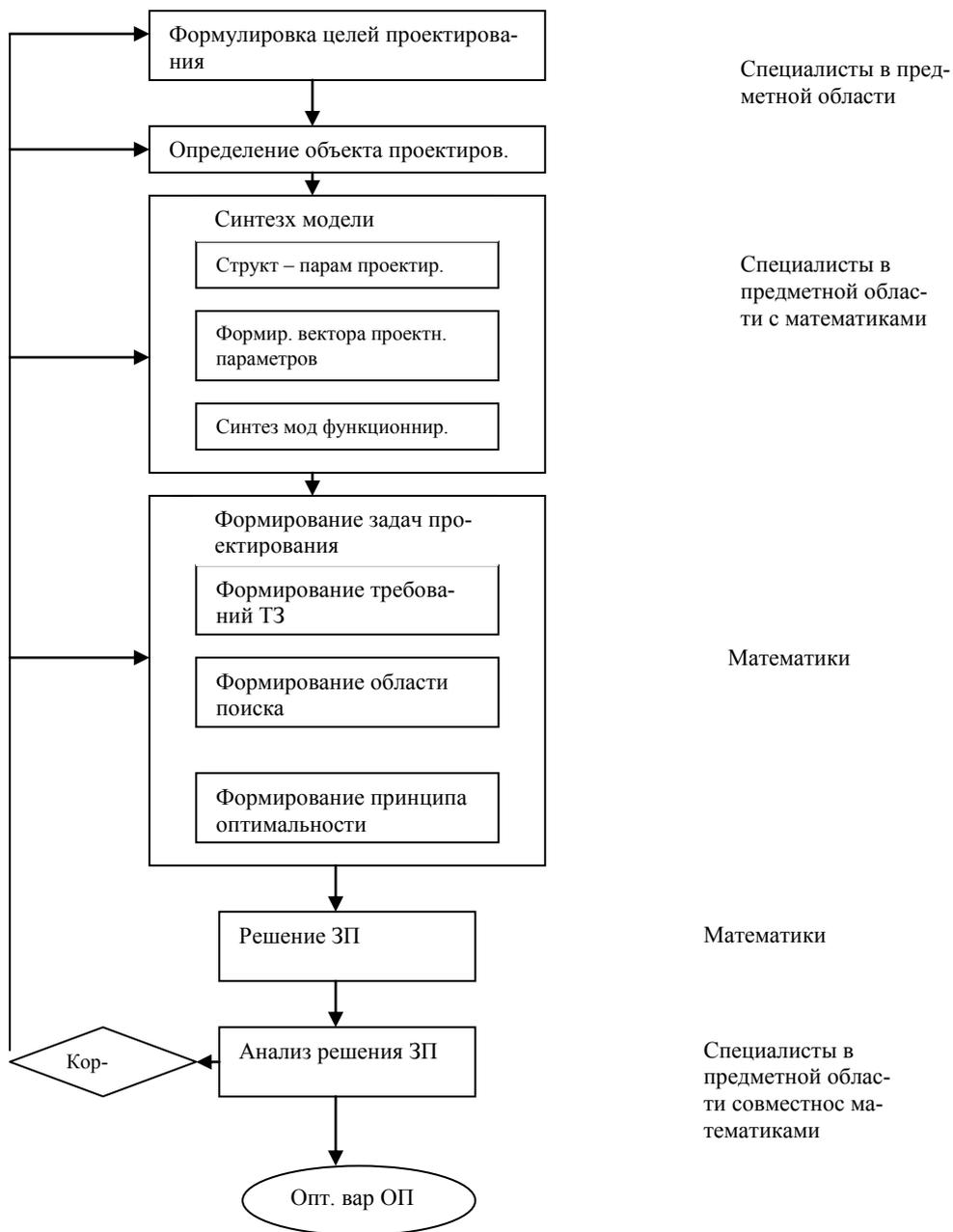


Рис.1 Этапы проектирования

Строгая математическая постановка задачи проектирования заключается в следующем:

Варианты технической системы описываются набором параметров x из множества X . Если они точно описывают систему на этапе проектиро-

вания, то их называют проектными. X выделяется на основе опыта проектирования подобных систем с учетом ограничений.

Используя модели функционирования можно анализировать поведение альтернативного варианта системы во времени и внешней среде. Сравнение происходит попарно. Определяют более эффективную альтернативу. Задача проектирования и заключается в том, как выбрать лучшую альтернативу. Как минимум одна должна быть, т.е. множество X не пустое множество $X = I$. Это означает, что для всех x выполняется одно из соотношений x функция от y и y функция от x .

Для сложных систем это невозможно. Поэтому используют принцип декомпозиции, разбиения на подсистемы и их решение осуществляется таким же образом. Происходит решение частных задач проектирования. Их неполнота также возможна при принятии проектных решений, поскольку данные связаны с невозможностью их получения или точной оценкой.

Оглавление

1. Предмет и объект изучения дисциплины «Основы проектирования приборов и систем».....	3
2. Измерения и измерительная информация	10
3. Виды информации и ее количественная оценка	15
4. Информационные характеристики средств измерения.....	24
5. Измерительные сигналы	32
6. Представление сигналов и их модели	40
7. Функциональная структура приборов	46
8. Структуры приборов	55
9. Характеристика качества ИИП Погрешности ИИП, классификация, определение, расчет	60
10. Надежность приборов.....	69
11. Обзор принципов конструирования	76
12. Обеспечение точности приборов при конструировании	82
13. Техническая надежность приборов	88
14. Особенности отказа механических систем	95
15. Расчет и конструирование деталей механизмов	104
16. Методы и этапы проектирования приборов и систем	108
17. Постановка задач проектирования	116

