

Системный подход при проектировании, техническая
эксплуатация и обслуживание
электронных средств и автоматизированных систем

лекция 4

Билет 8

Конструирование



Конструирование

Основным **содержанием конструирования** является прогнозирование некоторой будущей структуры на основании современных данных, нахождение и отражение найденных связей между частями конструкции в конструкторской документации и внедрение её в производство и эксплуатацию.

Конструирование является частью общего процесса проектирования изделия.

При **проектировании** конструкции РЭС принимают участие подразделения:

- системо-технические (определение структуры РЭС);
- схемотехнические (разработка схемы, разбивка её на узлы);
- конструкторские (выпуск документации, сопровождение производства);
- технологические (установление последовательности изготовления, отработка режимов, подготовка производства);
- производственные.

Кроме того, в разработке принимают участие вспомогательные службы:

- надежности (рекомендации по структурной и информационной избыточности, проведение испытаний);
- снабженческие (поставка материалов, покупных изделий);
- патентные;
- автоматизированного конструкторского проектирования и т. д.

Подразделения конструкторов

Подразделения, обеспечивающие качество на стадии разработки



Конструкторские документы

Конструкторы и технологи взаимодействуют с самых ранних этапов до внедрения изделия в производство и эксплуатацию, потому что **результат конструирования** – создание комплекта конструкторской документации, предназначенной для производства РЭС.

Конструкторская документация (КД) — графические и текстовые документы, определяющие состав и устройство изделия, и содержащие необходимые данные для его разработки и изготовления, контроля, приёмки, эксплуатации, ремонта, и даже утилизации.

Стандартам **единой системы конструкторских документаций (ЕСКД)** присваивают обозначения по классификационному принципу.

Номер стандарта составляется из:

- цифры, присвоенной классу стандартов ЕСКД,
- одной цифры после точки, обозначающей классификационную группу стандартов в соответствии с табл. (см. далее),
- числа, определяющего порядковый номер стандарта в данной группе,
- двузначной цифры (после тире), указывающей год регистрации стандарта.

ЕСКД

Таблица 1.1.1

Классификационные группы стандартов в ЕСКД

Шифр группы	Содержание стандартов в группе
0	Общие положения
1	Основные положения
2	Классификация и обозначение изделий в КД
3	Общие правила выполнения чертежей
4	Правила выполнения чертежей изделий машиностроения и приборостроения
5	Правила обращения КД (учет, хранение, дублирование, внесение изменений)
6	Правила выполнения эксплуатационной и ремонтной документации
7	Правила выполнения схем
8	Правила выполнения документов строительных, судостроительных и горных дел
9	Прочие стандарты

Например, обозначение стандарта ЕСКД «ЕСКД. Схемы. Виды и типы. Общие требования к выполнению» имеет вид:

ГОСТ 2.701—84

т. е. ГОСТ — категория нормативно-технического документа (государственный стандарт), 2 — класс (стандарты ЕСКД), 7 — классификационная группа стандартов, 01 — порядковый номер стандарта в группе, 84 — год регистрации стандарта.

НИР

Разработку РЭС проводят в несколько стадий:

научно-исследовательская работа (НИР) и опытно-конструкторская (ОКР).

Цель научно-исследовательских работ состоит в определении принципиальной возможности и экономической целесообразности создания изделия с заданными техническими характеристиками.

Основные этапы проведения НИР:

- 1) предплановый патентный поиск;
- 2) разработка и согласование с заказчиком **технического задания**, государственная регистрация НИР;
- 3) подготовительный этап — выбор направлений исследования, разработка, согласование и утверждение технических заданий на основные части НИР;
- 4) основной этап — теоретические и экспериментальные исследования (выполнение теоретических изысканий, расчётов, математического моделирования), обработка результатов исследований, составление и оформление технической документации;
- 5) заключительный этап — обобщение результатов и оценка выполненной НИР (составление карты технического уровня, оценка полноты и качества проведенной НИР, подготовка к предъявлению работы к приёмке);
- 6) приёмка НИР, обсуждение и согласование задания на проведение ОКР.

ОКР

Этапы ОКР:

1. техническое задание (ТЗ)
2. техническое предложение (ТП)
3. эскизный проект (ЭП)
4. технический проект (ПТ)
5. разработка рабочей конструкторской документации (РРКД).

1. **Техническое задание** - это совокупность документов (ГОСТ 2.105-95), которые описывают этапы разработки, заводские испытания и порядок разрешения споров между разработчиками и заказчиками. ТЗ охватывает всю необходимую информацию на разработку нового изделия (но очень кратко и очень чётко).

2. **Техническое предложение** - это совокупность документов (ГОСТ 2.118-73), содержащих технико-экономические обоснования целесообразности разработки документации изделия, основанные на анализе положений ТЗ, изучении различных вариантов возможных решений изделия, а также их сравнительной оценки с учётом конструктивных и эксплуатационных особенностей.

Документация, разрабатываемая на этапе ТЗ и ТП, шифруется индексом «П» (предварительный этап).

ОКР

3. **Эскизный проект** - это совокупность документов (ГОСТ 2.119-73), которые дают общее представление о принципе работы изделия, а также определяют его назначение, основные параметры и габаритные размеры.

Цель **эскизного проектирования** - проверить и показать работоспособность идеи, сформулированной в ТЗ. На основе принципиальной электрической схемы разрабатывается макет изделия лабораторно-настольного типа.

Документации на этой стадии присваивается индекс «Э».

4. Работы **технического проектирования** должны соответствовать ГОСТ 2.110-73.

На этой стадии полностью и тщательно отрабатывается конструкция и конструкторские документы, а также изготавливаются образцы-макеты.

Шифр документов - «Т».

5. При **разработке рабочей конструкторской документации** (ГОСТ 2.102-68)

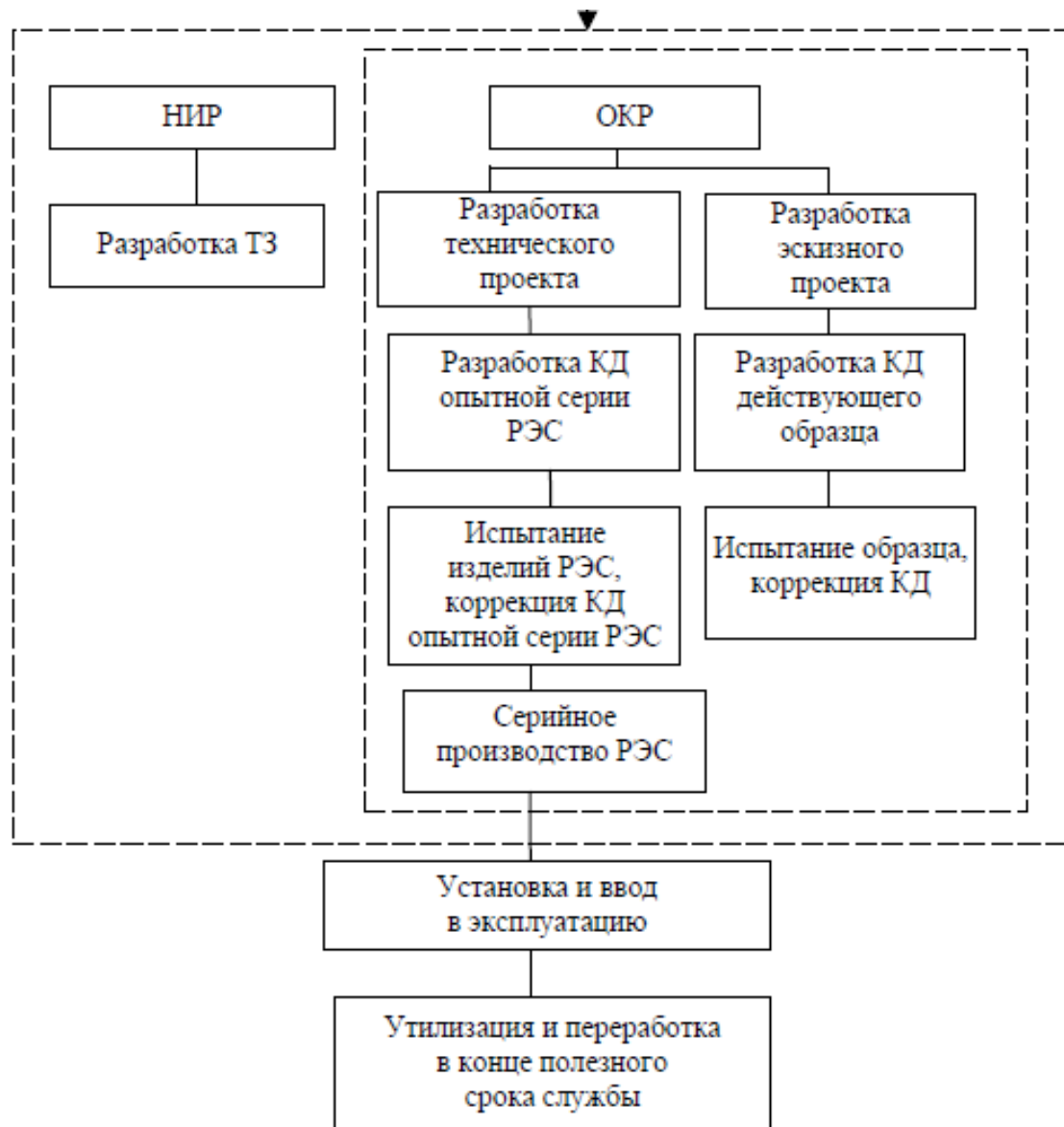
полностью разрабатывается технология изготовления всех деталей и узлов изделия в опытном производстве. В конце работ изготавливаются опытные образцы изделия (3-5 шт.).

Шифр документов - «О».

Шифры документации опытных образцов

- после заводских испытаний опытного образца КД присваивается литера «О»;
- после государственных, межведомственных, приёмочных и других видов испытаний — литера «О1»;
- на последующих стадиях (после повторных испытаний изготовленных изделий) — литеры «О2», «О3» и т. д.
- конструкторская документация на изделие для установочной серии имеет литеру «У», а после испытаний установочной серии — литеру «А».
- после корректировки документации испытательной (т.е. головной) серии изделий конструкторской документации присваивается литера «Б», что даёт право наладить серийное или массовое производство изделия.
- документации на изделие для разового изготовления или нескольких изделий присваивают литеру «И».

Общая схема работ НИР и ОКР



Методы конструирования РЭС



Уровни разукрупнения РЭС

Конструкторская иерархия реализуется с помощью уровней разукрупнения РЭС, габаритные размеры которых стандартизованы.

Если составляющие РЭС устройства являются не только конструктивно, но и функционально законченными, то они называются **модулями**.

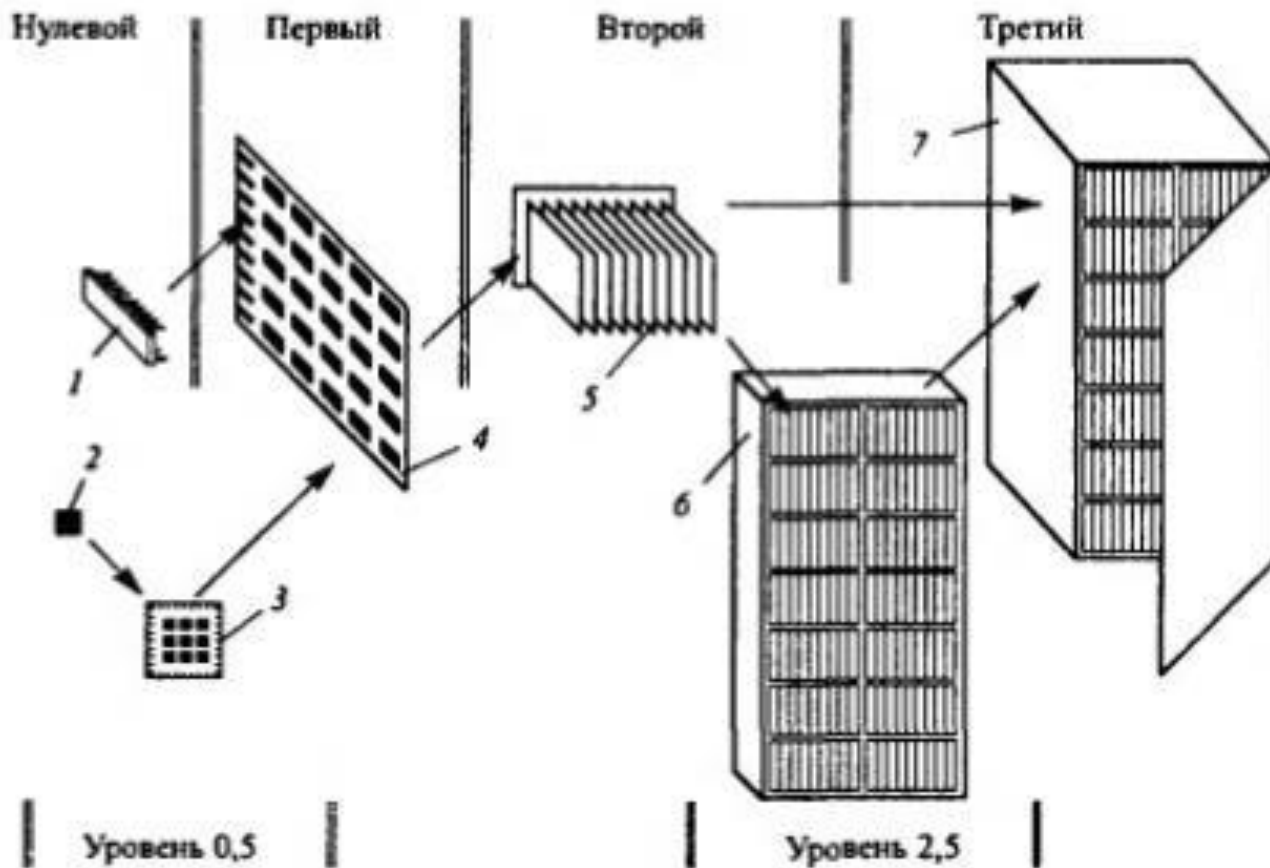
По конструктивной сложности различают следующие уровни разукрупнения:

- радиоэлектронный модуль третьего уровня (РЭМ 3) - функционально законченный радиоэлектронный **шкаф, пульт, стойка**;
- модуль второго уровня (РЭМ 2) — **блок** или **рама**;
- модуль первого уровня (РЭМ 1) — **ячейка, плата**.
- модуль нулевого уровня (РЭМ 0) реализует преобразование сигналов, обычно это элементы, не имеющие самостоятельного эксплуатационного применения (электро-радио элемент, интегральная схема и т.д.).

Связь между конструктивной и схемной модульностью

Конструктивный модуль	Схемный модуль
Корпус микросхемы	Логический элемент
ТЭЗ	Функциональный узел
Блок	Устройство
Рама	Комплекс
Стойка	Система

Конструктивная иерархия



Конструктивная иерархия и входимость модулей:

- 1 — микросхема; 2 — бескорпусная микросхема; 3 — микросборка;
- 4 — типовой элемент замены, т.н. ячейка; 5 — блок; 6 — рама; 7 — стойка

Поколения РЭС

РЭС первого поколения (20—50-е годы) были построены с использованием электровакуумных ламп, дискретных электро-радиоэлементов, проводных электрических связей и имели блочную конструкцию.

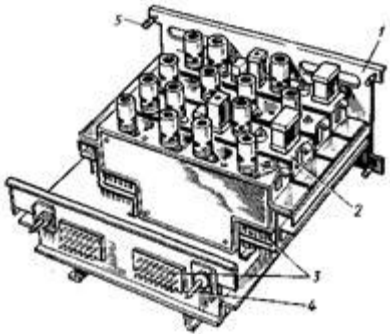
Ко **второму поколению РЭС** (50—60-е годы) относят конструкции РЭС на печатных платах и дискретных полупроводниковых приборах;

К **третьему поколению РЭС** (60—70-е годы) — конструкции на печатных платах и интегральных схемах (ИС) малой степени интеграции - до 100 элементов в кристалле.

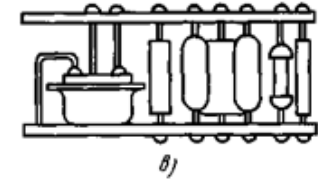
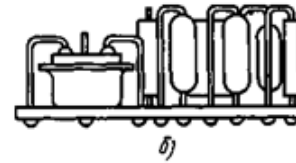
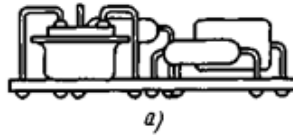
В конструкциях **РЭС четвёртого поколения** применены большие интегральные схемы (БИС) - до 10 тыс. элементов в кристалле, многослойные печатные платы, гибкие печатные шлейфы, микрополосковые линии.

Пятое поколение РЭС (21 век) - сверхбольшие интегральные схемы (СБИС) - более 10 тыс. элементов в кристалле, а также микропроцессоры.

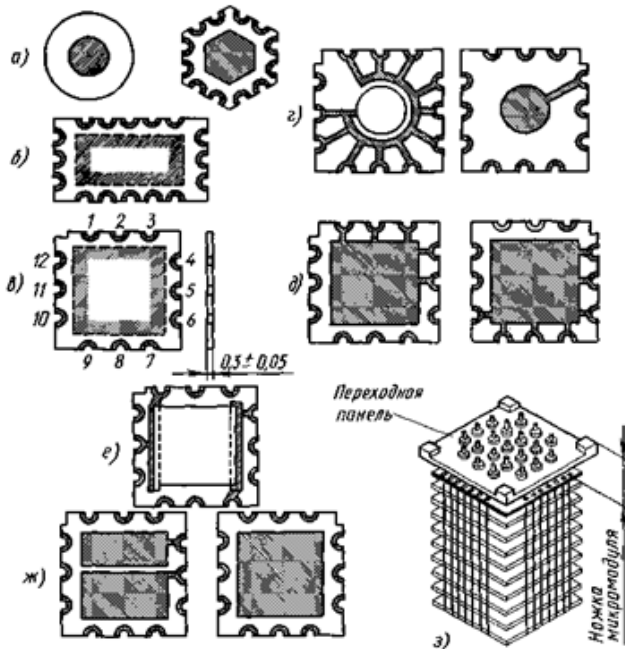
РЭС I. Блок автоматики



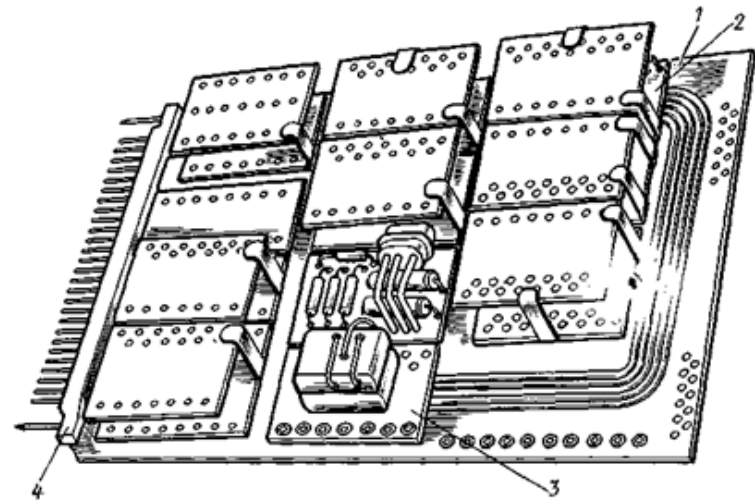
РЭС II. Модули на печатных платах а - горизонтальное; б - вертикальное; в - этажерчатое расположение деталей



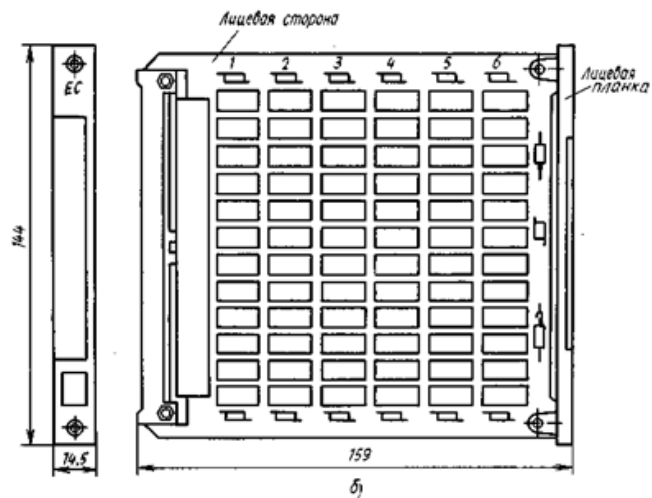
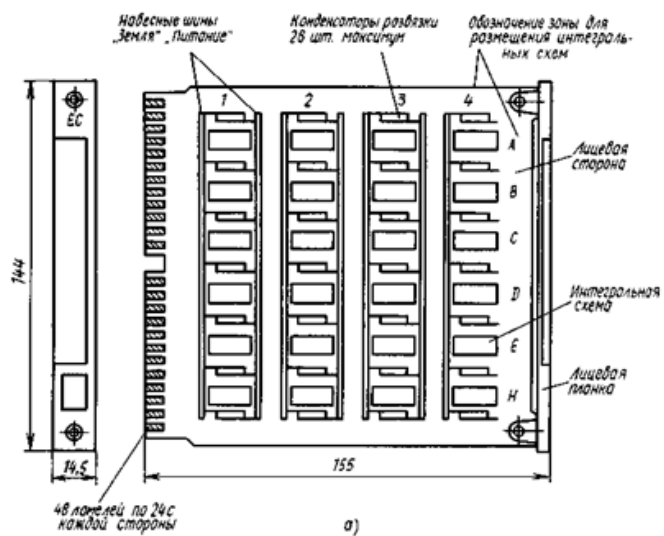
РЭС II. Микромодули этажерочной конструкции на керамических платах



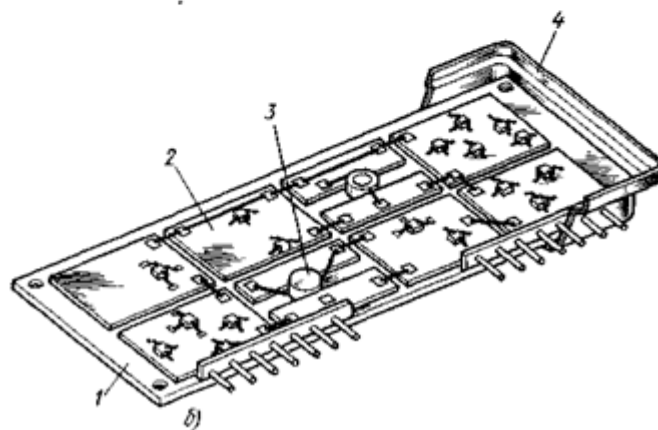
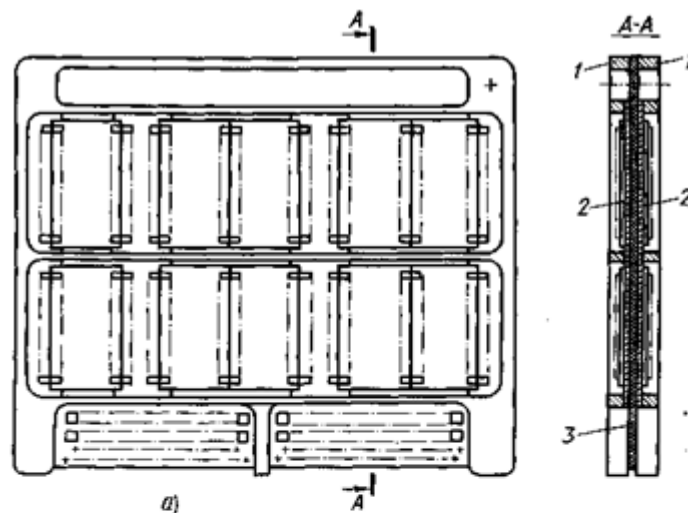
РЭС II. Компоновка ячейки ЦВМ с модулями на печатных платах



РЭС III. Логические типовые элементы замены ЕС ЭВМ на основе печатных плат.



РЭС III. а – ячейка бортовой ЭВМ на бескорпусных компонентах, б – приемник.



Типы логики

Микросхемы на униполярных (полевых) транзисторах — самые экономичные по потреблению тока:

- **МОП-логика** (металл-оксид-полупроводник) — микросхемы формируются из полевых транзисторов n-МОП или p-МОП типа;
- **КМОП-логика** (комплементарная МОП-логика) — каждый логический элемент микросхемы состоит из пары взаимодополняющих (комплементарных) полевых транзисторов (n-МОП и p-МОП).

Слабым местом КМОП-микросхем является уязвимость к статическому электричеству — достаточно коснуться рукой вывода микросхемы и её целостность уже не гарантируется.

- **Смешанная технология BiCMOS** - изготовление интегральных микросхем с использованием биполярных и КМОП-транзисторов на одном кристалле. Особым направлением являются микросхемы, у которых логические элементы выполнены по КМОП-технологии, а выходные каскады — на биполярных элементах. Это позволяет избежать недостатка схем на КМОП-элементах — больших сквозных токов в момент переключения из нулевого состояния в единичное. Такие токи приводят к возникновению мощных импульсных помех, что ограничивает применение этих микросхем в радиотехнических устройствах.

Типы логики

Микросхемы на биполярных транзисторах:

- **РТЛ** — резисторно-транзисторная логика (устаревшая, заменена на ТТЛ);
- **ДТЛ** — диодно-транзисторная логика (устаревшая, заменена на ТТЛ);
- **ТТЛ** — транзисторно-транзисторная логика — микросхемы сделаны из биполярных транзисторов с многоэмиттерными транзисторами на входе;
- **ТТЛШ** — транзисторно-транзисторная логика с диодами Шоттки — усовершенствованная ТТЛ, в которой используются биполярные транзисторы с эффектом Шоттки;
- **ЭСЛ** — эмиттерно-связанная логика — на биполярных транзисторах, режим работы которых подобран так, чтобы они не входили в режим насыщения, — что существенно повышает быстродействие. В СССР самые производительные ЭВМ изготавливались именно на ЭСЛ-микросхемах.
- **ИИЛ** — интегрально-инжекционная логика.

КМОП и ТТЛ технологии - наиболее распространённые логики микросхем.

Если необходимо экономить потребление тока, применяют КМОП-технология.

Если же важнее скорость, применяют ТТЛ-технология.

С развитием технологий ТТЛ и КМОП микросхемы по параметрам сближаются, так что перенимают друг у друга функциональность и методы размещения.

Представление конструкции РЭС как системы

Системный подход - это представление проектируемого объекта в виде замкнутой системы и комплексное, с учетом всех взаимосвязей, изучение рассматриваемого объекта как единого целого с позиций системного анализа.

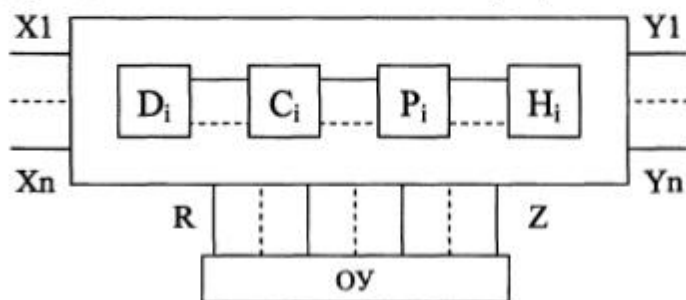
Установление связей между объектами и явлениями сверху вниз - **иерархический принцип** и на каждом уровне - **горизонтальный принцип**.

Задачи, решаемые на основе системного подхода, осуществляются в два этапа - анализ и синтез. **Системные задачи анализа:**

1. учёт всех этапов жизненного цикла изделия - производства, эксплуатации, утилизации;
2. учёт истории и перспектив развития изделия: старые решения в новых условиях могут возродиться, неконкурентные решения в будущем могут стать более сильными;
3. учёт взаимодействий и связей внутри изделия, между его частями - функциональных, конструктивных, динамических, информационных, тепловых, электромагнитных, механических и т. п.;
4. вскрытие основных технических противоречий, препятствующих созданию;
5. всестороннее рассмотрение взаимодействия изделия с внешней средой: с природой и обществом в целом, а также влияние среды на изделие.

Схема производства

Любой технологический процесс можно представить набором некоторых операций: изготовление деталей, сборки, регулировки, выходных испытаний. Все эти операции увязаны в единый технологический процесс и могут быть представлены в виде следующей схемы технологического процесса.



В функциональную схему включаются возмущающие воздействия X , выходные переменные Y , управляющие воздействия R , полученные из системы уравнений наблюдаемые характеристики Z .

В качестве входных характеристик X данной схемы могут быть: комплектующие и их состав, материалы, технические средства, квалификация рабочих.

Выходные характеристики: точность, стоимость, надежность изготавливаемой продукции.

Целевая функция

Наиболее распространенным системным методом является тот, при котором технолог вводит некоторую обобщенную функцию E , зависящую от совокупности параметров H

$$E = \Phi(H)$$

Если этапы производственного процесса детерминированы, то каждый из них представим некоторым вектором ($X(t)$), тем самым подчеркивается многомерность каждого из параметров. Если величины случайные, то элементами этих векторов будут математические ожидания соответствующих величин.

Если предположить, что состояния системы в целом в начальный момент определены (t_0), то текущее состояние системы (t_j) будет функцией состояния, причем $Y(t_j)$, $R(t_j)$, $X(t_j)$, E , $A(t)$, $B(t)$, $C(t)$ принимают возможные физические состояния системы в целом, т.е. определяют граничные условия, для которых целевая функция запишется как

$$E = CP[Y(t_j), X(t_j), R(t_j)].$$

Экстремальные значения этой функции соответствуют оптимальному технологическому процессу. В управлении технологическим процессом могут участвовать любые из параметров. Реально рассматривается тот, который оказывает наибольшее влияние на ход технологических процессов.

Целевая функция

Эффективность проектируемого РЭС в общем виде можно оценить основной целевой функцией (1)

$$E=f(z_1, z_2, \dots, z_n)=f(Z), \quad (1)$$

где $Z=\{z_i, i=1, 2, \dots, n\}; z_i \in Z$.

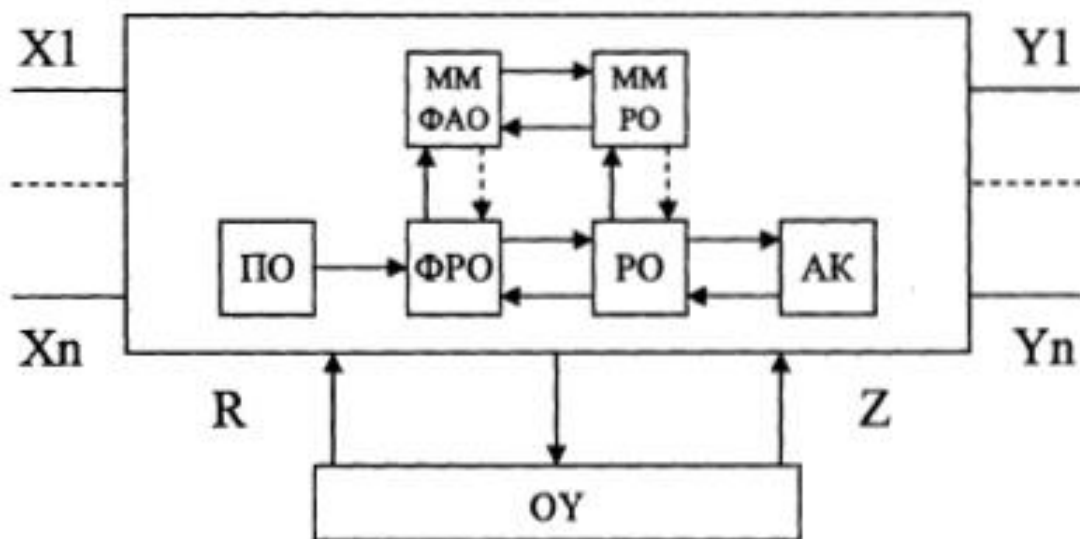
Такая функция дает количественную оценку степени достижения поставленной цели и поэтому называется целевой функцией. Элементами z_i множества Z являются частные целевые функции, т.е. отдельные качественные и количественные показатели, определяющие пригодность применения РЭС в соответствии с назначением. Такими показателями для РЭС являются: масса, объем, энергопотребление, диапазон частот, быстродействие, чувствительность, коэффициент усиления, полоса пропускания, дальность действия, выходное напряжение, точность, электромагнитная совместимость, ударопрочность, влагостойкость, уровень унификации и миниатюризации, технологичность, безопасность, себестоимость, экономичность и т.д.

Экстремальные значения этой функции соответствуют оптимальному технологическому процессу.

Принято различать детерминированные и вероятностные модели. И те, и другие могут быть статическими или динамическими. Исследование объектов с помощью их математических моделей представляет основную суть системного подхода,

Схема конструирования

Включение математической модели в схему процесса конструирования позволяет решать оптимизационные задачи, направленные на совершенствование данного процесса. По аналогии с предыдущей схемой есть возмущающие воздействия входных параметров управляющих и наблюдаемых.



Возможные процессы оптимизации показаны двумя направленными линиями. Структурная схема позволяет подчеркнуть, что сущность системного подхода – исследование объекта конструирования с помощью математической модели, позволяющей уменьшить число ошибок и снизить стоимость разработки.

Оптимизация наноэлектронных приборов

Основным элементом наноприбора, определяющим его технические характеристики, является **нелинейный элемент**

(например, резонансно-туннельный диод с заданной формой ВАХ под конкретный тип преобразователя радиосигналов).

Работа такого нелинейного элемента, как правило, зависит от интенсивности протекания диффузионных процессов в его гетероструктуре.

Структурная схема в виде математической модели включает в себя:

Модуль 1 - рассчитывает изменения характеристик гетероструктуры нанoelementa в зависимости от времени и температуры при его эксплуатации.

Модуль 2 - моделирует ВАХ нанoelementов, имеющих в своем составе полупроводниковые гетероструктуры с различным составом слоёв (слои GaAs, AlGaAs и др.).

Модуль 3 - оценивает изменения электрических параметров в зависимости от дрейфа ВАХ нанoelementa.

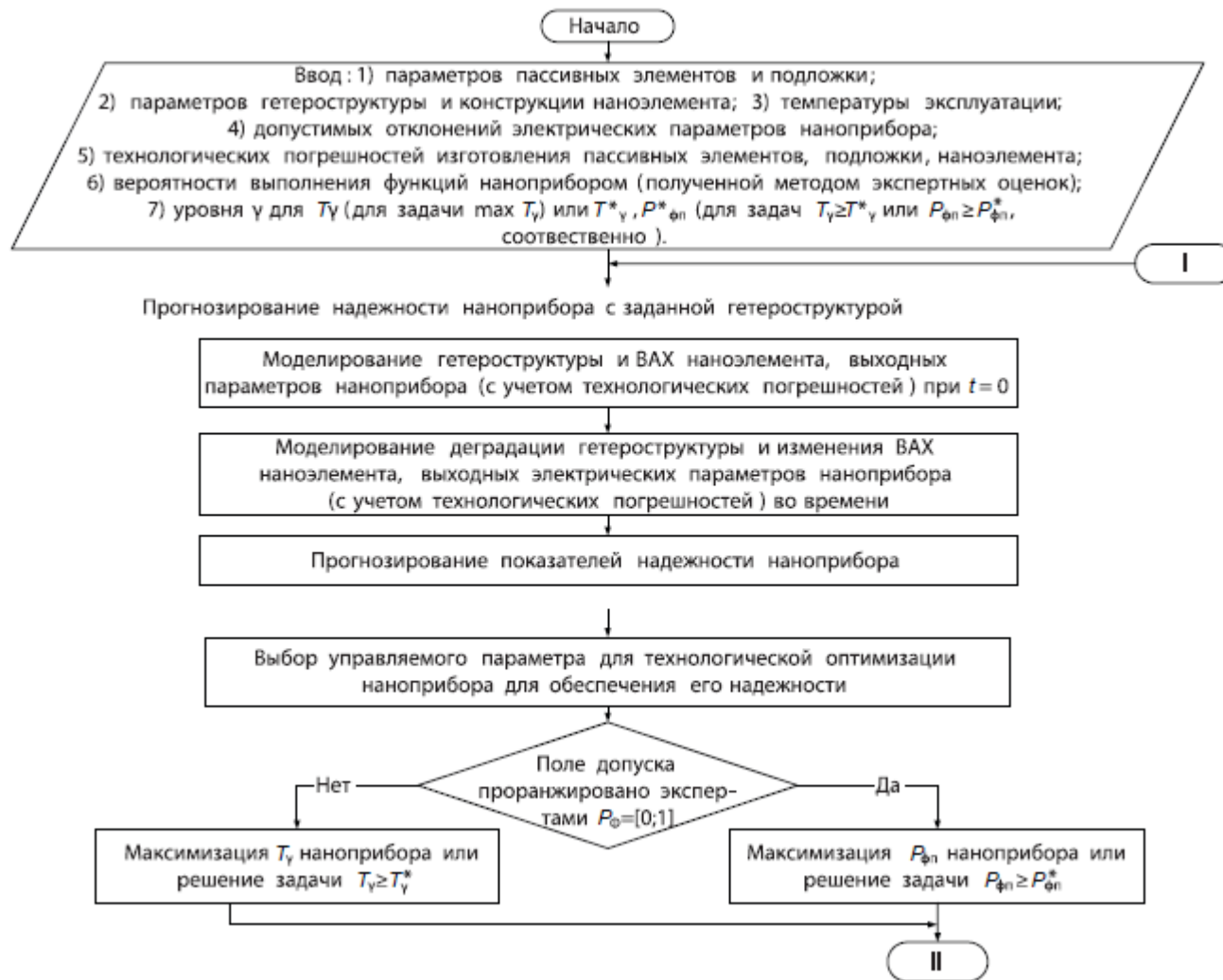
Оптимизация наноэлектронных приборов

Для оптимизации наноприбора по критерию максимальной гамма-процентной наработки до отказа необходимо решить задачу поиска условного экстремума, т. е. найти такое решение $\{\bar{\Gamma}^*; \bar{\Pi}^*; \bar{\Pi}_d^*, T_\gamma^*\}$ из множества допустимых решений (заданного условием достижения экстремальных значений выходных электрических параметров наноприбора), которое обеспечит максимальную надежность наноприбора.

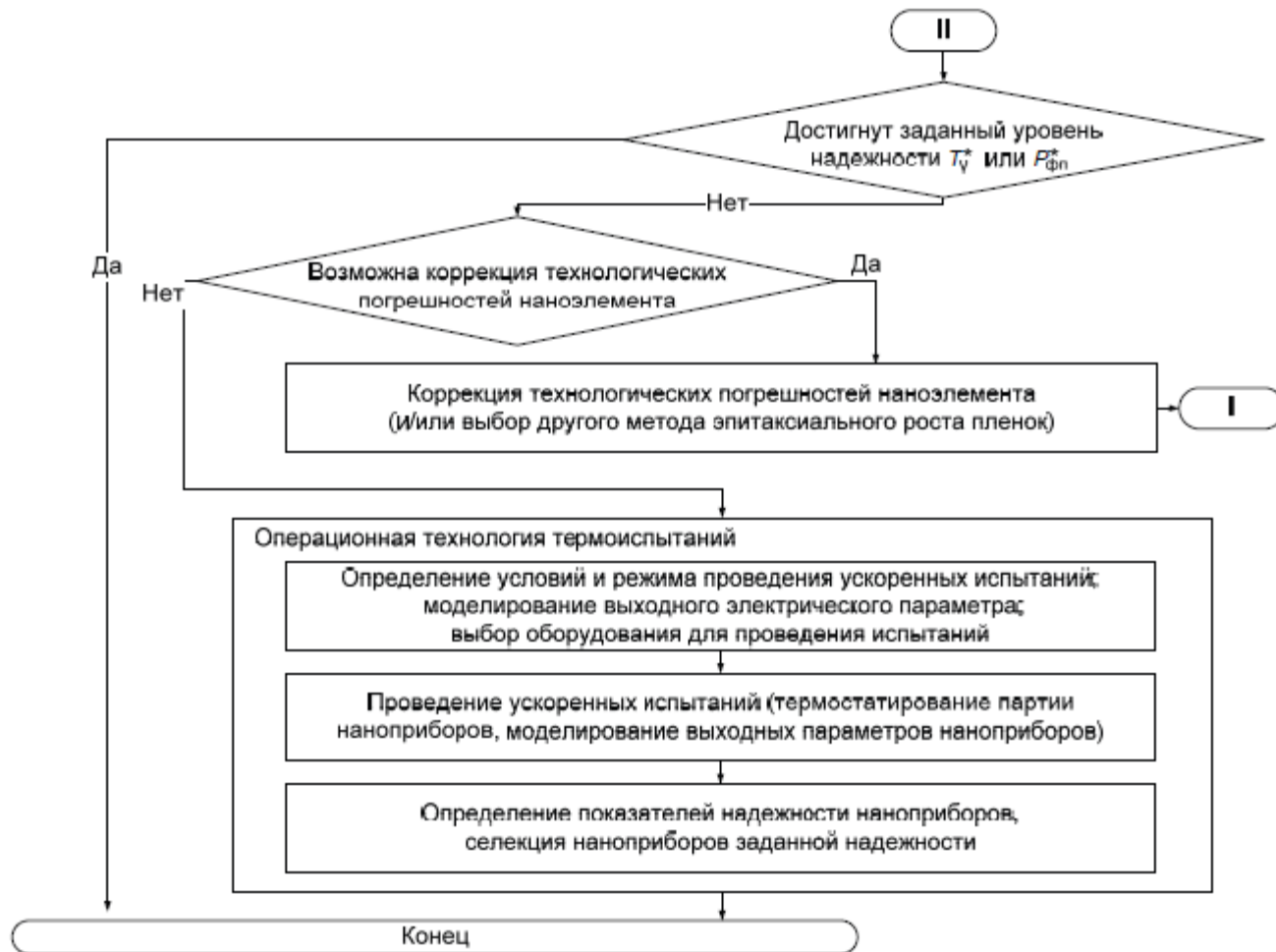
$$\begin{cases} \max T_\gamma(\bar{\Gamma}, \bar{\Pi}, \bar{\Pi}_d, \bar{\Delta\Gamma}, \bar{\Delta\Pi}, \bar{\Delta\Pi}_d, \bar{\Delta Y}_k), \\ \varphi, \bar{\Delta\Gamma}, \bar{\Delta\Pi}, \bar{\Delta\Pi}_d = \text{const}, \quad \bar{Y} \in \bar{\Delta Y}_k, \end{cases}$$

где $T_\gamma(\bar{\Gamma}, \bar{\Pi}, \bar{\Pi}_d, \bar{\Delta\Gamma}, \bar{\Delta\Pi}, \bar{\Delta\Pi}_d, \bar{\Delta Y}_k)$ — гамма-процентная наработка до отказа (целевая функция); $\bar{\Pi}, \bar{\Pi}_d$ — векторы параметров конструкции (пассивных элементов и подложки соответственно) наноприбора; $\bar{\Gamma}$ — вектор параметров гетероструктуры; $\bar{\Delta\Pi}, \bar{\Delta\Pi}_d, \bar{\Delta\Gamma}$ — векторы технологических погрешностей соответствующих параметров; $\bar{\Delta Y}_k$ — допуски на электрические параметры \bar{Y} наноприбора.

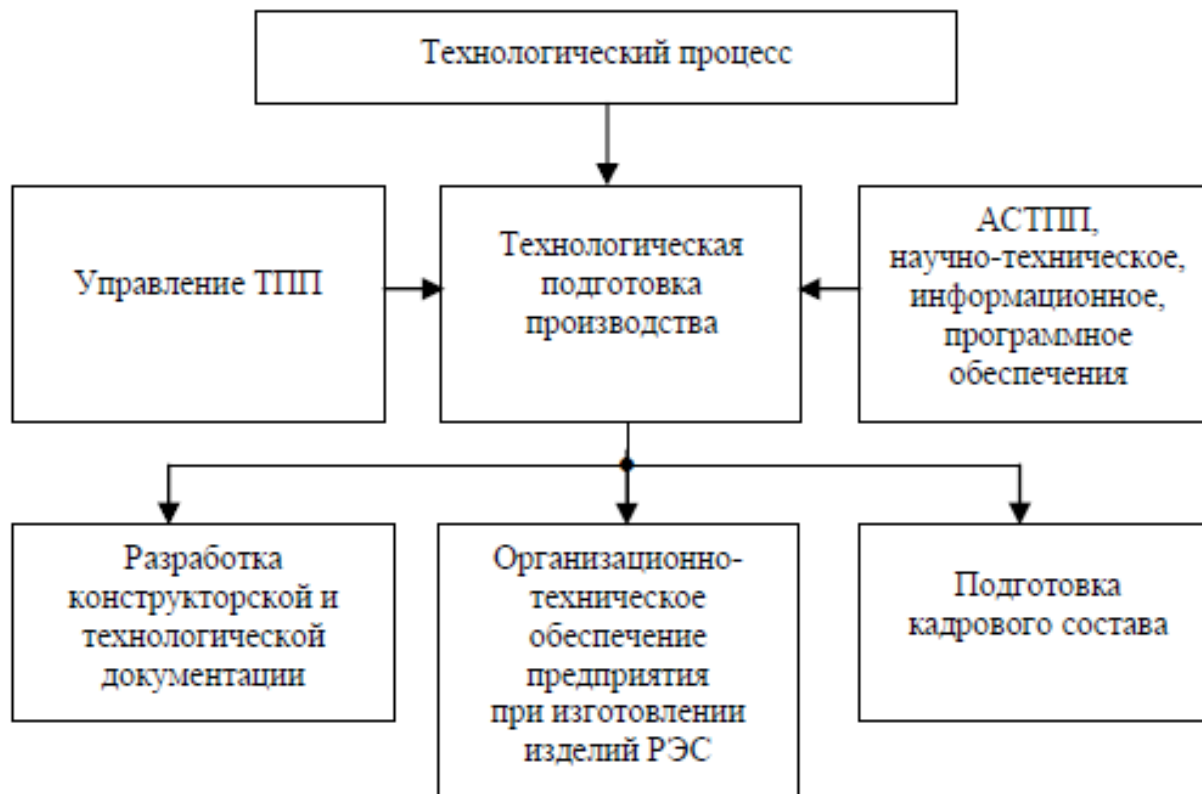
Методика конструкторско-технологической оптимизации РЭС на наноприборах



Методика конструкторско-технологической оптимизации РЭС на наноприборах



Структурная схема обеспечения технологического процесса (ТП)



Этапы разработки технологических процессов

Этап	Основные задачи этапа
1. Анализ исходных данных	Изучение конструкторской документации. Анализ и расчет технологичности конструкции. Анализ объема выпуска изделия и определение типа производства
2. Выбор типового (базового) ТП	Формирование технологического кода изделия по классификатору. Определение места изделия в классификационной группе. Принятие решения об использовании действующего ТП
3. Разработка схемы сборки	Анализ состава деталей, комплектующих и сборочных единиц изделия. Выбор базовой детали или сборочной единицы. Анализ способов сборки и монтажа. Разработка схемы сборки с базовой деталью
4. Составление маршрутного ТП	Определение последовательности технологических операций. Определение штучного времени $T_{шт}$ по заданному коэффициенту закрепления операций $K_{\text{з}}$ и объему выпуска N изделий. Выбор оборудования и средств технологического оснащения

5.	Разработка технологических операций	Разработка структуры операции и последовательности переходов. Разработка схем базирования и установки деталей при сборке и монтаже. Выбор средств технологического оснащения (окончательный). Расчет точности операции (собираемости). Расчет режимов, составляющих $\Gamma_{шт}$ и загрузки оборудования
6.	Расчет технико-экономической эффективности	Определение разряда работ по классификатору разрядов и профессий. Выбор вариантов операций по технологической себестоимости
7.	Анализ ТП с точки зрения техники безопасности	Выбор и анализ требований по шуму, вибрациям, радиации, воздействию вредных веществ. Выбор методов и средств обеспечения сохранности и устойчивости экологической среды
8.	Оформление технологической документации	Оформление эскизов технологических операций и карт. Оформление карт маршрутного и операционного тех-процессов
9.	Разработка ТЗ на специальную оснастку	Схема базирования заготовки (заготовок). Определение погрешностей базирования и точности приспособлений. Определение количества заготовок и схемы их закрепления. Составление схем привязки приспособления к оборудованию

Точность параметров РЭС

Точность — степень соответствия действительного (реально полученного) параметра X заданному (номинальному). Точность устанавливается допуском δ на параметр изделия и обозначается:

$X+\delta$ — параметр с плюсовым допуском;

$X-\delta$ — параметр с минусовым допуском;

$X \pm \delta/2$ — параметр с равносторонним допуском.

Параметры качества делятся на три группы:

Геометрические — линейные размеры, микронеровности (шероховатость), макронеровности (непараллельность, овальность, неперпендикулярность и т. д.).

Физические — индуктивность, сопротивление, емкость, магнитная проницаемость, проводимость и т. п.

Химические — растворимость, концентрация, скорость травления, скорость диффузии и т. п.

Точность линейных размеров

Для определения точности линейных размеров элементов деталей используется **единая система допусков и посадок (ЕСДП)**, опирающаяся на международную систему стандартов ИСО.

В ЕСДП приняты **19 квалитетов точности** (вместо ранее применявшихся классов точности), записываемые в порядке понижения точности: 01, 0, 1, 2, 3, ..., 17.

Квалитеты 01, 0 и 1 предназначены для концевых мер длины.

Квалитеты со 2-го по 4-й — для калибров и особо точных изделий.

В квалитетах с 5-го по 13-й даются допуски для сопрягаемых размеров деталей.

В квалитетах с 14-го по 17-й — для несопрягаемых размеров деталей.

Допуски обозначают IT с порядковым номером квалитета, например /772.

Для физических параметров допуск может быть проставлен в процентах. Например, электрическое сопротивление $R_H \pm 5\%$.

Производственные погрешности

При любом производстве отдельный параметр X имеет разброс из-за производственных погрешностей: постоянных (систематических), закономерно изменяющихся и случайных.

Погрешность обработки партии деталей называют **систематической**, если погрешности деталей, входящих в партию, одинаковые.

Погрешность обработки партии деталей называют **закономерно изменяющейся**, если при переходе от одной детали к другой изменяется значение погрешности по тому или иному закону.

Например, износ инструмента закономерно приводит к росту внешних размеров и уменьшению внутренних.

Погрешность обработки партии деталей называют **случайной**, если закономерность изменения отсутствует, и предугадать время появления и направление действия погрешности невозможно.

Пример случайной погрешности — температурные колебания.

На практике ни одна из этих погрешностей в чистом виде не проявляется, а общая погрешность представляет комбинацию указанных видов погрешностей.

Методы оценки точности

Методы, которые чаще всего применяются в производстве:

1. наблюдение в цехах
2. статистический
3. расчетно-аналитический.

Метод наблюдения в цехах основан на сборе данных о точности изделий, получаемых при обработке и сборке.

Эти данные систематизируют и сводят в таблицы экономической точности для различных методов обработки.

Такие таблицы можно в дальнейшем использовать для предварительной оценки точности разрабатываемого технологического процесса.

Статистический метод

Наиболее универсальным является метод кривых распределения, позволяющий оценить разброс погрешностей для данного ТП и определить процент возможного брака.

Для построения кривой распределения погрешностей следует замерить партию деталей (конкретный параметр, допустим, размер L) в количестве $N = 100$ шт. Замеренный параметр разбивается на равные интервалы и подсчитывается число n параметров в каждом интервале.

Определяется частота m повторений отклонений параметров в партии. Затем строится гистограмма и полигон распределения параметров.

Устанавливается характер кривой распределения, исходя из критериев подобия Колмогорова.

Случайная погрешность подчиняется закону нормального распределения.



Кривая случайных погрешностей

Кривые распределения случайных погрешностей характеризуются средним размером и средним квадратичным отклонением.

Средний размер L_{cp} определяют по формуле: $L_{cp} = L_1 + L_2 + L_N / N = 1/N \times \sum_{i=1} L_i$

где $L_1 + L_2 + L_N$ - размеры отдельных деталей; N - общее количество деталей в партии.

Ошибка определения среднеарифметического: $\varepsilon = \pm \frac{\sigma}{\sqrt{N}}$,

Среднее квадратичное отклонение определяется выражением:

$$\sigma = \sqrt{\frac{(L_1 - L_{cp})^2 + (L_2 - L_{cp})^2 + \dots + (L_N - L_{cp})^2}{N}} = \sqrt{\frac{x_1^2 + x_2^2 + \dots + x_N^2}{N}} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i^2},$$

где $x_i = L_i - L_{cp}$.

Ошибка при определении среднеквадратического: $\varepsilon = \pm \frac{\sigma}{\sqrt{2(N-1)}}$,

Кривая случайных погрешностей

Уравнение распределения Гаусса имеет вид:

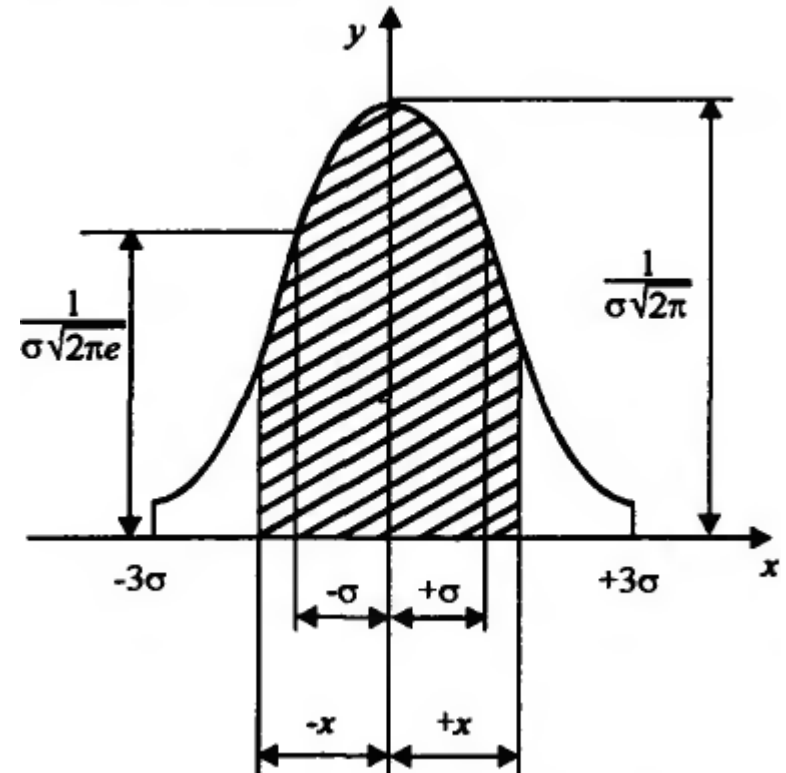
$$y = \varphi(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{x^2}{2\sigma^2}},$$

с достаточной для практики точностью теоретическую кривую заменяют кривой с полем рассеивания:

$$V = \pm 3\sigma = \pm 6\sigma = L_{max} - L_{min}.$$

Площадь, ограниченная кривой и осью x :

$$\int_{-\infty}^{+\infty} y dx = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{+\infty} e^{-\frac{x^2}{2\sigma^2}} dx = 1.$$



Пользуясь кривой распределения погрешностей, можно найти вероятное количество годных деталей, на размер которых установлен определенный допуск.

Вся площадь, ограниченная кривой распределения погрешностей, определяет полное количество деталей, обработанных при постоянной настройке оборудования.

Процент брака

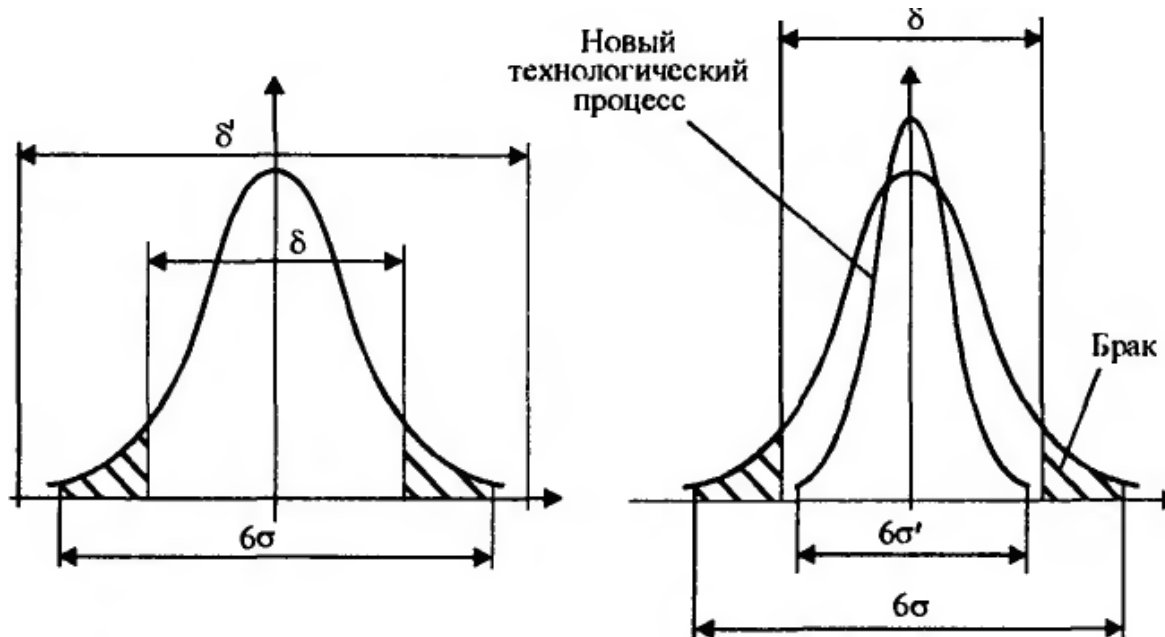
Площадь кривой, соответствующая заданному интервалу отклонений $[-x; x]$, определяется интегралом:

$$\Phi(z) = 2F(z) = \frac{2}{\sqrt{2\pi}} \int_0^z e^{-\frac{z^2}{2}} dz.$$

$$z = \frac{x}{\sigma}.$$

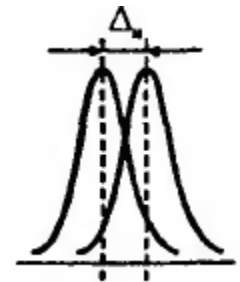
$\Phi(z)$ определяет вероятность получения размера в пределах $\pm x$, т.е. **процент брака P** можно определить по формуле: $P = [1 - \Phi(z)] \times 100\%$

Чтобы брака не было, следует либо увеличить допуск δ , чтобы $\delta > 6\sigma$, либо изменить технологический процесс и уменьшить разброс погрешностей $6\sigma'$:

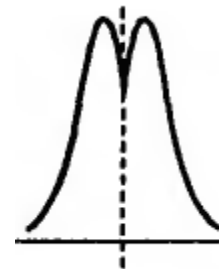


Систематическая ошибка

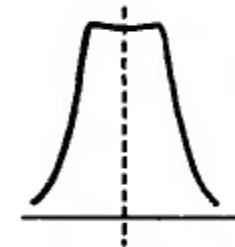
Если имеет место **систематическая постоянная погрешность**, скажем, настройки оборудования, то форма кривой распределения не меняется, а происходит её смещение на величину данной погрешности.



Если смешать **две партии деталей**, изготовленных при различных настройках оборудования, кривая распределения будет иметь два горба.



Если наряду со случайными имеются **систематические закономерно изменяющиеся погрешности**, то кривая распределения будет тупая.

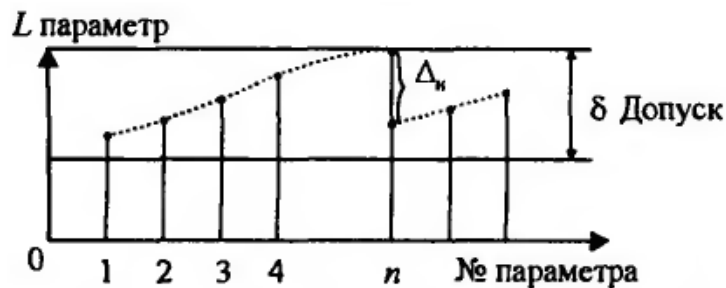


Зная величины средних и среднеквадратичных значений отклонений, можно заранее говорить о качестве получаемых изделий и проценте ожидаемого брака.

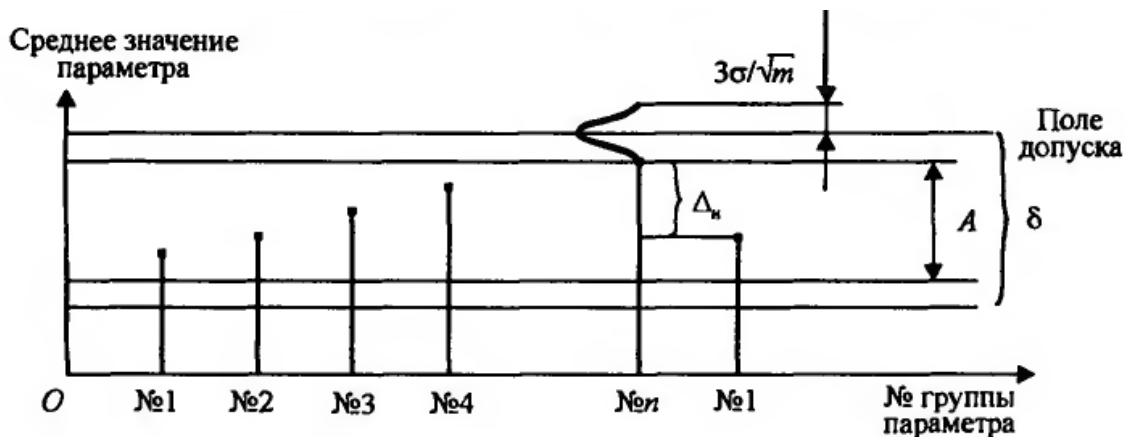
Однако же данный метод не учитывает последовательность обработки деталей, и отделить случайные погрешности от систематических не удаётся. Если это требуется и необходима большая наглядность в динамике погрешностей, используются точечные диаграммы.

Точечные диаграммы

Замеряют параметры изделий в порядке их изготовления и наносят на диаграмму. На точечной диаграмме видна динамика изменения параметра и период, когда параметр выйдет за поле допуска, т. е. когда следует провести поднастройку.



На практике замеряется группа параметров от 5 – 10 штук в последовательности их изготовления, определяется их среднее значение и наносится на диаграмму

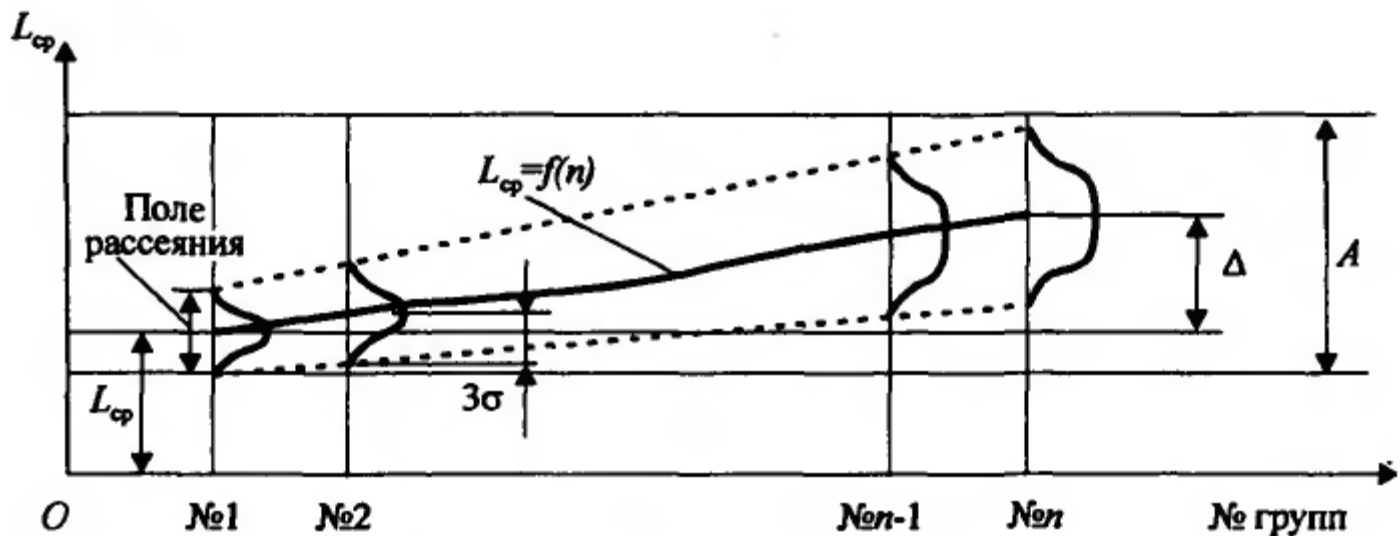


m - величина выборки
($m = 5 - 10$).

A - контрольная зона

Точностные диаграммы

Точностные диаграммы дают более точную картину изменения погрешностей во времени и выявить закономерность изменения переменных систематических погрешностей.



Порядок построения точностных диаграмм такой же, как и для точечных диаграмм, но выборки последовательно замеряемых параметров увеличиваются до 25 в группе. Для каждой выборки строится кривая распределения, и определяются основные статистические параметры: среднее и среднеквадратичное отклонение, поле рассеивания и т. д.

Методы получения заданной точности

1. Метод пробных проходов и промеров используется в единичном и мелкосерийном производствах для универсального оборудования: постепенно методом проб и промеров достигается желаемый результат. Метод довольно точный, но мало производительный.

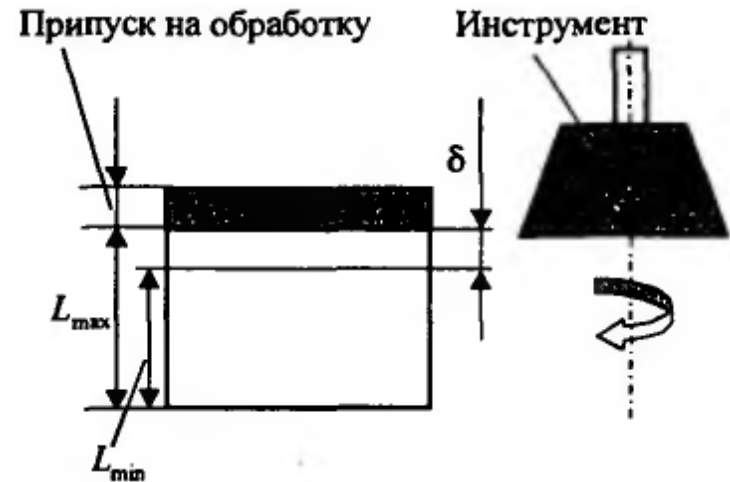
2. Метод автоматического получения параметра основан на том, что оборудование предварительно настраивается на настроечный параметр (L_n):

Если принять за настроечный размер L_{min} , то при обработке партии деталей часть деталей, равная по количеству 3δ , уйдёт в брак. Следовательно, минимальный настроечный размер необходимо увеличить на 3δ :

$$L'_{n\ min} = L_{min} + 3\delta$$

Аналогично для определения максимальной границы настроечного размера будем иметь:

$$V_{umax} = L_{max} - 3\delta$$



Шлифование подложки

По домам тарам-пам-пам!

n