2КОМИТЕТ РФ ПО ВЫСШЕМУ ОБРАЗОВАНИЮ

  2МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЭЛЕКТРОНИКИ И МАТЕМАТИКИ

  2(ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)

 конспект лекций

  2ТЕХНОЛОГИЯ И АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА РЭА

 к.т.н. Ижванова Е.М.

 к.т.н. Чесноков А.Г.

специальность 2303

факультет Информатики и телекоммуникаций

кафедра Радиоэлектронные и телекоммуникационные устройства и системы

Дневной факультет - семестр 1

Вечерний факультет - семестр 2

 Москва, 1995 г.

 - 2 -

 Оглавление

 Стр.

Литература...........................................................4

Введение.............................................................5

1. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС ПРОИЗВОДСТВА РЭА И ЗАДАЧИ ПОВЫШЕНИЯ ЕГО

ЭФФЕКТИВНОСТИ И КАЧЕСТВА.............................................6

1.1. Общая характеристика РЭА как объекта производства и как системы.6

1.2. Основные направления развития РЭА...............................7

1.3. Структура производства РЭА, особенности иерархических уровней

производства РЭА, их роль и место в производстве РЭА.................7

1.3.1. Организационная структура "типового" предприятия..............7

1.3.2. Задачи производственных подразделений.........................8

1.3.3. Организация технологической службы на производстве. Основные

обязанности технологов в различных технологических службах...........8

1.3.4. Задачи экономических и коммерческих подразделений............11

1.3.5. Задачи вспомогательных служб и подразделений.................11

1.4. Система обеспечения качества продукции.........................12

1.4.1. Система стандартизации.......................................12

1.4.2. Общие представления о международной стандартизации, опыт раз-

витых стран.........................................................15

1.4.3. Задачи службы стандартизации на предприятии..................17

1.4.4. Метрологическое обеспечение производства и задачи службы

главного метролога на предприятии...................................18

1.4.5. Контроль хода технологического процесса и качества выпускае-

мой продукции и задачи ЦЗЛ и ОТК....................................18

1.4.6. Системы обеспечения качества продукции. Международный и оте-

чественный опыт.....................................................20

1.4.7. Сертификация продукции и систем качества. Международный опыт

и система сертификации ГОСТ Р.......................................21

1.5.Типы производств и технологических процессов. Состав типового

технологического процесса РЭА.......................................22

1.6. Структура и характеристики технологических систем..............24

1.7. Основные характеристики и показатели качества РЭА. Оценка тех-

нологичности конструкции............................................25

1.8. Стадии и этапы разработки РЭА..................................28

1.9. Исходные данные для разработки технологии производства РЭА.....30

1.10. Основные принципы автоматизации производства..................32

1.10.1. Понятие системы автоматического регулирования (САР).........32

1.10.2. Понятие информационно-измерительной системы (ИИС)...........32

1.10.3. Понятие автоматизированной системы управления технологичес-

ким процессом (АСУТП)...............................................32

1.10.4. Понятие автоматизированного технологического комплекса

(АТК)...............................................................35

1.10.5. Понятие автоматизированной системы управления предприятием

(АСУП)..............................................................36

1.10.6. Понятие гибких автоматизированных производств (ГАП) и инте-

грированных производственных комплексов (ИПК).......................36

1.10.7. Иерархическая структура автоматизированной системы управле-

ния предприятием....................................................40

1.11. Перспективы применения средств вычислительной техники в техно-

логии производства РЭА..............................................40

1.12. Применение роботов на вспомогательных и транспортных произ-

водственных операциях. Конструктивные элементы и характеристики ро-

ботов-манипуляторов.................................................41

1.13. Алгоритмы управления роботами.................................43

2. ТЕХНОЛОГИЯ РЭА КАК СЛОЖНАЯ СИСТЕМА...............................45

2.1. Общие принципы управления сложными системами...................45

2.2. Классификация систем управления................................46

 - 3 -

 Стр.

2.3. Характеристика систем управления технологическими процессами...48

2.4. Технико-экономическая эффективность как целевая функция систе-

мы..................................................................49

2.5. Основные типы систем управления технологическими процессами....50

2.6. Основные показатели и состав систем автоматического управления.51

2.7. Понятие и типы моделей сложных систем..........................58

2.8. Идентификация технологических процессов........................63

2.9. Надежность технологических систем. Надежность управления техно-

логической системой................................................65

2.9.1. Показатели надежности невосстанавливаемых объектов...........67

2.9.2. Показатели надежности объектов, восстанавливаемых вне процес-

са применения.......................................................68

2.9.3. Показатели надежности объектов, восстанавливаемых в процессе

применения..........................................................68

2.9.4. Оценка показателей надежности объектов по экспериментальным

данным..............................................................69

2.9.5. Параметрическая надежность технических объектов..............70

2.9.6. Связь показателей надежности и качества функционирования

технологических систем (ТС).........................................71

2.9.7. Методы оценки надежности технологических систем..............72

2.9.8. Методы повышения надежности объектов и технологических сис-

тем.................................................................73

2.10. Проектирование технологических процессов с использованием

средств вычислительной техники......................................75

2.11. Автоматизированные сборочные производства РЭА.................79

2.12. Технологическая подготовка производства РЭА, ее основные за-

дачи, положения и правила организации. Автоматизированная система

подготовки производства.............................................81

3. ЗАКОНЫ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПОГРЕШНОСТЕЙ И МЕТОДЫ ИХ

ИССЛЕДОВАНИЯ........................................................85

3.1. Измерительная информация и ее роль в технологическом процессе.

Основные компоненты информационно-измерительных систем..............85

3.2. Типы погрешностей. Характеристики действующих факторов.........90

3.3. Основные понятия теории вероятности. Нормальное распределение,

математическое ожидание, дисперсия, среднеквадратическое отклонение.

Доверительный интервал. Методы проверки гипотез о распределении.....93

 - 4 -

 Литература.

1. Иванов Ю.В., Лакота Н.А. Гибкая автоматизация производства РЭА с

применением микропроцессоров и роботов. - Москва, Радио и связь, 1987

2. Основы автоматизации управления производством. Под ред. И.М. Мака-

рова. - Москва, "Высшая школа", 1983

3. Норенков И.П. Принципы построения и структура САПР. - Москва, "Выс-

шая школа", 1986

4. Автоматизация технологического оборудования микроэлектроники. Под

ред. А.А. Сазонова. - Москва, "Высшая школа" 1991

5. Дружинин Г.В. Надежность автоматизированных производственных сис-

тем. - Москва, "Энергоатомиздат", 1986

6. Пугачев В.С. Теория вероятностей и математическая статистика. -

Москва, "Наука, Главная редакция физико-математической литературы,

1979 г.

7. Государственная система стандартизации. - Москва, Стандарты, 1994 г.

8. Единая система конструкторской документации. - Москва, Стандарты,

1988 г.

9. Единая система технологической документации. - Москва, Стандарты,

1975 г.

10. Единая система технологической подготовки производства. - Москва,

Стандарты, 1984 г.

11. Основополагающие стандарты в области метрологии. - Москва, Стан-

дарты, 1986 г.

12. Система государственных испытаний продукции. - Москва, Стандарты,

1983 г.

13. Метрологическое обеспечение информационно-измерительных систем. -

Москва, Стандарты, 1984 г.

14. Единая система программной документации. - Москва, Стандарты, 1985

г.

15. Системы качества. Сборник нормативно-методических документов. -

Москва, Стандарты, 1989 г.

16. Сертификация продукции. 1. Международные стандарты и руководства

ИСО/МЭК в области сертификации и управления качеством. - Москва, Стан-

дарты, 1990 г.

17. Сертификация продукции. 3. Международные системы сертификации. Ор-

ганизационно-методические документы. - Москва, Стандарты, 1991 г.

18. Система стандартов безопасности труда. - Москва, Стандарты, 1983 г.

.

 - 5 -

 Введение

 В следствии многообразия видов радиоэлектронной аппаратуры, тех-

нологических процессов ее производства и, соответственно, систем авто-

матизации производства невозможно в одном курсе изложить все вопросы,

связанные с технологией и автоматизацией производства РЭА. Поэтому в

данном курсе ставится задача осветить только основные вопросы, которые

приходится решать при производстве большинства видов РЭА, дается обзор

смежных областей деятельности.

 Единого учебника или методического пособия по данному курсу не

существует, поэтому вам рекомендуется список литературы, где отражают-

ся в большей или меньшей степени рассматриваемые в курсе вопросы. В

списке приведены самые ранние издания книг, которыми можно пользовать-

ся при изучении курса, хотя более поздние издания являются предпочти-

тельными, особенно это касается стандартов.

.

 - 6 -

 1. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС ПРОИЗВОДСТВА РЭА И ЗАДАЧИ

 ПОВЫШЕНИЯ ЕГО ЭФФЕКТИВНОСТИ И КАЧЕСТВА

 1.1. Общая характеристика РЭА как объекта производства

 и как системы.

 РЭА представляет собой совокупность элементов, объединенных в

сборочные единицы и устройства и предназначенные для преобразования и

обработки электромагнитных сигналов в диапазоне частот колебаний от

инфракрасных до сверхвысоких. Элементы, рассчитанные на совместную ра-

боту в РЭА, различают по функциональным, физическим, конструктив-

но-технологическим признакам и типам связей. По конструктивно-техноло-

гическому признаку элементы РЭА делят на дискретные и интегральные,

которые объединяют в сборочные единицы, выполняющие элементарные дейс-

твия (например, генератор, усилитель, счетчик).

 В зависимости от диапазона частот меняются и пассивные элементы,

использующиеся в РЭА. Например, в диапазоне средних и высоких частот

используются индуктивности и емкости с сосредоточенными параметрами,

изготавливаемыми по любой технологии, а в диапазоне СВЧ - с распреде-

ленными параметрами, например, двухпроводные, полосковые линии и коак-

сиальные радиаторы.

 Важным фактором, определяющим конструктивно-технологические осо-

бенности любой РЭА, является ее конструктивное оформление и технология

изготовления. Например, конструктивное оформление в виде самостоятель-

ного устройства или встроенного модуля, технология сборки пайкой или

механическое соединение, что существенно сказывается на эксплуатацион-

ных и производственных характеристиках РЭА. При конструктивно-техноло-

гическом анализе РЭА большое внимание следует уделять ее непосредс-

твенному назначению и условиям эксплуатации, которые сказываются на

выборе технологии производства и конструктивного оформления. Например,

наличие механических вибраций при эксплуатации требует применения бо-

лее надежных методов сборки.

 Поэтому, разнообразие и сложность выполняемых радиотехническими

системами (РТС) и радиотехническими комплексами (РТК) функций и усло-

вий их эксплуатации, состав и особенности носителей аппаратуры в зна-

чительной степени определяют требования к ее конструкции и существенно

влияют на выбор технологии изготовления элементов и сборочных единиц.

 Для разных типов объектов существуют различные требования на ус-

ловия размещения аппаратуры, весьма различны комплексы возмущающих

воздействий, поэтому задача технолога и конструктора заключается в

том, чтобы активно участвовать во всех этапах проектирования и созда-

ния РТК и РТС. Объективной тенденцией совершенствования конструкций

РЭА является постоянный рост ее сложности ввиду расширения выполняемых

функций и повышении требований к эффективности ее работы.

 Конструктивно-технологические особенности РЭА включают функцио-

нально-узловой принцип конструирования, технологичность, минимальные

габаритно-массовые показатели, ремонтопригодность, защиту от внешних

воздействий, надежность (вероятность безотказной работы, среднее время

наработки на отказ, среднее время восстановления работоспособности,

долговечность и т.д.).

 Сущность функционально-узлового принципа конструирования РЭА зак-

лючается в объединении функционально-законченных схем в сборочные еди-

ницы и их модульной компоновке.

 Базовые конструкции аппаратуры имеют несколько уровней модульнос-

ти, предусматривающих объединение простых модулей в более сложные:

 Модули 1 уровня - интегральные микросхемы (ИС) и дискретные

электрорадиоэлементы (ЭРЭ) (сопротивления, конденсаторы, транзисторы и

т.д.).

 - 7 -

 Модули 2 уровня - типовые элементы сборки (ТЭС) или ячейки, типо-

вые элементы замены (ТЭЗ), печатные платы (ПП), которые конструктивно

и электрически объединяют ИС и ЭРЭ.

 Модули 3 уровня - блоки (панели), которые с помощью плат и карка-

сов объединяют ячейки в конструктивный узел.

 Модули 4 уровня - рама (конструктивный узел - каркас рамы), кото-

рая объединяет блоки в единое целое.

 Модули 5 уровня - стойка (конструктивный узел - каркас стойки),

которая может объединять несколько рам в единое целое.

 Модули 6 уровня - устройства.

 На практике при конструировании РЭА могут использоваться различ-

ные наборы уровней модульности. Например, в телевизоре имеются модули

1, 2, и 6 уровней.

 1.2. Основные направления развития РЭА

 Основными направлениями развития РЭА является микроминиатюриза-

ция, повышение степени интеграции и комплексный подход к разработке.

Микроминиатюризация - это микромодульная компоновка элементов с приме-

нением интегральной и функциональной микроэлектроники. При микромо-

дульной компоновке элементов осуществляют микроминиатюризацию дискрет-

ных ЭРЭ и сборку их в виде плоских или пространственных (этажерочных)

модулей. В основе интегральной микроэлектроники лежит использование ИС

и больших интегральных схем (БИС), применение групповых методов изго-

товления, машинных методов проектирования ТП, изготовления и контроля

изделий.

 Функциональная микроэлектроника основана на непосредственном ис-

пользовании физических явлений, происходящих в твердом теле или вакуу-

ме (магнитные, плазменные и т.д.). Элементы создают, используя среды с

распределенными параметрами. Основной задачей здесь является получение

сред с заданными свойствами.

 Трудоемкость производства сборочных единиц РЭА может быть предс-

тавлена в таком соотношении: механообработка - 8-15 %, сборка - 15-20

%, электрический монтаж - 40-60 %, наладка - 20-25 %.

 Следовательно, основными конструктивно-технологическими задачами

производства РЭА являются: разработка ИС на уровне ячеек и сборочных

единиц и совершенствование технологии их изготовления, повышение плот-

ности компоновки навесных элементов на ПП и плотности печатного монта-

жа; совершенствование методов электрических соединений модулей 1, 2 и

3, 4 уровней, развитие автоматизированных и автоматических методов,

средств наладки и регулировки аппаратуры сложных РТС, создание гибких

производственных производств (ГАП).

 В технологии производства РЭА используются процессы, свойственные

машино- и приборостроению: литье, холодная штамповка, механическая об-

работка, гальванические и лакокрасочные покрытия.

 1.3. Структура производства РЭА, особенности

 иерархических уровней производства РЭА, их роль

 и место в производстве РЭА

 1.3.1. Организационная структура "типового" предприятия

 В соответствии с Законом "О предприятии и предпринимательской де-

ятельности" определено только, что на предприятии должен быть директор

и главный бухгалтер, а остальная организационная структура предприятия

является его внутренним делом и не регламентируется. Однако, это не

освобождает руководство предприятия от ответственности за выполнение

всех традиционных функций: охрану труда, технику безопасности, выпуск

 - 8 -

продукции заданного качества и т.д. Поэтому большинство предприятий

имеют приблизительно одинаковую структуру управления, хотя и со специ-

фическими особенностями, определяемыми технологией и объемом произ-

водства, родом деятельности, местоположением и т.д.. Типовую структуру

производства РЭА, как и любого другого производства машино- и прибо-

ростроения, можно представить в виде рис. 1.

 Приведенная структура предприятия естественно не является полной

и исчерпывающей. В ней не представлены жилищно-коммунальные службы

(жилые дома, общежития, стадионы, дома культуры, библиотеки, медпункты

или поликлиники, детские сады и ясли, столовые, столы заказов и т.д.),

характерные для многих предприятий РФ. Кроме того, могут быть выделе-

ны в самостоятельные подразделения склады сырьевых материалов, комплек-

тующих изделий, оснастки и инструмента, измерительных приборов, гото-

вой продукции; цеха по изготовлению тары и упаковке продукции; магази-

ны и т.д. Предприятия могут иметь свои учебные заведения (школы, ПТУ,

филиалы ВУЗов и техникумов).

 Далее мы остановимся подробнее на некоторых из представленных на

схеме подразделений.

 1.3.2. Задачи производственных подразделений

 Структура и количество производственных подразделений на предпри-

ятии целиком определяются количеством, номенклатурой и технологией

производства выпускаемых изделий. Для предприятий, выпускающих РЭА,

принято деление цехов на заготовительные, механообработки и сборочные.

Как уже отмечалось могут быть еще тарные и упаковочные. При больших

объемах производства цеха могут объединяться в производственные комп-

лексы и (или) делиться на участки, бригады. Производственные подразде-

ления могут работать в односменном и многосменном режиме, существуют

непрерывные производства.

 В любом случае за каждым производственным подразделением закреп-

ляется определенная номенклатура продукции (заготовок, полуфабрикатов

и т.д.) и определенный набор технологических операций, которые оно

должно выполнять в соответствии с принятой на предприятии технологией

производства. Поэтому основной задачей каждого производственного под-

разделения является выпуск продукции заданного качества в заданных ко-

личествах.

 Для выполнения этой главной задачи требуется выполнение целого

комплекса задач, таких как:

 1. Поддержание трудовой и производственной дисциплины.

 2. Поддержание в рабочем состоянии технологического оборудования,

средств измерений и систем автоматизации.

 3. Выполнение правил техники безопасности и охраны труда, проти-

вопожарных мероприятий, радиационной и химической защиты, и т.д.

 4. Обучение производственного персонала технологическим правилам

и приемам.

 5. Своевременная замена пришедшего в непригодность инструмента,

оснастки, технологического оборудования, средств измерений и автомати-

зации.

 Для того, чтобы производство имело перспективу в производственных

подразделениях должно постоянно происходить обновление технологическо-

го оборудования, систем автоматизаций и средств измерений, а, значит,

необходимо все это осваивать. Необходимо повышать квалификацию персо-

нала и качество его работы, чтобы осваивать новые виды продукции, по-

вышать ее качество, сокращать затраты топлива, энергии, сырья на ее

производство.

 1.3.3. Организация технологической службы на производстве.

.

 - 9 -

 ┌───────────────┐

 │Директор завода│

 └───────┬───────┘

 │

 ┌──────────────────┬─────────────────┬──────┴──────────┬────────────────────────┐

 │ │ │ │ │

┌───────┴───────┐ ┌────────┴───────┐ ┌───────┴───────┐ ┌───────┴──────┐ ┌───────────────┴────────────────┐

│Главный инженер│ │Зам. директора │ │Зам. директора │ │Главный │ │Зам. директора по общим вопросам│

└┬──────────────┘ │по экономике │ │по качеству │ │бухгалтер │ └┬───────────────────────────────┘

 │ ┌─────────────┐└┬───────────────┘ └┬──────────────┘ └┬─────────────┘ │ ┌─────────────────────────────┐

 ├─┤производствен│ │ ┌─────────────┐ │ ┌────────────┐ │ ┌───────────┐ ├─┤отдел кадров │

 │ │но-техничес- │ ├─┤планово-эконо│ ├─┤отдел техни-│ ├─┤бухгалтерия│ │ └─────────────────────────────┘

 │ │кий отдел │ │ │мический от- │ │ │ческого конт│ │ └───────────┘ │ ┌─────────────────────────────┐

 │ └─────────────┘ │ │дел │ │ │роля │ │ ┌───────────┐ ├─┤общий отдел │

 │ ┌─────────────┐ │ └─────────────┘ │ └────────────┘ └─┤касса │ │ └─────────────────────────────┘

 ├─┤отдел главно-│ │ ┌─────────────┐ │ ┌────────────┐ └───────────┘ │ ┌─────────────────────────────┐

 │ │го технолога │ ├─┤отдел труда и│ ├─┤центральная │ ├─┤спец. отдел │

 │ └─────────────┘ │ │зарплаты │ │ │лаборатория │ │ └─────────────────────────────┘

 │ ┌─────────────┐ │ └─────────────┘ │ └────────────┘ │ ┌─────────────────────────────┐

 ├─┤отдел главно-│ │ ┌─────────────┐ │ ┌────────────┐ ├─┤штаб гражданской обороны │

 │ │го энергетика│ ├─┤отдел мате- │ ├─┤служба управ│ │ └─────────────────────────────┘

 │ └─────────────┘ │ │риально-техни│ │ │ления качест│ │ ┌─────────────────────────────┐

 │ ┌─────────────┐ │ │ческого снаб-│ │ │вом │ ├─┤отдел охраны труда и техники │

 ├─┤отдел главно-│ │ │жения │ │ └────────────┘ │ │безопасности │

 │ │го механика │ │ └─────────────┘ │ ┌────────────┐ │ └─────────────────────────────┘

 │ └─────────────┘ │ ┌─────────────┐ ├─┤служба стан-│ │ ┌─────────────────────────────┐

 │ ┌─────────────┐ ├─┤отдел сбыта │ │ │дартизации │ ├─┤отдел капитального строи- │

 ├─┤отдел главно-│ │ └─────────────┘ │ └────────────┘ │ │тельства │

 │ │го конструк- │ │ ┌─────────────┐ │ ┌────────────┐ │ └─────────────────────────────┘

 │ │тора │ └─┤коммерческий │ └─┤отдел главно│ │ ┌─────────────────────────────┐

 │ └─────────────┘ │отдел │ │го метролога│ ├─┤ремонтно-строительный участок│

 │ ┌─────────────┐ └─────────────┘ └────────────┘ │ └─────────────────────────────┘

 ├─┤отдел КИП и А│ Рис. 1. Структура управления "типовым" предприятием │ ┌─────────────────────────────┐

 │ └─────────────┘ ├─┤транспортный участок │

 │ ┌─────────────┐ │ └─────────────────────────────┘

 └─┤производствен│ │ ┌─────────────────────────────┐

 │ные цеха │ └─┤подсобное хозяйство │

 └─────────────┘ └─────────────────────────────┘

.

 - 10 -

 Основные обязанности технологов в различных технологических

 службах.

 Схему разработки и постановки на производство новых видов продук-

ции можно представить в следующем виде (рис. 2):

──────────────────────────────────────────────────────────────────────

 ┌─────┐ ┌────────────────────────────┐ ┌─────────────────┐

 │ │ │ │ │ КБ по разработке│

 │ НИИ ├─────┤ КБ (по разработке изделия)├───┤ТП и оснастки │

 └─────┘ └────────────────────────────┘ └───────────┬─────┘

 ┌───────────────────────────────────────────────────┐ ┌──┴───┐

 │ технологическая служба цеха в составе техбюро │ │ │

 │ и технологов участков ├──┤ ОГТ │

 └───────────────────────────────────────────────────┘ └──────┘

 Рис. 2. Схема разработки продукции.

──────────────────────────────────────────────────────────────────────

 Задача технологов, работающих в НИИ, заключается в разработке но-

вых материалов, изделий, основных принципов новых технологических про-

цессов, разработке типовых технологических регламентов производства

продукции, разработке предложений по повышению качества выпускаемой

продукции и существующих технологических процессов. Здесь требуется

знание современных тенденций развития науки и техники, математических

методов моделирования, состояния отечественного и зарубежного произ-

водства. Разработка по новому изделию или технологическому процессу на

уровне НИИ заканчивается выдачей технического задания для соответству-

ющего КБ. Далее, в процессе работы над изделием или техпроцессом, тех-

нологи НИИ постоянно работают с технологами КБ (более подробно вопросы

разработки будут рассмотрены ниже).

 Технологи КБ должны знать основы экономики данного производства и

ценообразования изделия для того, чтобы разрабатываемый технологи-

ческий процесс позволял выпускать продукцию более низкой себестои-

мости, чем аналоги.

 Разработанная технологическая документация из КБ поступает в

службу главного технолога, где проводится экспертиза разработанного

проекта на предмет возможности запуска в производство. Отдел главного

технолога совместно с другими службами завода разрабатывает мероприя-

тия по запуску изделия в производство или постановке нового технологи-

ческого процесса. Эти мероприятия называются технологической подготов-

кой производства (ТПП). Для действующих технологических процессов и

выпускаемой номенклатуры производства в службе главного технолога хра-

нится вся нормативно-справочная информация об изделиях и процессах

(типовой и заводской технологические регламенты производства, нормати-

вы на материалы и комплектующие изделия, картотека применяемости вы-

пускаемых изделий, картотека заменяемости материалов и комплектующих

изделий, нормативы трудоемкости изготовления изделия, маршрутные карты

и остальная технологическая документация по ТПП).

 Цеховые технологи в техбюро занимаются вопросами разработки нор-

мативов на изготовление изделий (материальных и трудовых), разрабаты-

вают предложения по усовершенствованию существующих технологических

процессов, решают вопросы замены материалов и комплектующих изделий

(по согласованию с ОГТ), вносят соответствующие изменения в существую-

щую технологическую документацию. Технологи техбюро должны уметь расс-

читать загрузку технологического оборудования, потребность в недостаю-

щих станках и механизмах при изменении объема выпуска или номенклатуры

продукции, составить заявку на приобретение недостающего оборудования

или составить ТЗ на разработку нестандартного оборудования или оснаст-

ки. Они должны уметь планировать установку оборудования таким образом,

чтобы свести к минимуму пути перемещения заготовок. Основной их зада-

 - 11 -

чей является поддержание заданных технологических режимов производства

и ликвидация их нарушений, анализ причин появления брака на закреплен-

ном за ними участке производства.

 В связи с требованиями экологии технологу необходимо знать нали-

чие и мощность источников выделения вредных веществ или излучений в

окружающую среду, технологические приемы их предупреждения или умень-

шения, опасность, представляемую ими, наличие и технические характе-

ристики очистных устройств для очистки и регенерации промышленных сто-

ков и вредных выбросов в атмосферу, наличие и технические характерис-

тики защитных устройств.

 Технологи участков в основном занимаются контролем хода произ-

водственного процесса с точки зрения его качества (выясняют причины

брака и принимают меры по его ликвидации или доработке, или готовят

предложения по его ликвидации, если для этого требуются усилия других

участков цеха или других цехов) и количества выпускаемой продукции.

Решают вопросы обеспечения материалами и комплектующими изделиями и

оценивают их качество. На участках испытания технологи проводят испы-

тания и тренировку на тренировочных или испытательных стендах выпущен-

ных приборов или узлов и измеряют параметры изделия на соответствие

техдокументации и требованиям ГОСТ или ТУ, проводят анализ видов и

причин брака. Все технологи цеха принимают участие в испытаниях специ-

альной оснастки и оборудования, проводят инструктаж и обучение рабо-

чих, выполняющих технологические операции, оказывают помощь в наладке

оборудования и оснастки.

 Все технологи, принимающие участие в разработке и эксплуатации

технологических процессов должны знать процессы, свойственные произ-

водству РЭА.

 1.3.4. Задачи экономических и коммерческих подразделений

 В сегодняшних условиях на экономические и коммерческие подразде-

ления ложится тяжелая и сложная задача материального и финансового

обеспечения деятельности предприятия.

 Поэтому задачами экономических и коммерческих подразделений явля-

ются:

 1. Поиск клиентов;

 2. Заключение договоров на поставку продукции;

 3. Получение с клиентов оплаты за поставленную продукцию;

 4. Заключение договоров на поставку сырья, комплектующих изделий,

топлива и энергии, инструментов, приборов, технологического и другого

оборудования;

 5. Оплата поставщикам;

 6. Планирование деятельности производственных подразделений;

 7. Оплата труда сотрудников предприятия;

 8. Расчеты с государством и местными органами управления (оплата

налогов, обязательных отчислений и т.д.);

 9. Ведение финансовой документации предприятия.

 1.3.5. Задачи вспомогательных служб и подразделений

 Как следует из названия основной задачей этих подразделений явля-

ется помощь производственным подразделениям в выполнении их функций. В

связи с разнообразием условий, в которых работают различные предприя-

тия, перечень функций вспомогательных подразделений может существенно

различаться, однако ряд задач присутствует на большинстве предприятий.

Среди них основными являются:

 1. Обеспечение предприятия кадрами сотрудников;

 2. Ведение учета входящей и исходящей корреспонденции, получение

 - 12 -

и отправка ее;

 3. Ведение учета и хранение подлинников приказов и распоряжений;

 4. Охрана государственной и коммерческой тайны;

 5. Охрана труда и контроль за соблюдением правил техники безопас-

ности;

 6. Подготовка предприятия к работе в особых условиях (война, по-

жар, радиоактивное и химическое загрязнение);

 7. Ремонт и строительство производственных и административных по-

мещений;

 8. Обеспечение служебных перевозок.

 1.4. Система обеспечения качества продукции

 В систему обеспечения качества продукции входит несколько направ-

лений работы, которые в большей или меньшей степени выполняются на

каждом предприятии. Среди них основными являются: создание нормативной

базы; метрологическое обеспечение производства; контроль хода техноло-

гического процесса и качества выпускаемой продукции; создание системы

обеспечения качества на предприятии. Рассмотрим их последовательно.

 1.4.1. Система стандартизации

 В соответствии с законом РФ "О стандартизации": стандартизация -

это деятельность по установлению норм, правил и характеристик (далее -

требований) в целях обеспечения:

 - безопасности продукции, работ и услуг для окружающей среды,

жизни, здоровья и имущества людей;

 - технической и информационной совместимости, а также взаимозаме-

няемости продукции;

 - качества продукции, работ и услуг в соответствии с уровнем раз-

вития науки, техники и технологии;

 - единства измерений;

 - экономии всех видов ресурсов;

 - безопасности хозяйственных объектов с учетом риска возникнове-

ния природных и техногенных катастроф и других чрезвычайных ситуаций;

 - обороноспособности и мобилизационной готовности страны.

 Назначением государственной системы стандартизации является уста-

новление взаимосвязанных правил и положений по порядку разработки всех

видов изделий, документации, технологических процессов и систем управ-

ления.

 Стандарты бывают международные, национальные, отраслевые, науч-

но-технических и инженерных обществ, предприятия.

 Существуют следующие виды стандартов:

 - организационно-методические;

 - термины и определения;

 - номенклатура продукции или показателей качества;

 - технические условия;

 - общие технические условия;

 - технические требования;

 - общие технические требования;

 - методы испытаний;

 - правила приемки;

 - правила хранения;

 - правила транспортирования;

 - правила упаковки;

 - маркировка;

 - эксплуатация и ремонт;

 - и др.

 - 13 -

 Обозначения национальных стандартов в РФ: ГОСТ Р АБ.ВГДЕЖ-ЗИ, где

Р - обозначает стандарт РФ (может отсутствовать, если это стандарт СНГ

или СССР, это можно уточнить только по году утверждения: до 1992 г. -

СССР); АБ - обозначение комплекса стандартов, к которому относится

стандарт (один-два знака), иногда может отсутствовать; ВГДЕЖ - регист-

рационный номер стандарта в комплексе стандартов или в классификаторе

стандартов (от одной до пяти цифр); ЗИ - последние две цифры года пос-

леднего утверждения стандарта. После года утверждения может стоять

символ "А", если этот стандарт используется только в атомной энергети-

ке. Например, ГОСТ 3.1403-82 обозначает, что этот стандарт СССР отно-

сится к комплексу стандартов ЕСТД (единая система технологической до-

кументации), 1403 - порядковый номер в комплексе стандартов ЕСТД, 82 -

год последнего утверждения стандарта 1982 г.

 В случае применения международного стандарта в качестве государс-

твенного стандарта РФ его обозначение строится по следующей схеме:

ГОСТ Р АБВ ГДЕЖЗ-ИК, где: АБВ - сокращенное название международной ор-

ганизации, которой принадлежит стандарт, в русской транскрипции; ГДЕЖЗ

- номер стандарта по классификатору международной организации, которой

он принадлежит; ИК - последние две цифры года его утверждения в ка-

честве государственного стандарта РФ. Например, государственный стан-

дарт РФ, оформленный на основе перевода стандарта ISO 9591:1992, имеет

обозначение ГОСТ Р ИСО 9591-93.

 Некоторые примеры комплексов стандартов:

 ГОСТ 1.хххх-хх - государственная система стандартизации (ГСС);

 ГОСТ 2.хххх-хх - единая система конструкторской документации

(ЕСКД);

 ГОСТ 3.хххх-хх - единая система технологической документации

(ЕСТД);

 ГОСТ 6.хххх-хх - унифицированная система плановой документации;

 ГОСТ 8.хххх-хх - государственная система обеспечения единства из-

мерений (ГСИ);

 ГОСТ 12.хххх-хх - система стандартов безопасности труда (ССБТ);

 ГОСТ 14.хххх-хх - единая система технологической подготовки про-

изводства (ЕСТПП);

 ГОСТ 21.хххх-хх - унифицированная система проектной документации;

 ГОСТ 24.хххх.х-хх - единая система стандартов АСУ;

 ГОСТ 40.хххх-хх - системы обеспечения качества.

 В качестве примера назначения комплекса стандартов рассмотрим

ЕСТД. В соответствии с ГОСТ 3.001-81 "ЕСТД. Общие положения" ЕСТД -

комплекс государственных стандартов и руководящих нормативных докумен-

тов, устанавливающих взаимосвязанные правила и положения по порядку

разработки, комплектации, оформления и обращения технологической доку-

ментации, применяемой при изготовлении и ремонте изделий (включая

контроль, испытания и перемещения). Назначением ЕСТД является:

 1. Обеспечение применения различных методов и средств проектиро-

вания, обработки информации и различных технологических документов;

 2. Обеспечение оптимальных условий при передаче технологической

документации;

 3. Применение унифицированных бланков технологических документов;

 4. Применение единых правил оформления технологических документов

в зависимости от типа и характера производства, состава и вида разра-

ботанных технологических процессов, применяемых способов их описания;

 5. Создание необходимых условий для разработки прогрессивных ти-

повых и групповых технологических процессов;

 6. Создание информационной базы для АСУП и САПР;

 7. Создание предпосылок по снижению трудоемкости монтажно-техно-

логических работ в сфере технологической подготовки и управления про-

изводством;

 - 14 -

 8. Обеспечение взаимосвязи с комплексами стандартов ЕСКД и ЕСТПП.

 В качестве пояснения, что такое группы стандартов, рассмотрим их

на примере ЕСТД:

 0 - общие положения;

 1 - основные стандарты;

 2 - классификация и обозначения технологических документов;

 3 - учет применения деталей и сборочных единиц в изделиях и

средствах технологической оснастки;

 4 - основное производство, формы технологических документов и

правила их оформления на процессы, специализированные по видам работ;

 5 - основное производство, формы технологических документов и

правила их оформления на испытания и контроль;

 6 - вспомогательное производство, формы технологических докумен-

тов и правила их оформления;

 7 - правила заполнения технологических документов;

 9 - информационная база.

 В качестве примера содержания стандарта рассмотрим содержание

стандарта вида технические требования. Он включает в себя:

 - область применения;

 - технические требования к продукции;

 - обозначение продукции;

 - правила упаковки и маркировки;

 - правила хранения и транспортирования;

 - правила приемки;

 - методы испытаний;

 - гарантийные обязательства;

 - используемые термины;

 - перечень нормативных документов, на которые даны ссылки в дан-

ном стандарте;

 - приложения.

 В РФ национальным органом по стандартизации является Госстандарт

РФ. Он утверждает организационно-методические стандарты и большинство

остальных, координирует и организует деятельность по стандартизации в

стране, представляет РФ в международных организациях по стандартиза-

ции. Кроме него стандарты могут утверждать:

 - Минстрой РФ - стандарты в области строительства и строительных

материалов;

 - Минприроды РФ - стандарты в области охраны окружающей среды.

 Разработка национальных стандартов в РФ может проводиться специа-

лизированными институтами Госстандарта РФ, Минстроя РФ, Минприроды РФ,

головными и базовыми организациями по стандартизации по отраслям на-

родного хозяйства. В любом случае разработка стандарта включает в се-

бя:

 - разработку ТЗ на стандарт;

 - согласование ТЗ с головным органом государственного управления;

 - разработка первой редакции стандарта;

 - согласование первой редакции с заинтересованными организациями

по утвержденному списку;

 - сбор отзывов потребителей и изготовителей продукции и заинтере-

сованных организаций;

 - разработка второй редакции стандарта с учетом замечаний и пред-

ложений заинтересованных организаций;

 - утверждение стандарта;

 - внедрение стандарта в заинтересованных организациях.

 Отраслевые стандарты разрабатываются и утверждаются соответствую-

щими министерствами и ведомствами и регламентируют те же вопросы, что

и государственные стандарты, однако являются обязательными только для

предприятий, подотчетных соответствующим ведомствам. Отраслевые стан-

 - 15 -

дарты не могут нарушать требований государственных стандартов, но мо-

гут их расширять и дополнять или ужесточать с учетом конкретной специ-

фики данной отрасли. Структура обозначения отраслевого стандарта: ОСТ

АБ.ВГДЕ-ЖЗ, где АБ - код министерства или ведомства, утвердившего

стандарт; ВГДЕ - номер стандарта в системе данного ведомства (может

содержать любую структуру и количество знаков, принятую в данном ве-

домстве); ЖЗ - две последние цифры года последнего утверждения стан-

дарта. Примеры кодов министерств и ведомств:

 4 - радиопромышленность;

 11 - электронная промышленность;

 21 - промышленность строительных материалов;

 50 - Госстандарт РФ.

 Стандарты научно-технических и инженерных обществ разрабатываются

и утверждаются соответствующими обществами для внутреннего применения,

они не могут нарушать требований государственных стандартов, но могут

их дополнять или ужесточать. Структура обозначений стандартов науч-

но-технических и инженерных обществ аналогична обозначению отраслевого

стандарта, только вместо ОСТ используется аббревиатура СТО, а вместо

кода ведомства используется аббревиатура данного научно-технического

или инженерного общества.

 Стандарты предприятия разрабатываются и утверждаются соответству-

ющим предприятием для своих нужд. Они могут регламентировать любые

стороны жизнедеятельности предприятия, являются обязательными для всех

его подразделений. Стандарты предприятия не могут противоречить отрас-

левым или государственным стандартам, однако могут их дополнять, уточ-

нять, ужесточать с учетом конкретной специфики деятельности данного

предприятия. Структура обозначения стандарта предприятия аналогична

ГОСТ с заменой аббревиатуры ГОСТ Р на СТП.

 Кроме стандартов в качестве нормативно-технических документов

(НТД) могут использоваться:

 - руководящие документы (РД) министерств и ведомств, структура их

обозначения и статус аналогичен отраслевому стандарту с заменой букв

ОСТ на РД;

 - методические указания (МУ), структура их обозначения и статус

аналогичен отраслевому стандарту или стандарту предприятия в зависи-

мости от того, кто их утвердил с заменой букв ОСТ или СТП на МУ;

 - технические условия (ТУ) на продукцию или услуги, структура их

обозначения зависит от принадлежности предприятия и срока его сущест-

вования:

 1. Если предприятие существует сравнительно давно, входит или

входило в структуру какого-либо министерства или ведомства, то его

технические условия имеют обозначение: ТУ АБ.ВГДЕЖЗИК.ЛМН-ОП, где АБ -

код министерства или ведомства, к которому принадлежит или принадлежа-

ло данное предприятие (как у ОСТ); ВГДЕЖЗИК - код предприятия по Обще-

российскому Классификатору Предприятий и Организаций (ОКПО); ЛМН - ре-

гистрационный номер ТУ по классификатору данного предприятия; ОП - две

последние цифры года утверждения ТУ.

 2. Если предприятие существует недавно, сразу возникло как неза-

висимое, то его технические условия имеют обозначение: ТУ

АБВГ.ДЕЖ.ЗИКЛМНОП-РС, где: АБВГ - группа продукции по Общероссийскому

классификатору продукции (ОКП); ДЕЖ - регистрационный номер ТУ по

классификатору данного предприятия; ЗИКЛМНОП - код предприятия по ОК-

ПО; РС - две последние цифры года утверждения ТУ.

 - другие (методики измерений, инструкции по поверке и т.д.).

 1.4.2. Общие представления о международной стандартизации,

 опыт развитых стран

 - 16 -

 В мире действует более 20 международных организаций по стандарти-

зации, построенных по отраслевому или региональному принципу. Каждая

из них имеет свои особенности. Рассмотрим только наиболее известные и

крупные из них.

 Наиболее известной и крупной международной организацией по стан-

дартизации является ISO, в нее входит более 170 стран. Эта организация

разрабатывает международные стандарты всех возможных видов: организа-

ционно-методические, технические требования, методы испытаний и т.д.

Организационно ISO состоит из секретариата и технических комитетов по

направлениям деятельности, которые в свою очередь делятся на подкоми-

теты и рабочие группы по конкретным вопросам, связанным с разработкой

стандартов. Каждый технический комитет ведет одна из стран-членов ISO,

хотя в его работе участвуют представители всех заинтересованных стран.

 Разработка стандартов ISO обычно происходит следующим образом:

выбирается за основу действующий национальный стандарт одной из

стран-лидеров в данной области и, в качестве первой редакции стандарта

ISO, переводится на английский, французский, немецкий и русский языки

и рассылается для ознакомления и сбора отзывов всем членам техническо-

го комитета по данному направлению. Затем на основании отзывов разра-

батывается вторая редакция и процесс повторяется. После этого собира-

ется заседание технического комитета, на котором обсуждаются разногла-

сия и вырабатывается единая редакция документа, которая утверждается

на основе консенсуса. Обозначения стандартов ISO аналогичны ГОСТ,

только год утверждения отделяется двоеточием, а не тире и пишется пол-

ностью. Следует помнить, что стандарты ISO носят рекомендательный ха-

рактер, хотя часто применяются в международных контрактах в качестве

обязательных.

 Кроме ISO существует ряд региональных организаций по стандартиза-

ции. Наиболее влиятельной из них является SEN - организация по стан-

дартизации стран европейского общего рынка. Членами SEN являются все

страны-члены европейского союза (15 стран) плюс 4 присоединившихся к

ним европейских страны. В SEN принимают только промышленно развитые

страны с высоким уровнем качества продукции. США, России, Японии было

отказано в приеме при создании организации. Организационная структура

и порядок разработки стандартов в SEN тот же, что в ISO. Выполнение

требований стандартов SEN обязательно для всех стран-участников. Ос-

новное назначение стандартов SEN - заменить национальные стандарты

стран-участников по мере интеграции их в европейском союзе, поэтому

они утверждаются на основе консенсуса. Это приводит к длительной про-

цедуре их согласования, поэтому часто в международной практике исполь-

зуются в качестве нормативно-технических документов проекты стандартов

SEN. Обозначения стандартов SEN аналогичны ISO.

 В мире существует несколько международных организаций по стандар-

тизации, построенных по отраслевому принципу. Наибольшую известность

из них имеет МЭК, которая курирует все вопросы, связанные с электри-

ческой и электронной техникой. Организационная структура и принципы

деятельности ее аналогичны ISO, часто они работают совместно и выпус-

кают единые документы, неоднократно делались попытки их слить в одну

организацию. Обозначения стандартов МЭК аналогичны ГОСТ, в случае вы-

пуска совместного стандарта с ISO он имеет обозначение ISO/IEC.

 Существует ряд организаций ООН по вопросам стандартизации. Напри-

мер, EC UNO, которая курирует вопросы безопасности наземного транспор-

та и ее правила являются практически обязательными для всех стран-чле-

нов ООН, поскольку включены в международную правовую систему.

 Нужно помнить, что кроме официально признанных международных

стандартов, существуют национальные стандарты развитых стран, которые

фактически используются в качестве международных. Например, шведский

стандарт MPR II используется к качестве международного стандарта, рег-

 - 17 -

ламентирующего требования к мониторам для ПК.

 Организация работ по стандартизации в большинстве стран мира

построена по похожим схемам. Разница обычно заключается в степени

централизации разработки стандартов и уровне участия в ней коммер-

ческих и общественных организаций. Следует отметить, что в большинстве

стран мира требования к продукции регламентируются не для производимой

продукции, а для потребляемой на территории данной страны. В условиях

рыночной экономики стандарт является орудием конкурентной борьбы, поэ-

тому участие в его разработке является оружием против возможных конку-

рентов: высокие требования отсекают слабых конкурентов, а низкие тре-

бования привлекают новых поставщиков.

 В США нет единого правительственного органа, занимающегося стан-

дартизацией, а существует несколько федеральных институтов, занимаю-

щихся стандартизацией в определенных областях деятельности. Например,

ASTM - стандарты в области строительства, строительных материалов. Ак-

тивное участие в разработке стандартов принимают общественные органи-

зации. Например, многие стандарты на товары народного потребления раз-

работаны обществом потребителей. Коммерческие организации обычно при-

нимают участие в разработке стандартов на этапе их согласования и, до-

вольно часто, финансируют разработку стандартов на свою продукцию.

 В ФРГ организация работ по стандартизации во многом похожа на

США, только меньше влияние общественных организаций и сильнее чувству-

ется влияние мощных концернов на повышение требований к качеству про-

дукции, чтобы уменьшить поставки дешевых товаров из других стран.

 Во Франции централизованная система работ по стандартизации и NBS

полностью контролирует и координирует все работы в этой области. Ком-

мерческие и общественные организации могут участвовать в этой работе

только на этапе обсуждения и согласования стандарта.

 1.4.3. Задачи службы стандартизации на предприятии

 Служба стандартизации на предприятии может выполнять следующие

функции:

 - головной организации по стандартизации своей отрасли;

 - базовой организации по стандартизации своей подотрасли;

 - службы стандартизации своего предприятия.

Необходимо отметить, что все эти функции или любое их сочетание могут

быть возложены на одну службу. В зависимости от выполняемых функций

различаются задачи службы стандартизации.

 Основной задачей головной организации по стандартизации в отрасли

является координация работ по стандартизации с директивными органами,

Госстандартом, Минстроем, Минприроды и организациями своей отрасли.

 Основными задачами базовой организации по стандартизации явля-

ются:

 - разработка проектов стандартов на продукцию и методы ее испыта-

ний для своей подотрасли;

 - согласование проектов стандартов смежных отраслей;

 - экспертиза и согласование проектов ТУ, разработанных предприя-

тиями, на продукцию, закрепленную за базовой организацией.

 Основными задачами службы стандартизации предприятия являются:

 - ведение (хранение и актуализация) фонда нормативно-технической

документации по вопросам деятельности предприятия;

 - разработка технических условий на продукцию, выпускаемую предп-

риятием;

 - экспертиза и согласование проектов нормативно-технических доку-

ментов, поступающих на предприятие;

 - разработка стандартов предприятия по внутренним вопросам его

деятельности.

 - 18 -

 1.4.4. Метрологическое обеспечение производства и задачи

 службы главного метролога на предприятии

 В соответствии с законом РФ "Об обеспечении единства измерений"

метрологическое обеспечение производства включает в себя все работы,

связанные с обеспечением единства и требуемой точности измерений в со-

ответствии с принятой на предприятии технологией производства и требо-

ваниями к качеству выпускаемой продукции.

 Основными обязанностями метрологической службы являются:

 1. Обеспечение единства и требуемой точности измерений, повышение

уровня метрологического обеспечения предприятия.

 2. Внедрение в практику работы предприятия современных методов и

средств измерений и испытаний, направленное на повышение эффективности

производства, технического уровня и качества продукции.

 3. Организация и проведение ремонта, метрологической аттестации и

поверки средств измерений и испытаний, находящихся в эксплуатации на

предприятии.

 4. Проведение метрологической экспертизы проектов нормативно-тех-

нической, технологической и конструкторской документации, разрабатыва-

емой на предприятии, а также другими организациями по договорам с

предприятием для использования на данном предприятии.

 5. Проведение работ по метрологическому обеспечению подготовки

производства к выпуску новой продукции или освоению новых технологи-

ческих процессов.

 6. Участие в аттестации испытательных подразделений, в работе по

подготовке продукции к сертификации.

 7. Осуществление метрологического надзора за состоянием и приме-

нением средств измерений и испытаний, за внедрением и соблюдением мет-

рологических правил, требований и норм, за метрологическим обеспечени-

ем производства в цехах, участках и отделах предприятия.

 8. Определение оптимальной номенклатуры методик и средств измере-

ний и испытаний, соответствующей требованиям нормативно-технической,

технологической и конструкторской документации на выпускаемую продук-

цию и обеспечивающей повышение эффективности и безопасности производс-

тва.

 9. Метрологическая аттестация методик выполнения измерений и ис-

пытаний, разрабатываемых на предприятии или по его заказу другими ор-

ганизациями для применения на данном предприятии.

 10. Метрологическая аттестация стандартных образцов предприятия

состава и свойств веществ и материалов, разрабатываемых на предприятии

или по его заказу другими организациями для применения на данном

предприятии.

 11. Метрологическая аттестация автоматизированных систем управле-

ния технологическими процессами и информационно-измерительных систем,

применяемых в процессе производства или испытаний продукции.

 12. Разработка программ метрологической аттестации нестандартизо-

ванных средств измерений и испытаний, автоматизированных систем управ-

ления технологическими процессами, информационно-измерительных систем,

стандартных образцов состава и свойств веществ и материалов, разрабо-

танных на предприятии или проверка их наличия и соответствия их предъ-

являемым требованиям при получении указанных технических средств от их

разработчика или изготовителя.

 1.4.5. Контроль хода технологического процесса и качества

 выпускаемой продукции и задачи ЦЗЛ и ОТК

 В процессе производства необходимо контролировать соблюдение тех-

 - 19 -

нологических режимов производства и качество выпускаемой продукции, а

также поступающего на предприятие сырья, материалов, комплектующих из-

делий. Кроме того, необходимо контролировать качество полуфабрикатов,

получаемых в процессе производства. Поэтому система контроля обычно

состоит из трех звеньев: контроль на рабочих местах, лабораторный

контроль и контроль ОТК. Распределение обязанностей зависит от внут-

ренней структуры предприятия, принятой технологии производства, приме-

няемых методов контроля. Обычно, деление происходит по следующим прин-

ципам: все, что связано с другими предприятиями (входной контроль и

контроль качества выпускаемой продукции) - работа ОТК; простые нагляд-

ные методы контроля - на рабочих местах; сложные методы контроля - ра-

бота ЦЗЛ. Конечно, это деление очень условно, но в конкретной ситуации

предприятия оно обычно выполняется.

 Основными задачами ЦЗЛ являются:

 1. Входной контроль физико-химических свойств поступающих на за-

вод сырьевых материалов и комплектующих изделий;

 2. Текущий и периодический контроль физико-химических свойств об-

работанных сырьевых материалов, комплектующих изделий, полуфабрикатов

и готовой продукции;

 3. Содействие внедрению в производство передовых технологических

процессов и оборудования, обеспечивающих повышение качества и снижение

себестоимости выпускаемой продукции;

 4. Контроль физико-химических свойств продукции, выпускаемой на

предприятии, на соответствие требованиям стандартов, технических усло-

вий, договоров и контрактов на поставку продукции;

 5. Внедрение современных средств и методов измерений;

 6. Участие в работе по созданию и внедрению новой техники и тех-

нологии в производство.

 Основными обязанностями ОТК являются:

 1. Контроль качества выпускаемой продукции и предотвращение пос-

тавки потребителям продукции, не соответствующей требованиям стандар-

тов, технических условий и описаний, договоров, контрактов, проект-

но-конструкторской и технологической документации, утвержденным образ-

цам-эталонам, другой нормативно-технической документации;

 2. Входной контроль качества сырьевых материалов и комплектующих

изделий, поступающих на предприятие;

 3. Укрепление производственной дисциплины и повышение ответствен-

ности всех звеньев производства за качество выпускаемой продукции;

 4. Анализ причин брака, эффективности системы технического конт-

роля;

 5. Внедрение прогрессивных методов контроля качества выпускаемой

продукции;

 6. Надзор за осуществлением технологического контроля в процессе

производства;

 7. Совершенствование системы технического контроля на предприя-

тии;

 8. Участие в разработке технологических регламентов производства;

 9. Участие в разработке технических условий и описаний на выпус-

каемую продукцию;

 10. Участие в разработке договоров и контрактов на поставку про-

дукции;

 11. Участие в разработке мероприятий по устранению причин брака;

 12. Участие в разработке технических условий, договоров и конт-

рактов на приобретаемые сырьевые материалы, комплектующие изделия;

 13. Участие в согласовании проектов стандартов, технических усло-

вий, договоров и контрактов, разработанных другими организациями;

 14. Участие в испытаниях новых и модернизированных образцов про-

дукции;

 - 20 -

 15. Участие в подготовке к сертификации продукции предприятия;

 16. Назначает и проводит не предусмотренные технологическим рег-

ламентом выборочные проверки качества готовой продукции, сырьевых ма-

териалов, комплектующих изделий и полуфабрикатов, качества выполнения

отдельных технологических операций, качества упаковки и хранения сырь-

евых материалов, комплектующих изделий и готовой продукции, а также

другие проверки, необходимые для обеспечения выпуска продукции в соот-

ветствии с установленными требованиями;

 17. Контролирует выполнение работ по ликвидации забракованной

продукции;

 18. Контролирует правильность упаковки, маркировки и хранения го-

товой продукции;

 19. Контролирует правильность хранения сырьевых материалов и

комплектующих изделий;

 20. Контролирует изолирование и неприменение в производстве бра-

кованных сырьевых материалов, комплектующих изделий и полуфабрикатов;

 21. Контролирует осуществление мероприятий, направленных на сво-

евременное внедрение новых стандартов и технических условий и описа-

ний, договоров и контрактов на поставку продукции, изменений к дейс-

твующим стандартам и техническим условиям и описаниям, договорам и

контрактам на поставку продукции;

 22. Контролирует качество ремонта технологического оборудования;

 23. Оформляет документы, удостоверяющие соответствие продукции

установленным требованиям;

 24. Оформляет рекламации на негодные сырьевые материалы и комп-

лектующие изделия, поступившие на предприятие;

 25. Ведет учет претензий по качеству продукции предприятия, выд-

вигаемых потребителями (как формально оформленных, так и неофициаль-

ных), и принятых по ним мер;

 26. Разрабатывает предложения о повышении требований к качеству

продукции предприятия, потребляемых сырьевых материалов и комплектую-

щих изделий, системе технологического контроля, технологической дис-

циплине производства.

 1.4.6. Системы обеспечения качества продукции.

 Международный и отечественный опыт

 Жизненный цикл продукции включает в себя все работы, производимые

с ней от момента зарождения идеи ее создания до момента ее утилизации

или захоронения. Он включает в себя проведение НИР, ОКР, ТПП, изготов-

ление, монтаж, наладку, испытания, эксплуатацию, ремонт, периодические

проверки работоспособности, утилизацию или захоронение.

 Качество продукции - свойство продукции отвечать предъявляемым к

ней требованиям.

 Система обеспечения качества продукции - комплекс организационно-

методических и нормативно-технических документов, регламентирующих

правила организации работ на всех или некоторых стадиях жизненного

цикла изделия в зависимости от того, какие стадии выполняются на дан-

ном предприятии. В этот комплекс могут входить государственные и от-

раслевые стандарты на продукцию и методы испытаний, технологические

регламенты производства, должностные инструкции сотрудников, организа-

ционно-методические стандарты предприятия. Главная задача этого комп-

лекса - определить порядок действий при проведении работ и ответствен-

ность каждого сотрудника за его действия, ввести критерии оценки ка-

чества труда сотрудников.

 В настоящее время основополагающими стандартами в области созда-

ния и оценки систем обеспечения качества, принятыми во всем мире, яв-

ляются стандарты серии ISO 9000 или их русский перевод ГОСТ 40. Эта

 - 21 -

серия стандартов включает в себя основные положения, термины и опреде-

ления, а также основные требования к системам обеспечения качества,

охватывающим различные стадии жизненного цикла продукции. Основой для

разработки этой серии стандартов послужила система КС УКП, действовав-

шая в нашей стране в 70-80-е годы, поэтому для наших специалистов в

области обеспечения качества эти стандарты новостью не являются.

 Основные принципы этой серии стандартов:

 - главную ответственность за качество несут высшие должностные

лица предприятия;

 - на предприятии должна быть четко определена последовательность

действий при проведении работ;

 - должны быть четко определены требования к каждому действию

(операции);

 - должна быть четкая персональная ответственность за качество

каждого действия;

 - система контроля должна охватывать весь технологический про-

цесс.

 1.4.7. Сертификация продукции и систем качества.

 Международный опыт и система сертификации ГОСТ Р

 Сертификация - это процесс проверки соответствия предъявляемым

требованиям. В зависимости от того, что сертифицируется может быть

сертификация продукции, услуг, систем качества и т.д.

 Сертификация продукции может проводиться:

 - ее изготовителем - сертификация первой стороной;

 - ее потребителем - сертификация второй стороной;

 - независимым сертификационным центром - сертификация третьей

стороной.

 В настоящее время при сертификации продукции широко используется

так называемая трехкатегорийная классификация показателей качества:

 1. Показатели качества, которые могут быть проверены потребителем

непосредственно при получении продукции (внешний вид, работоспособ-

ность и т.д.);

 2. Показатели качества, которые могут быть проверены "нормальным"

потребителем в условиях нормальной эксплуатации (показатели надежнос-

ти, качества работы и т.д.);

 3. Показатели качества, которые могут быть проверены только в

специальных условиях или с помощью специальной аппаратуры (надежность

в экстремальных условиях, экологическая безопасность и т.д.).

 В соответствии с этим делением показателей качества существуют

обязательная и добровольная сертификация. Обязательная сертификация -

сертификация продукции, проводимая по решению директивных органов, без

которой реализация продукции запрещена. Обязательная сертификация в

большинстве стран (в том числе в нашей) включает в себя сертификацию

по показателям качества, характеризующим безопасность применения дан-

ной продукции, ее экологическую безвредность. Обязательная сертифика-

ция проводится специально уполномоченными на это (аккредитованными)

сертификационными центрами.

 Добровольная сертификация проводится по желанию фирмы изготовите-

ля или потребителя продукции по любым показателям качества, интересую-

щим эти фирмы, сертификационным центром, которому они доверяют. Напри-

мер, самый известный в мире сертификационный центр - "Ллойд регистр"

никем не аккредитован, а его сертификаты в области судостроения приз-

наются всеми страховыми компаниями мира.

 Сертификация продукции может проводиться по нескольким схемам:

 1. Сертификация партии продукции - проверяется в соответствии с

нормативно-техническим документом партия продукции и именно на нее вы-

 - 22 -

дается сертификат.

 2. Сертификация продукции с проверкой (аттестацией, сертификаци-

ей) производства - проверяется в соответствии с нормативно-техническим

документом выпускаемая продукция, проверяется производство (технологи-

ческое оборудование, технологическая и организационно-распорядительная

документация, система контроля качества), выдается сертификат на дан-

ную продукцию на срок от 1 до 3 лет, периодически сертификационным

центром проводятся проверки качества выпускаемой продукции и состояния

производства.

 3. Сертификация продукции с сертификацией системы качества на

предприятии - проверяется система качества, действующая на предприя-

тии, производство и выпускаемая продукция, выдается сертификат на сис-

тему качества и всю продукцию предприятия на срок от 1 до 3 лет, пери-

одически сертификационным центром проводятся проверки качества выпус-

каемой продукции и действия системы качества.

 1.5. Типы производств и технологических процессов.

 Состав типового технологического процесса РЭА.

 Производственный процесс - совокупность всех действий людей, ору-

дий производства, необходимых на данном предприятии для изготовления

или ремонта выпускаемых изделий РЭА, т.е. изготовление, сборка, конт-

роль качества, хранение и перемещение деталей, полуфабрикатов и сбо-

рочных единиц на всех стадиях изготовления; организация снабжения и

обслуживания рабочих мест, участков и цехов, управление всеми звеньями

производства, а также комплекс мероприятий по технологической подго-

товке производства.

 Технологический процесс (ГОСТ 3.1109) - часть производственного

процесса, содержащая целенаправленные действия по изменению и (или)

определению состояния предмета труда. Технологические процессы строят

по основным методам их выполнения (процессы литья, механической и тер-

мической обработки, покрытий, сборки, монтажа и контроля РЭА) и разде-

ляют на операции.

 Технологическая операция (ГОСТ 3.1109. Термины и определения. Ос-

новные понятия) - законченная часть технологического процесса, выпол-

няемая непрерывно на одном рабочем месте (над одним или несколькими

одновременно изготовляемыми или собираемыми изделиями одним или нес-

колькими рабочими). Технологическая операция является основной едини-

цей производственного планирования и учета. На основе операций оцени-

вается трудоемкость изготовления изделий и устанавливаются нормы вре-

мени и расценки, определяется требуемое количество рабочих, оборудова-

ния, приспособлений и инструментов, себестоимость изготовления (сбор-

ки); ведется календарное планирование и осуществляется контроль ка-

чества и сроков выполнения работ.

 В условиях автоматизированного производства под операцией следует

понимать законченную часть технологического процесса, выполняемую неп-

рерывно на автоматической линии, которая состоит из нескольких единиц

технологического оборудования, связанных автоматически действующими

транспортно-загрузочными устройствами.

 Кроме технологических операций в технологический процесс входят

ряд необходимых вспомогательных операций (транспортных, контрольных,

маркировочных и т.п.).

 Операция, в свою очередь состоит из технологических переходов,

установов, позиций (ГОСТ 3.1109). Технологический переход - закончен-

ная часть технологической операции, выполняемая одними и теми же

средствами технологического оснащения при постоянном технологическом

режиме и установке. Установ - часть технологической операции, выполня-

емая при неизменном закреплении обрабатываемой заготовки или собирае-

 - 23 -

мой сборочной единицы. Позиция - фиксированное положение, занимаемое

неизменно закрепленной обрабатываемой заготовкой или собираемой сбо-

рочной единицей совместно с приспособлением относительно инструмента.

 Тип производственного процесса обусловлен типом производства. Тип

производства характеризуется коэффициентом закрепления операций за од-

ним рабочим местом К=О/Р (1), где О - количество различных операций,

выполняемых на данном производстве; Р - количество рабочих мест для

выполнения различных операций на данном производстве. Значение коэффи-

циента К (коэффициент серийности) принимается для планового периода (1

месяц) следующих типов производств:

 - массового К=1;

 - крупносерийного 1<К<10;

 - среднесерийного 10<К<20;

 - мелкосерийного 20<К<40;

 - К единичного производства не регламентируется и определяется

специализацией рабочих мест или загруженностью рабочих мест одной и

той же работой.

 Массовое производство характеризуется узкой специализацией рабо-

чих мест, за каждым из которых закреплено выполнение только одной опе-

рации. При массовом производстве изготовление одних и тех же изделий

ведется непрерывно в большом количестве и в течение значительного про-

межутка времени. Особенности массового производства:

 - размещение рабочих мест непосредственно одно за другим по ходу

ТП;

 - непрерывная механизированная передача объекта обработки (сбор-

ки) без межоперационного складирования;

 - синхронизация (согласовывание по длительности) операций;

 - широкое применение специализированных станков, приспособлений,

технологической оснастки;

 - автоматизация оборудования;

 - использование неквалифицированной рабочей силы;

 - минимальная себестоимость и срок изготовления.

 Серийное производство характеризуется широкой специализацией ра-

бочих мест и изготовлением различных изделий партиями, регулярно пов-

торяющимися через определенные промежутки времени. За каждым рабочим

местом закреплено несколько операций, выполняемых периодически. При

крупносерийном производстве изделия изготавливаются большими партиями

и без переналадки технологического оборудования в течение нескольких

десятков смен. Период времени между переналадками оборудования при

среднесерийном производстве составляет несколько рабочих смен, а при

мелкосерийном - соизмерим с временем одной рабочей смены. Кроме того,

подтипы серийного производства отличаются степенью автоматизации и

специализации применяемого оборудования и приспособлений, отработан-

ностью режимов выполнения операций, подробностью разработки ТП и др.

 Единичное производство характеризуется универсальностью рабочих

мест, за которыми нет закрепления операций. Изделия производятся в не-

больших количествах и их изготовление может повторяться через неопре-

деленное время. Особенности единичного производства:

 - применение универсального оборудования и приспособлений, норма-

лизованного рабочего инструмента и универсального измерительного инс-

трумента;

 - расположение оборудования группами по типам станков;

 - высокая квалификация рабочих;

 - малая степень подробности разработки ТП;

 - высокая степень концентрации ТП.

 Технологические процессы в соответствии с ГОСТ 3.1109 подразделя-

ются на:

 - единичный ТП - ТП изготовления или ремонта изделия одного наи-

 - 24 -

менования, типоразмера и исполнения независимо от типа производства;

 - типовой ТП - ТП изготовления группы изделий с общими конструк-

тивными и технологическими признаками;

 - групповой ТП - ТП изготовления группы изделий с разными, но

конструктивно общими признаками.

 Состав типового технологического процесса изготовления РЭА вклю-

чает в себя:

 - входной контроль ТП;

 - технологическая тренировка комплектующих ЭРЭ;

 - сборка;

 - электрический монтаж;

 - технический контроль монтажа и сборки;

 - защита изделия от влияния внешних воздействий;

 - технологическая тренировка изделия;

 - регулировка;

 - испытания изделия;

 - выходной контроль.

 Для традиционной технологии характерно:

 1. При массовом и крупносерийном производстве:

 - единичные ТП с детальной проработкой;

 - высокая степень специализации (дифференцирование ТП);

 - полная синхронизация операций;

 - поточные методы организации труда;

 - однопредметные автоматические линии на базе специальных и агре-

гатных станков, которые расположены в направлении выполнения ТП;

 - транспортная связь между ними с жестким ритмом (например, с по-

мощью конвейеров);

 - высокая степень автоматизации;

 - высокая производительность труда;

 - низкая универсальность;

 - отсутствие гибкости (возможности автоматизированной переналадки

на выпуск новых изделий);

 2. При серийном производстве:

 - групповые и типовые ТП с неполной детальной проработкой;

 - средняя степень специализации;

 - синхронизация операций;

 - поточный метод организации труда;

 - многопредметные автоматизированные или механизированные поточ-

ные линии на базе агрегатного или универсального оборудования с ЧПУ и

механизированных рабочих мест;

 - низкий уровень автоматизации;

 - высокая универсальность;

 - низкая гибкость;

 - повышенная квалификация операторов;

 3. При мелкосерийном производстве:

 - групповые, единичные технологические процессы ТП без детальной

проработки;

 - низкий уровень специализации;

 - укрупнение операций (интегрирование);

 - требование синхронизации необязательно;

 - применяют непоточные (позиционные) методы организации труда;

 - универсальное оборудование, в т.ч. с ЧПУ, много неавтоматизиро-

ванных операций;

 - высокая универсальность, низкая гибкость;

 - операторы высокой квалификации.

 1.6. Структура и характеристики технологических систем.

 - 25 -

 Технологический процесс является сложной динамической системой, в

которой в единый комплекс объединены оборудование, средства контроля и

управления, вспомогательные и транспортные средства, обрабатывающие

инструменты или среды, находящиеся в постоянном движении или измене-

нии, объекты производства и люди, осуществляющие процесс и управляющие

ими. Эта сложная динамическая система и есть технологическая система

(ТС).

 Специализация производства приводит к тому, что части ТС обособ-

ляются в виде отдельных участков, цехов, предприятий, отраслей. В ТС

предприятия выделяются следующие функциональные подсистемы:

 - технико-экономических показателей;

 - технологической подготовки производства;

 - материально-технического снабжения;

 - оперативно-календарного планирования и управления основным и

вспомогательным производством;

 - сбыта готовой продукции;

 - кадров;

 - финансов;

 - бухгалтерского учета и статотчетности.

 Таким образом, под сложной системой, которой является технологи-

ческая система, будем понимать объект, предназначенный для выполнения

заданных функций, который может быть расчленен на элементы, каждый из

которых также выполняет определенные функции и находится во взаимо-

действии с другими элементами системы.

 Элемент системы характеризуется следующими признаками:

 1. Выделяется в зависимости от поставленной задачи и может быть

достаточно сложным;

 2. При исследовании надежности системы элемент не расчленяется и

показатели безотказности и долговечности относятся к элементу в целом;

 3. Возможно восстановление работоспособности элемента независимо

от других частей и элементов системы.

 С позиций надежности могут быть следующие структуры сложных сис-

тем:

 1. Расчлененные, у которых надежность отдельных элементов может

быть заранее определена, т.к. отказ можно рассматривать как независи-

мое событие;

 2. Связанные, у которых отказ элементов является зависимым собы-

тием;

 3. Комбинированные, состоящие из подсистем со связанной структу-

рой и с независимым формированием показателей надежности для каждой из

подсистем.

 В основу деления систем на уровни иерархии, как правило, берется

организационный признак, который позволяет отображать фактическую

иерархию между элементами ТС. В качестве признака при построении ие-

рархической структуры используется избранный метод управления: регули-

рование, обучение, адаптация, самоорганизация.

 1.7. Основные характеристики и показатели качества РЭА.

 Оценка технологичности конструкции

 РЭА, как технологическая система характеризуется:

 - эффективностью;

 - качеством;

 - надежностью;

 - точностью;

 - безотказностью;

 - ремонтопригодностью;

 - сохраняемостью;

 - 26 -

 - долговечностью;

 - технологичностью конструкции.

 ЭФФЕКТИВНОСТЬ - способность системы функционировать во всем диа-

пазоне возможных изменений режимов и установленных предельных значений

изменения ее выходных параметров. Ее оценивают по 4 группам показате-

лей:

 - технологическим (например, количество продукции в единицу вре-

мени);

 - организационным (например, трудовые затраты);

 - экономическим (экономические результаты деятельности, например,

прибыль);

 - комплексным (одновременно по нескольким показателям).

 КАЧЕСТВО - совокупность свойств, обуславливающих способность сис-

темы отвечать определенным требованиям в соответствии с назначением

системы. Основными показателями качества изготовленных изделий являют-

ся точность сформированных физико-химических свойств, выполненных раз-

меров и формы элементов и деталей, надежность изделий.

 НАДЕЖНОСТЬ - свойство системы выполнять заданные функции, сохра-

няя эксплуатационные показатели в допустимых пределах в течение требу-

емого промежутка времени. Надежность характеризуется безотказностью,

ремонтопригодностью, сохраняемостью и долговечностью. Количественные

характеристики этих показателей носят вероятностный характер.

 ТОЧНОСТЬ - это степень приближения действительных значений пара-

метров, формируемых при изготовлении детали, к их заданному значению.

Она обеспечивается выбором методов обработки, построением технологи-

ческого процесса.

 БЕЗОТКАЗНОСТЬ - свойство изделия сохранять работоспособность в

течение некоторого времени без вынужденных перерывов.

 РЕМОНТОПРИГОДНОСТЬ - свойство изделия, характеризующее его

приспособленность к предупреждению, обнаружению и устранению отказов и

неисправностей путем проведения техобслуживания и ремонта.

 СОХРАНЯЕМОСТЬ - свойство изделия сохранять обусловленные эксплуа-

тационные показатели в течение и после заданного срока хранения и

транспортирования.

 ДОЛГОВЕЧНОСТЬ - свойство изделия длительно сохранять рабо-

тоспособность в определенных режимах эксплуатации до разрушения или

другого предельного состояния. Долговечность количественно оценивается

техническим ресурсом.

 ТЕХНОЛОГИЧНОСТЬ КОНСТРУКЦИИ - это взаимосвязанное решение

конструкторских и технологических задач на стадиях проектирования,

конструирования, ТПП, изготовления, испытания опытных образцов, пере-

дачи изделия в серийное производство и эксплуатацию, направленных на

повышение производительности труда, достижение оптимальных трудовых и

материальных затрат, сокращение времени на производство, техническое

обслуживание и ремонт изделия.

 Технологичность имеет качественные и количественные показатели.

Качественные показатели используют на ранних этапах конструирования и

конструкторско-технологической отработки конструкторской документации

(КД), когда количественная оценка технологичности затруднена. Коли-

чественная оценка технологичности конструкции включает:

 1. Базовые (исходные) значения показателей технологичности конс-

трукции, являющиеся предельными нормативами технологичности, обяза-

тельными при разработке РЭА;

 2. Значения показателей технологичности, достигнутые при разра-

ботке изделия;

 3. Показатели уровня технологичности конструкции.

 Базовые значения указываются в ТЗ на разработку, а по отдельным

видам РЭА (номенклатура устанавливается по отраслям) в ОСТ.

 - 27 -

 В соответствии с ГОСТ 14.201 "Общие правила обеспечения техноло-

гичности конструкции изделия" основными количественными показателями

технологичности конструкции являются следующие:

 1. Трудоемкость изготовления изделия, которая является суммой

трудоемкостей изготовления всех сборочных единиц плюс трудоемкость

сборки;

 2. Удельная материалоемкость изделия (удельная металлоемкость,

удельная энергоемкость и пр.), т.е. затраты материалов и энергии на

выпуск единицы продукции;

 3. Технологическая себестоимость изделия, т.е. себестоимость из-

готовления единицы продукции, включающая затраты на материалы, зарпла-

ту производственных рабочих и цеховые расходы;

 4. Средняя оперативная трудоемкость технического обслуживания

(ремонта) данного вида;

 5. Средняя оперативная стоимость технического обслуживания (ре-

монта) данного вида;

 6. Средняя оперативная продолжительность технического обслужива-

ния (ремонта) данного вида;

 7. Удельная трудоемкость изготовления изделия;

 8. Трудоемкость монтажа;

 9. Коэффициент применяемости материала;

 10. Коэффициент унификации конструктивных элементов;

 11. Коэффициент сборности.

 Следует отметить, что те или иные перечисленные выше показатели

технологичности применяются в зависимости от вида изделия (деталь,

сборочная единица, комплекс, комплект). Так, например, показатель тру-

доемкости монтажа не используется при оценке технологичности детали и

комплекта.

 В радиоэлектронной промышленности принято рассчитывать уровень

технологичности К 4ут 0 следующим образом: К 4ут 0=1-Т 4и 0/Т 4бп 0 (2), где Т 4и 0 - рас-

четная трудоемкость изделия, Т 4бп 0 - базовый показатель технологичности.

 Уровень технологичности конструкции по себестоимости К 4ус 0 опреде-

ляется по формуле: К 4ус 0=1-С 4и 0/С 4би 0 (3), где С 4и 0 - рассчитанная технологи-

ческая себестоимость, С 4би 0 - базовый показатель трудоемкости изготовле-

ния. На предприятиях радиоэлектронного аппаратоприборостроения в соот-

ветствии с отраслевым стандартом используется комплексный показатель

технологичности К и комплексный показатель уровня технологичности

К 4утр 0: К= 7S 0(К 4i 0\*Ф 4i 0)/ 7S 0Ф 4i 0 (4), где: К 4i 0 - расчетный базовый показатель тех-

нологичности конструкции, Ф 4i 0 - коэффициент базовой значимости базового

показателя, 1<i<N - порядковый номер показателя в регенерированной

последовательности показателей; N - число базовых показателей, опреде-

ляющих на данной стадии разработки изделия; К 4утр 0=Т 4и 0\*К 4сл 0/(Т 4би 0\*К 4снтр 0)

(5), где: Т 4и 0 - показатель трудоемкости изделия, К 4сл 0 - коэффициент

сложности по сравнению с аналогом, Т 4би 0 - базовый показатель изде-

лия-аналога; К 4снтр 0 - коэффициент снижения трудоемкости.

 Отработка конструкции на технологичность осуществляется на всех

этапах разработки изделия и на каждой стадии принимается одно из реше-

ний:

 1. Утвердить достигнутый уровень;

 2. Довести до требуемого уровня на данной стадии разработки (до-

работка);

 3. Довести до требуемого уровня на следующей стадии;

 4. Корректировка показателя технологичности.

 С целью ускорения получения оценок технологических конструкций,

повышения их качества и достоверности, указанные работы выполняются с

применением ЭВМ, путем организации в автоматизированной системе техно-

логической подготовки производства (АСТПП) соответствующих подсистем.

 - 28 -

 1.8. Стадии и этапы разработки РЭА.

 В соответствии с ГОСТ 3.1102 " Стадии разработки и виды докумен-

тов" стадии разработки технологических документов, применяемых для

технологических процессов изготовления изделий, определяются в зависи-

мости от стадий использования конструкторской документации. Пример со-

ответствия стадий разработки и технологических документов приведен в

таблице 1.

 Таблица 1

┌──────────────────┬─────────────────────────────────────────────────┐

│Стадия разработки│Содержание работ, технологический документ │

├──────────────────┼─────────────────────────────────────────────────┤

│Предварительный │Разработка технологической документации,предназ- │

│проект │наченной для изготовления макета изделия и/или │

│ │его составляющих частей на основании конструктор-│

│ │ской документации, выполняемой на стадиях "Эскиз-│

│ │ный проект" (ЭП), "Технический проект" (ТП) │

│Разработка доку- │Разработка технологической документации для изго-│

│ментации │товления и испытания без применения литеры. │

│а) опытного образ-│Корректировка и разработка документации по резуль│

│ца (опытной пар- │татам предварительных испытаний опытного образца │

│тии) │с присвоением литеры О на основную конструкторс- │

│ │кую документацию, имеющую литеру О. Корректировка│

│ │и разработка технологических документов по резуль│

│ │татам изготовления и приемочных испытаний образца│

│ │и по результатам корректировки конструкторской до│

│ │кументации, имеющей литеру О1. И т.д. с литерой │

│ │О2. │

│б) серийное (массо│Разработка технологической документации, предназ-│

│вое) производство │наченной для изготовления и испытаний серийного │

│ │(массового) производства с присвоением литеры Б │

│ │на основную конструкторскую документацию, имеющую│

│ │ту же литеру. │

└──────────────────┴─────────────────────────────────────────────────┘

 На стадии разработки конструкторской документации "Технический

проект" технологическая документация не разрабатывается.

 Для разового изготовления или изготовления нескольких изделий в

единичном производстве присваивается литера "И".

 При разработке документации на технологические процессы, выполня-

емые на стадиях "Предварительный проект", в случае опытного образца

документы следует выполнять в маршрутном или маршрутно-операционном

описании; в случае серийного производства - в операционном описании.

 Документы, разрабатываемые на ТП, делятся на основные и вспомога-

тельные. Основные документы содержат сводную информацию, необходимую

для решения одной или комплекса инженерно-технических, планово-эконо-

мических и организационных задач. Эти документы полностью и однозначно

определяют технологический процесс (операции) изготовления или ремонта

изделия.

 Вспомогательные документы применяются при разработке и внедрении

функциональных технологических процессов и операций (карта заказов на

проектирование технологической оснастки).

 По своему назначению документы делятся на документы общего и спе-

циального назначения. Документы общего назначения - это документы,

применяемые в отдельности или в комплектах документов на технологичес-

кие процессы (операции) независимо от применения технологических мето-

дов изготовления или ремонта изделий, например, карта эскизов (графи-

ческий документ, содержащий эскизы, схемы, таблицы и предназначенный

для пояснения выполнения ТП, операций или переходов изготовления или

 - 29 -

ремонта изделий, включая контроль и перемещения), технологическая инс-

трукция, титульный лист.

 Документы специального назначения применяются при описании ТП и

операций в зависимости от типа и вида производства и применяемых тех-

нологических методов изготовления или ремонта. В качестве примера до-

кумента специального назначения можно рассмотреть маршрутную карту,

которая предназначена для маршрутного или маршрутно-операционного опи-

сания изготовления или ремонта изделия, включая контроль параметров по

всем операциям различных технологических методов с указанием данных об

оборудовании, технологической оснастке, материальных нормативах и тру-

довых затратах. К документам этого же вида относится и карта техноло-

гического процесса (КТП), предназначенная для операционного описания

ТП изготовления или ремонта изделия в технологической последователь-

ности по всем операциям одного вида формообразующей структуры, сборки

или ремонта с указанием переходов.

 Основным технологическим документом является технологический рег-

ламент производства. Он бывает типовым (для всех предприятий, выпуска-

ющих данный вид продукции) и предприятия (конкретный регламент данного

предприятия). В любом случае он содержит (в случае типового регламента

все документы типовые):

 - общие сведения о технологии производства данного вида продук-

ции;

 - требования к сырьевым материалам, комплектующим изделиям, топ-

ливу и энергии;

 - сведения о нормативно-технических документах, содержащих техни-

ческие требования к продукции;

 - требования к технологическому оборудованию и системам автомати-

зации;

 - требования к вспомогательным материалам и оборудованию;

 - описание технологических режимов производства;

 - маршрутную карту производства;

 - карту контроля технологических процессов;

 - технологические инструкции выполнения работ;

 - правила охраны труда и техники безопасности;

 - описание источников выделения вредных веществ и нормативы до-

пустимых выбросов;

 - нормативы расхода топливо-энергетических и сырьевых материалов

и комплектующих изделий.

 Остальные документы специального назначения только укажем:

 - карта технологического процесса;

 - технико-нормировочная карта;

 - карта кодирования информации;

 - карта наладки средств технологической оснастки;

 - ведомость оборудования;

 - ведомость материалов;

 - ведомость специфицированного нормирования расхода материалов;

 - ведомость нормирования расхода материалов;

 - технологическая ведомость;

 - ведомость применяемости;

 - ведомость сборки изделия;

 - ведомость операций (применяется совместно с МК и КТП);

 - ведомость деталей сборочных единиц к типовому ТП для указания

состава деталей изготовления или ремонта по ТТП;

 - ведомость деталей, изготавливаемых из отходов;

 - ведомость дефектации;

 - ведомость стержней;

 - ведомость технологических документов;

 - ведомость держателей подлинников.

 - 30 -

 1.9. Исходные данные для разработки технологии

 производства РЭА.

 Исходными данными и основными критериями для выбора структуры

технологической системы являются экономические показатели и технологи-

ческая оптимизация.

 1. Выбор структуры ТС по экономическим показателям.

 Структура ТС определяется требованиями эффективности функциониро-

вания. Все элементы вносят свой вклад в полную себестоимость изделия.

С позиций структуры ТС себестоимость изделия определяется:

 - суммарной стоимостью работ по изготовлению, сборке и контролю

сборочных единиц различных уровней;

 - суммарной стоимостью всех запасов по всем номенклатурам на

складах всех уровней, стоимостью хранения запасов (количество, аморти-

зация складов, обеспечение обслуживающего персонала, транспортировка).

 Тогда суммарные затраты выражаются некоторой линейной функцией

С(М,L,K,S,P), где: М(n) - объем запасов по их видам 1...A, L(n) - ин-

тенсивность спроса на компоненты 1...B, S(n) - число наименований опе-

раций изготовления и сборки каждого вида изделий 1...C, К(n) - слож-

ность оборудования и оснастки по их видам 1...D, Р(n) - квалификация

специалистов 1...E.

 При синтезе эффективной ТС необходимо обеспечить min С(M,L,K,S,P).

 2. Технологическая оптимизация.

 На величину технологической себестоимости годного изделия помимо

структуры ТП влияют:

 - величины конструкторского допуска на первичные конструкционные

материалы, определяющие вероятность выхода годных изделий при той или

иной точности изготовления;

 - вид и параметры распределения плотности вероятности показателя

качества изделия, также определяющие вероятность выхода годных изде-

лий;

 - технологическая точность (точность изготовления), определяющая

затраты на производство изделия при заданной структуре ТП;

 - вид и параметры распределения плотности вероятности показателя

качества.

 Проблема минимизации технологической себестоимости годного изде-

лия должна рассматриваться как комплексная, ее решение включает в себя

взаимосвязанное рассмотрение системотехнических, схемотехнических,

конструкторских и технологических задач проектирования.

 Таким образом, под технологической оптимизацией будем понимать

взаимосвязанный выбор схемотехнической (топологической) реализации из-

делия, номинальных значений его конструкционных параметров и техноло-

гической точности при заданных ограничениях по критерию минимальной

технологической себестоимости годного изделия. Технологическая оптими-

зация ведется на базе результатов параметрического синтеза устройства

и синтеза ТП. (Параметрический синтез характеризуется жесткой страте-

гией получения единственного квазиоптимального варианта ТС, где выяв-

ляются связи параметров системы с критериями качества, т.е. величина-

ми, однозначно связанными с качеством системы, которые образуют опти-

мизационную модель).

 Объектом технологической оптимизации являются схемотехнические и

топологические решения устройства, при синтезе которых оптимально

удовлетворены требования обеспечения заданных эксплуатационных пара-

метров, найдены допустимые отклонения электрических и конструкционных

параметров от их номинальных значений и ТП их изготовления. При техно-

логической оптимизации необходимы:

 - оценка вероятности выхода годных изделий, учитывающая, что оп-

 - 31 -

тимизируется единая система с взаимно влияющими параметрами (условной

вероятностью);

 - поиск такого сочетания конструкционных параметров, чтобы веро-

ятность выхода годных была максимальна.

 Если решена первая задача, то на основе этого для решения второй

можно использовать стандартные методы оптимизации.

 Основой алгоритма в этом случае является циклическое определение

соответствия всех электрических параметров полям допусков при случай-

ных выборах значений конструкционных параметров. Массив значений

конструкционных параметров формируется также, как в методе статисти-

ческих испытаний с использованием датчика случайных чисел при учете

корреляции между параметрами. Законы распределения конструкционных па-

раметров принимаются гауссовскими.

 Для каждой реализации массива значений конструкционных параметров

последовательно рассчитываются значения электрических параметров и

сравниваются с допустимыми отклонениями. При несоответствии значения

параметра полю допуска расчет для данной реализации прекращается и

формируется следующая реализация. Та, при которой удовлетворены огра-

ничения на все электрические параметры, регистрируется, после чего

цикл повторяется для следующей реализации. Соотношение общего числа

реализаций и реализаций, удовлетворяющих всем наложенным ограничениям,

рассматривается как условная вероятность выхода годных.

 При изменяемом ТП минимум технологической себестоимости годного

изделия достигается взаимосвязанным выбором номинальных значений его

конструкционных параметров, технологической точности и структуры ТП.

 Выделим 3 наиболее общих случая:

 1. Устойчивый и стабильный ТП целенаправленно изменяется по точ-

ности без изменения структуры за счет изменения точности операций;

 2. ТП целенаправленно изменяется по структуре и точности, остава-

ясь устойчивым и стабильным;

 3. ТП неустойчив за счет наличия систематических погрешностей и

подлежит периодической корректировке.

 Для отыскания условий оптимума во всех трех случаях приемлемы

стандартные методы оптимизации. Для первых двух случаев задача оптими-

зации формулируется одинаково: Пусть Y - вектор номинальных значений

управляемых эксплуатационных параметров, s - вектор их средне-квадра-

тичных отклонений. Минимизируемой (целевой) функцией является техноло-

гическая себестоимость годного изделия, критерием оптимальности - ее

условный минимум minC 4t 0(Y,s) при выполнении ограничений: YcYP, YcYD;

scsP, где: YP - область работоспособности, YD - допустимая область, sP

- область реализуемых среднеквадратичных отклонений.

 Для случая 3 в целевую функцию включается T 4k 0 - время до корректи-

ровки ТП, т.о. целевая функция имеет вид C 4t 0(Y,s,T 4k 0) при неизменном

критерии оптимальности - условном минимуме целевой функции в случае

выполнения помимо трех указанных и четвертого ограничения T 4тп 0>T 4k 0>0

(T 4тп 0 - время, в течение которого функционирует ТП). Выбор точности ТП

без изменения его структуры связан с выбором технологического оборудо-

вания по показателя точности, выбором точности поддержания режимов

технологических операций и методов обеспечения этой точности. В ре-

зультате точность ТП связана с величиной технологической себестоимости

и определяет вероятность выхода годных изделий. Таким образом целевая

функция имеет вид: C 4t 0=C 4t 0(s)/P 4y 0(Y,s) 76 0min (6), где: C 4t 0(s) - себестои-

мость изготовления партии изделий, P 4y 0(Y,s) - вероятность выхода годных

изделий.

 В общем случае в процессе технологической оптимизации варьируется

точность выполнения отдельных операций в зависимости от выбора техно-

логического оборудования и методов обеспечения этой точности.

 Все перечисленные выше изменения должны быть взаимосвязаны, т.е.

 - 32 -

решение задачи в рамках автономных систем автоматизированного проекти-

рования конструкций (САПРК) и систем автоматизированного проектирова-

ния технологических процессов (САПРТП) не представляется возможным.

 1.10. Основные принципы автоматизации производства.

 В своем развитии автоматизация производства прошла несколько ста-

дий, которые сменяли друг друга. В то же время, они могут применяться

одновременно и применяются сейчас на различных предприятиях и типах

производств. Рассмотрим их последовательно.

 1.10.1. Понятие системы автоматического регулирования (САР)

 САР являются первым уровнем (иногда единственным) большинства

систем автоматического и автоматизированного управления. Часто их еще

называют системами локального регулирования. Основное их назначение -

это поддержание параметров технологического процесса в заданных преде-

лах или изменение их по заданному закону. Они широко применяются в тех

случаях, когда существует один управляющий параметр и один контролиру-

емый параметр, на который он влияет. Например, в лабораторной печи

контролируется температура и нагрев осуществляется с помощью электри-

ческой спирали. Регулировать температуру можно за счет изменения тока

или напряжения на спирали.

 Обычно САР применяются там, где регулирование ведется в достаточ-

но узких пределах, при выходе системы за эти пределы САР отключают и

переходят на ручное управление или управление от АСУТП.

 Иногда в одной системе используется несколько САР для управления

системой по нескольким каналам вход-выход.

 1.10.2. Понятие информационно-измерительной системы (ИИС)

 ИИС, или как их еще называют системы централизованного контроля

(СЦК), исторически появились первыми и широко применяются до сих пор в

тех производствах, где технологические процессы высокостабильны,

устойчивы к внешним воздействиям, а управляющие воздействия сложно

формализуемы. Например, ИИС широко применяются в энергетике.

 Как следует из названия, основной задачей ИИС является централи-

зованный сбор информации о ходе технологического процесса (опрос дат-

чиков), обработка ее и выдача в виде удобном для дальнейшего использо-

вания.

 1.10.3. Понятие автоматизированной системы управления

 технологическим процессом (АСУТП)

 АСУТП предназначена для автоматического сбора информации о ходе

технологического процесса, обработки ее, выработки управляющих воз-

действий для его корректировки и диалога с оператором-технологом в

случае значительных нарушений технологических режимов, подготовки от-

четных документов. Составной частью АСУТП является ИИС.

 В настоящее время АСУТП широко применяются в промышленности, осо-

бенно там, где выполняются сложные технологические процессы с большим

количеством контролируемых параметров и управляющих воздействий, с

целью разгрузки оператора от рутинной работы и сосредоточения его вни-

мания на тех случаях, когда требуется его вмешательство.

 Автоматизированные системы управления технологическими процессами

отличаются от систем автоматического управления (регулирования) более

широким диапазоном автоматизируемых функций управления. АСУТП выполня-

ют следующие основные функции: централизованного контроля, определяют

 - 33 -

оптимальный технологический режим, удовлетворяющий выбранному крите-

рию; формируют и реализуют управляющие воздействия, обеспечивающие ве-

дение оптимального режима; корректируют математическую модель объекта

при изменениях на объекте; рассчитывают и регистрируют текущие и обоб-

щенные технологические и экономические показатели; оперативно распре-

деляют материальные потоки и энергию между технологическими агрегатами

и участками; оперативно распределяют вспомогательные механизмы и ре-

монтные средства; оперативно корректируют суточные и сменные плановые

задания по выпуску продукции.

 Перечисленные функции могут быть реализованы, как правило, при

использовании ЭВМ. Поэтому наличие ЭВМ в контуре управления процессом

считается одной из отличительных черт АСУТП. В зависимости от способа

включения ЭВМ в контур управления можно выделить пять разных типов

структур АСУТП, различающихся характером функций управления.

 1. ЭВМ в режиме сбора информации. Параметры технологических про-

цессов, измеренные датчиками, преобразуются в цифровую форму средства-

ми сопряжения и вводятся в ЭВМ. После обработки в ЭВМ оперативная ин-

формация о ходе процесса поступает на средства отображения технологи-

ческих параметров; статистическая информация, предназначенная для ре-

гистрации, а также вычисленные экономические и технологические показа-

тели печатаются в виде документа. Системы сбора и обработки данных вы-

полняют в основном те же функции, что и систем централизованного конт-

роля, и являются более высокой ступенью их организации. Такие системы

используются при управлении технологическими и производственными про-

цессами в тех случаях, когда существуют причины, по которым определе-

ние технологического режима и формирование управляющих воздействий

должны выполнять люди.

 2. ЭВМ в режиме советчика. В таких системах кроме сбора и обра-

ботки информации выполняются следующие функции: определение рациональ-

ного технологического режима по отдельным технологическим параметрам

или всему процессу в целом; определение управляющих воздействий по

всем или отдельным управляемым переменным процесса; определение значе-

ний уставок локальных регуляторов. В системах-советчиках данные о тех-

нологическом режиме и управляющих воздействиях поступают через средс-

тва отображения информации в форме рекомендаций оператору, который мо-

жет принять или отвергнуть их. Решение оператора основывается на собс-

твенном понимании хода технологического процесса и опыте управления

им. В одних случаях вычисления управляющих воздействий производятся

всякий раз, когда фиксируется отклонение параметров процесса от задан-

ного технологического режима. Процесс вычисления инициируется програм-

мой-диспетчером, которая содержит подпрограмму анализа состояния про-

цесса. В других случаях вычисления инициируются оператором в форме

запроса. Системы-советчики применяются в тех случаях, когда требуется

осторожный подход к решениям, выработанным формальными методами, что

связано с неопределенностью в математическом описании управляемого

процесса. Неопределенность может выражаться в следующем:

 - математическая модель недостаточно полно описывает процесс,

т.к. связывает лишь часть управляющих и управляемых переменных процес-

са;

 - математическая модель адекватна процессу лишь в узком интервале

изменения технологических параметров;

 - математическая модель процесса слишком сложна для реализации в

составе АСУТП;

 - расчеты по математической модели не могут быть выполнены в ре-

альном времени;

 - критерии управления носят качественный характер и существенно

изменяются в зависимости от большого числа внешних факторов.

 Неопределенность описаний может быть вынужденной, отражающей пло-

 - 34 -

хую изученность сложного процесса, так и преднамеренной, вызванной

тем, что реализация полной и адекватной модели требует применения

крупной дорогостоящей ЭВМ, что в данном случае экономически не оправ-

дывается.

 3. ЭВМ в режиме супервизорного управления. АСУТП, функционирующая

в режиме супервизорного управления, представляет собой двухуровневую

иерархическую систему. Нижний уровень, непосредственно связанный с

процессом, образуют локальные регуляторы отдельных технологических па-

раметров. На верхнем уровне управления установлена ЭВМ, основной функ-

цией которой является определение оптимального технологического режима

и вычисление на его основе значений уставок локальных регуляторов.

Входной информацией для вычисления уставок являются значения некоторых

управляемых параметров, измеряемые датчиками регуляторов и контролиру-

емые параметры состояния процесса, измеряемые датчиками. Оператор с

пульта управления имеет возможность вводить дополнительную информацию,

в частности, изменять ограничения на управляемые и управляющие пере-

менные, уточнять критерий управления в зависимости от внешних факто-

ров. Возможны два варианта реализации супервизорного управления: с ма-

тематической моделью и без нее. Если имеются достаточно адекватная и

простая модель процесса и критерий управления (целевая функция), то

вычисление уставок регуляторов может быть организовано как решение за-

дачи оптимального управления. В тех случаях, когда из-за сложности

процесса не ставится задача оптимального управления, управление можно

организовать как процесс экспериментального поиска экстремума целевой

функции управления, когда оптимальный технологический режим ищется ме-

тодом проб и ошибок. Супервизорный режим позволяет осуществлять авто-

матическое управление процессом. Роль оператора сводится к наблюдению

за процессом и, в случае необходимости, к корректировке цели управле-

ния и ограничений на переменные.

 4. ЭВМ в режиме непосредственного цифрового управления. В отличие

от супервизорного управления при непосредственном цифровом управлении

управляющие воздействия рассчитываются ЭВМ и передаются непосредствен-

но на исполнительные органы. Режим непосредственного цифрового управ-

ления позволяет исключить локальные регуляторы с задаваемой уставкой.

Как в случае с супервизорным управлением, задача оператора заключается

в наблюдении за процессом и его корректировках в случае необходимости.

 5. Иерархические системы управления. Если одноуровневая структура

АСУТП не обеспечивает требуемого режима функционирования сложного тех-

нологического объекта, то систему управления можно построить как мно-

гоуровневую - в виде отдельных подсистем, между которыми установлены

отношения соподчинения. Каждая подсистема имеет ЭВМ, работающую в од-

ном из описанных выше режимов. Функции управления могут быть распреде-

лены между уровнями, например, следующим образом. Нижний (первый) уро-

вень управления непосредственно управляет технологическими операциями.

Второй уровень выполняет функции расчета и оперативной корректировки

режимов технологических операций. Третий уровень управления представ-

ляет собой центральную управляющую подсистему, решающую задачи расчета

и оперативной корректировки технологического режима всего процесса в

целом.

 Рассмотренные пять типов структур АСУТП различаются способом

включения ЭВМ в контур управления. Три последних типа структур пол-

ностью исключают оператора из основного контура управления, поэтому

системы, построенные на их основе, можно отнести к классу автоматичес-

ких. Для сложных процессов на крупных производственных комплексах

строятся системы управления, сочетающие описанные способы включения

ЭВМ в контур управления. Такая система разделяется на подсистемы, для

каждой из которых в зависимости от возможностей ее математического

описания и экономически целесообразности выбрана определенная структу-

 - 35 -

ра. Комплекс подсистем можно реализовать либо на одной ЭВМ, разделяю-

щей время между подсистемами, либо на нескольких ЭВМ, каждая из кото-

рых обслуживает соответствующую подсистему, либо на вычислительной се-

ти, состоящей из большого числа мини- или микро-ЭВМ.

 Важной составной частью АСУТП, во многом определяющей ее функцио-

нальные возможности, является математическое обеспечение (МО), которое

можно разделить на функциональное и общесистемное. Функциональное ма-

тематическое обеспечение образуется комплексом программ, непосредс-

твенно выполняющих функции управления данным процессом. Общесистемное

МО в сочетании со специальными аппаратными средствами позволяет управ-

лять ресурсами ЭВМ, осуществлять общение оператора и ЭВМ, использовать

стандартные программы при решении функциональных задач, выполнять ди-

агностирование элементов ЭВМ. В современной терминологии общесистемное

МО принято называть операционной системой (ОС). Компонентами ОС явля-

ются четыре комплекса программ: управление ресурсами; программные

средства общения оператора и ЭВМ; диагностические программы; стандарт-

ные программы.

 Управление ресурсами. ЭВМ располагает ресурсами четырех видов:

временем центрального процессора, памятью, внешними устройствами и

программным обеспечением. Время центрального процессора распределяется

между функциональными программами путем переключения с одной программы

на другую, которое выполняется либо по заранее составленному расписа-

нию, либо без него. Расписание строится на основании требований к уп-

равлению технологическим процессом и представляет собой порядок и вре-

мя выполнения функциональных программ. Переключение без расписания

происходит под действием сигналов прерывания, источниками которых мо-

гут быть технологический процесс и оператор. Получив сигнал прерыва-

ния, ОС останавливает выполнение текущей программы, но таким образом,

чтобы в дальнейшем можно было вернуться к ее выполнению в том месте,

где она была прервана. Заметим, что расписание регламентирует лишь вы-

полнение функциональных программ, причем оно может требовать одновре-

менного выполнения нескольких программ, что можно осуществить при

мультипрограммировании и режиме разделения времени.

 Средства общения оператора и ЭВМ (интерфейс пользователя). Для

общения оператора и ЭВМ разрабатывается специальный язык, состоящий из

ограниченного набора команд, представляющих собой слова естественного

языка. Команды вводятся через клавиатуру дисплея. Функциями программ-

ных средств общения являются перевод языка оператора на машинный язык,

интерпретация команды, а затем совместно с другими программами ОС пла-

нирование и реализация действий, требуемых данной командой.

 Диагностические программы. Главная цель диагностики - повышение

эксплуатационной надежности АСУТП за счет быстрого обнаружения нор-

мального функционирования ЭВМ и отыскания отказавшего элемента.

 Стандартные программы. Хотя каждая АСУТП имеет ряд специфических

черт и поэтому носит индивидуальный характер, во многих из них требу-

ется проведение стандартных технических расчетов и операций над данны-

ми. Поэтому в составе ОС существует библиотека стандартных программ,

не предназначенных непосредственно для выполнения операций управления.

Она используется программистами при создании функциональных и служеб-

ных программ АСУТП.

 1.10.4. Понятие автоматизированного технологического

 комплекса (АТК)

 АТК предназначен для выпуска продукции в автоматизированном режи-

ме. Основное его отличие от АСУТП состоит в том, что в АТК технологи-

ческое оборудование и технические средства системы управления состав-

ляют единое целое, они совместно разрабатываются и эксплуатируются,

 - 36 -

друг без друга они работать не могут. Такой подход позволяет упростить

систему за счет лучшего взаимодействия ее частей и повысить качество

ее работы. В настоящее время АТК широко применяются в промышленности

при выпуске продукции, технология производства которой включает в себя

сложные физико-химические превращения или опасна для производственного

персонала.

 1.10.5. Понятие автоматизированной системы управления

 предприятием (АСУП)

 АСУП предназначена для управления всей деятельностью предприятия

в автоматизированном режиме. Она включает в себя системы управления

технологическими процессами, запасами сырьевых материалов, топли-

во-энергетических ресурсов, комплектующих изделий, полуфабрикатов, го-

товой продукции, экономической деятельностью предприятия, автоматизи-

рованной подготовки документации предприятия и отчетных документов, то

есть АСУП включает в себя ряд систем автоматизации, объединенных в

единую сеть потоками информации. Такой подход позволяет сократить зат-

раты труда на передачу информации (отчетов, распоряжений, планов и

т.д.) между подразделениями предприятия, сократить время их подготов-

ки, избежать многих ошибок, ввести в активный режим работы систему уп-

равления качеством на предприятии.

 В настоящее время АСУП получают широкое распространение на предп-

риятиях одновременно с внедрением локальных сетей на базе персональных

компьютеров. Особенно широко этот подход к автоматизации используется

на предприятиях с большой номенклатурой выпускаемой продукции, большим

количеством связей с другими предприятиями.

 1.10.6. Понятие гибких автоматизированных производств

 (ГАП) и интегрированных производственных комплексов (ИПК)

 Гибкие автоматизированные производства - это качественно более

совершенный этап в комплексной автоматизации производства. Это система

автоматизации, охватывающая все производство от проектирования изделий

и технологий до изготовления продукции и доставки ее потребителю. Эта

тенденция ведет к созданию высокоавтоматизированных цехов и заво-

дов-автоматов, где средства вычислительной техники применяются во всех

звеньях производства. Станкостроители начали выпускать промышленно се-

рийные гибкие автоматизированные производства (ГАП) на базе обрабаты-

вающих центров и гибкопереналаживаемых автоматических линий.

 Автономное развитие АСУ (обработка информации), САПР, АСУТП, сис-

тем управления гибким автоматизированным производством (СУГАП), про-

мышленные роботы не дают желаемого эффекта в повышении производитель-

ности. Так, например, САПР, АСТПП, АСУП повышают производительность

труда примерно вдвое, СУГАП примерно впятеро, а интегрированный комп-

лекс - в десятки раз. Поэтому был взят курс на интеграцию, особенно в

области ГАП.

 Основой завода с полностью автоматизированным производственным

циклом является интегрированный производственный комплекс (ИПК), вклю-

чающий системы автоматизации предпроектных научных исследований (АС-

НИ), проектирование конструкции изделий (САПРК) и технологических про-

цессов (САПРТП), проектирование технологической подготовки производс-

тва (АСТПП), гибкое автоматизированные производство (ГАП), систему ав-

томатизированного контроля (АСКИ). Назначением ИПК является проведение

всех работ цикла от исследования до производства на основе использова-

ния общей информационной базы и безбумажной технологии передачи инфор-

мации по составляющим этого цикла с помощью локальных вычислительных

сетей.

 - 37 -

 Особенно эффективно применение ИПК и ГАП в условиях единичного и

мелкосерийного производства в условиях частой сменяемости номенклатуры

продукции и сокращения времени ее выпуска. Комплексная автоматизация

производства на базе ИПК и ГАП позволяет:

 - в 7-10 раз повысить производительность труда;

 - сократить длительность производственного цикла;

 - повысить технический уровень и качество выпускаемой продукции;

 - снизить материало- и энергоемкость продукции;

 - увеличить коэффициент сменности оборудования;

 - высвободить значительную часть работающих на производстве;

 - сократить производственные площади.

 Кроме того, число различных классов технических систем удваивает-

ся в среднем каждые 10 лет, объем научно-технической информации, ис-

пользуемой в конструкторских разработках, удваивается каждые 8 лет,

время создания новых изделий уменьшается в два раза каждые 25 лет при

одновременном сокращении срока их морального старения. Это обуславли-

вает пропорциональный рост объемов проектирования (примерно в 10 раз

каждые 10 лет), а при сохранении ручной технологии конструирования не-

обходимо иметь такие же темпы роста числа специалистов. Однако, пос-

кольку на самом деле их число может возрастать в 3 раза каждые 10 лет,

кроме того, возрастает сложность проектируемых систем и количество ва-

риантов, которыми они могут быть реализованы, использование вычисли-

тельной техники при проектировании новых изделий является необходимым.

 В соответствии с ГОСТ 26229 гибкая производственная система (ГПС)

(гибкое автоматизированное производство - ГАП) - совокупность в разных

сочетаниях оборудования с ЧПУ, роботизированных технологических комп-

лексов, гибких производственных модулей, отдельных единиц технологи-

ческого оборудования и систем обеспечения их функционирования в авто-

матическом режиме в течение заданного интервала времени, обладающая

свойством автоматизированной переналадки при производстве изделий про-

извольной номенклатуры в установленных пределах значений их характе-

ристик.

 Связь элементов ИПК для различных уровней ГПС (ГАП) приведена в

таблице 2.

 Периоды развития ГАП:

 1 период - 60-70 годы - разработка и проверка базисных принципов

создания;

 2 период - 80 годы - разработка и создание элементной техники и

технологии;

 3 период - 90 годы - разработка и создание системы комплексов ГП.

 Ниже приведена таблица 3 распределения времени загрузки оборудо-

вания в зависимости от типов производств.

 Из приведенной диаграммы видно, что узким местом являются вспомо-

гательные операции (вспомогательное время) и время переналадок (неисп-

равности, особенно 2 и 3 смен).

 Наибольшее распространение получили ГАП в механообработке. Здесь

сформировались типичные структуры - модули, объединяемые в линии или

участки с помощью транспортно-складских систем. Состав модуля включа-

ет:

 - обрабатывающий центр;

 - накопитель палет или кассет и средства ЧПУ.

 Сравнительные данные по использованию ГАП в различных технологи-

ях:

 - металлообработка резанием - 50 %;

 - металлообработка формовкой - 21 %;

 - сварка - 12 %;

 - сборка - 5 %;

 - остальные технологии - 12 %.

 - 38 -

 Таблица 2

┌──────────────────┬─────────────────────────────────────────────────┐

│Элементы ИПК │Структурные уровни в соответствии с ГОСТ 26228-85│

│ ├─────────────┬───────────────┬───────────────────┤

│ │ГПМ (модуль) │ГАЛ (линия) │ ГАЦ (цех) │

│ │ │ГАУ (участок) │ │

├──────────────────┼─────────────┼───────────────┼───────────────────┤

│АСНИ │ │ │ Х │

│АСУП │ │ Х │ Х │

│САПР │ │ Х │ Х │

│АСТПП │ │ Х │ Х │

│АТСС (автоматизиро│ │ │ │

│ванная транспортно│ │ │ │

│складская система)│ Х │ Х │ Х │

│АСИО (инструмен- │ │ │ │

│тального обеспече-│ │ │ │

│ния) │ Х │ Х │ Х │

│СЦК │ Х │ Х │ Х │

│Вычислительная тех│ │ │ │

│ника │ Х │ Х │ Х │

│Роботы (ПР) │ Х │ Х │ Х │

│Станки с ЧПУ │ Х │ Х │ Х │

│Автоматические ро-│ │ │ │

│боты и линии │ Х │ Х │ Х │

│Средства автомати-│ │ │ │

│зации и приборы │ Х │ Х │ Х │

└──────────────────┴─────────────┴───────────────┴───────────────────┘

──────────────────────────────────────────────────────────────────────

 ┌───────────────────────────────┐

 │Общие направления автоматизации│

 └───────┬────────────────┬──────┘

 │ │

┌─────────────────────────┴────────┐ ┌─────┴─────────────────────────┐

│Автоматизация обработки информации│ │Автоматизация технологии произ-│

│ │ │водства │

└──┬────────┬──────────┬────────┬──┘ └─┬─────────────┬────────────┬──┘

 │ │ │ │ │ │ │

┌──┴─┐ ┌─┴──┐ ┌──┴──┐ ┌─┴──┐ ┌─┴─┐ ┌──┴──┐ ┌┴─┐

│АСУП│ │САПР│ │АСТПП│ │АСНИ│ │ЧПУ│ │АСУТП│ │ПР│

└────┘ └────┘ └─────┘ └────┘ └───┘ └─────┘ └──┘

 Рис. 3. Направления автоматизации производства

──────────────────────────────────────────────────────────────────────

 Таблица 3

┌──────────────────────────────────┬─────────────────────────────────┐

│тип производства /время загрузки │ Размеры партий Р │

│ /производства в %├───────────┬──────────┬──────────┤

│ / │мелко-сери-│средне-се-│массовое │

│ / │ное │рийное │ │

│ / │ Р <10 │10 <Р <100│ Р > 1000│

├──────────────────────────────────┼───────────┼──────────┼──────────┤

│отпуска,праздники │ 34 │ 28 │ 27 │

│вспомогательное время, потери, не-│ │ │ │

│исправности 2 и 3 смен │ 60 │ 64 │ 51 │

│основное время работы оборудования│ 6 │ 8 │ 22 │

└──────────────────────────────────┴───────────┴──────────┴──────────┘

 Сложнее всего происходит внедрение ГАП в сборочные производство,

это связано:

 - со сложностью и разнообразием объектов сборки и необходимой для

 - 39 -

этой сборки оснастки;

 - коротким циклом операций сборки;

 - нежесткостью или упругостью деталей;

 - необходимостью в настройке, подгонке и учете малых допусков в

сочленении деталей.

 В сборочных ГАП центральным компонентом являются роботы с разви-

той сенсорикой и высоким уровнем машинного интеллекта, что влияет на

увеличение уровня затрат при создании ГАП сборки. Поскольку роботы с

интеллектуальными средствами управления еще не получили широкого расп-

ространения, то приходится резко повышать затраты на периферийное обо-

рудование и оснастку, создавая условия для применения более простых

роботов. При этом стоимость оснастки и периферии составляет до 70 % от

общей стоимости сборочного модуля. Далее будут более подробно рассмот-

рены экономические и социальные аспекты использования роботов.

 Однако, ГАП не является эффективным для любых типов производств.

Ниже приведены зоны наиболее эффективного применения разных видов ав-

томатизации производства и зависимость себестоимости единицы продукции

от объемов выпуска для ручного и автоматизированного труда.

──────────────────────────────────────────────────────────────────────

 размеры партий 1-жесткие линии

 10000 ┌─────┐ 2-гибкие модули

 │ │ 1 ┌┼─────┐ 3-ГАП

 │ └────┼┘ │ 4-ЧПУ

 │ │ 2 ├─────┐ 5-универсальные станки

 2000│ └──────┤ │

 │ │ 3 ├────────┐

 50 │ └─────┤ │

 │ │ 4 ├──────────┐

 25 │ └────────┘ 5 │ номенклатура

 └─────┴───────┴─────────┴──────────┴──────────────

 2 5 100 500

 Рис. 4. Области эффективного применения разных видов автоматиза-

 ции производства

──────────────────────────────────────────────────────────────────────

 │ │ │

 │ │ \ │

 │ │ \ 2 │ 1-гибкая автоматизация

 │ │ \ │ 2-жесткая автоматизация

 │ \ │ \ │

 1,0├─────────┼─────────┼──────ручной труд

 │ │\ \ │

 │ │ \ \ │

 │ │1 \ \ │

 │ │ \ \│

 0,1└─────────┴─────────┴──────── выпуск млн.шт./год

 1,0 10

 Рис. 5. Зависимость относительной себестоимости единицы продукции

 от объемов выпуска для ручного и автоматизированного тру-

 да

──────────────────────────────────────────────────────────────────────

 Перспективы развития ГАП связаны со все более масштабной интегра-

цией в составе одной системы различных производственных функций и пол-

ной передачей этих функций под контролируемое управление от ЭВМ на ба-

зе новейших СВТ (ЭВМ 5-го поколения, базирующихся на принципах

искусственного интеллекта), развитых средствах обработки графической и

речевой информации, лазерной и другой технике измерения, волоконнооп-

тических линиях связи и распределенно-сетевых методах обработки инфор-

мации.

 - 40 -

 1.10.7. Иерархическая структура автоматизированной

 системы управления предприятием

 Как уже отмечалось, АСУП включает в себя ряд автоматизированных

систем, которые объединены в единую систему с помощью информационных

связей. Схематически эта структура представлена на рис. 6.

──────────────────────────────────────────────────────────────────────

 ┌────┐

 │АСУП│

 └──┬─┘

 │

 ┌─────────┬───────┬────────┬────┴─┬───────┬──────┬───────┬────────┐

 │ │ │ │ │ │ │ │ │

┌──┴──┐ ┌──┴──┐ ┌──┴─┐ ┌──┴─┐ ┌──┴─┐ ┌──┴─┐ ┌──┴──┐ ┌──┴──┐ ┌─┴─┐

│АСУТП│...│АСУТП│ │АТСС│...│АТСС│ │АСИО│ │САПР│ │АСТПП│ │ АРМ │...│АРМ│

└──┬──┘ └──┬──┘ └──┬─┘ └──┬─┘ └──┬─┘ └──┬─┘ └──┬──┘ │кадры│ │бух│

 │ │ │ │ │ │ │ └──┬──┘ │гал│

┌──┴──┐ ┌──┴──┐ ┌──┴──┐ ┌───┴─┐ ┌──┴──┐ ┌──┴─┐ ┌──┴──┐ │ │тер│

│ ИИС │ │ ИИС │ │склад│ │склад│ │склад│ │ ОГК│ │ ОГТ │ ┌──┴──┐ └─┬─┘

└──┬──┘ └──┬──┘ └─────┘ └─────┘ │инст-│ └────┘ └─────┘ │ ОК │ │

 │ │ │румен│ └─────┘ ┌───┴──┐

┌──┴──┐ ┌──┴──┐ │та и │ │бухгал│

│тех. │ │тех. │ │обору│ │терия │

│проц.│ │проц.│ │дова-│ └──────┘

└─────┘ └─────┘ │ния │

 └─────┘

 Рис. 6. Иерархическая структура АСУП.

──────────────────────────────────────────────────────────────────────

 1.11. Перспективы применения средств вычислительной

 техники в технологии производства РЭА.

 Ниже приведены применяемые средства и способы гибкой автоматиза-

ции производства и основные достигаемые результаты их применения.

 1. Многоцелевое технологическое оборудование с микропроцессорным

управлением. Повышается концентрация операций, увеличивается время

непрерывной работы, повышается производительность работ, качество и

идентичность изделий, сокращается потребность в рабочей силе, произ-

водственных площадях и оборудовании, сокращается продолжительность

производственного цикла изготовления РЭА, увеличиваются системная гиб-

кость, надежность и живучесть ГПС.

 2. Микропроцессорные локальные системы управления (ЛСУ) техноло-

гическим и другими видами оборудования. Обеспечивается многофункцио-

нальный характер управляемых от ЛСУ станков, увеличивается производи-

тельность оборудования, повышается качество выпускаемых изделий, сни-

жается объем аппаратурной части, благодаря чему повышается надежность

системы и оборудования, возрастает уровень унификации (как конструк-

тивной, так и функциональной); снижается стоимость ЛСУ и оборудования,

упрощается сопряжение с ЭВМ группового управления.

 3. Промышленные роботы (ПР). Автоматизация операций загрузки-выг-

рузки оборудования, инвариантность к этим операциям, автоматизация не-

которых транспортных операций, при этом исключается ручной труд, сок-

ращается длительность операций загрузки-выгрузки, транспортирования,

повышается автономность работы оборудования и системная живучесть;

увеличивается коэффициент загрузки оборудования, снижается потребность

в рабочей силе.

 4. Комплексы оборудования ГПК, ГПС (с управлением от ЭВМ), РТК,

 - 41 -

АТСС, СЦК. Автоматизация не только основных, но и вспомогательных опе-

раций (транспортные, складские, контрольно-измерительные работы); иск-

лючается (сокращается) потребность в рабочей силе: сокращается весь

производственный цикл выпуска изделий; СЦК повышает достоверность

контроля и способствует этим повышению качества изделий, диагностика

оборудования позволяет повысить надежность оборудования и комплексов.

 5. ЭВМ для управления комплексом. Оперативное управление группой

оборудования с одновременным повышением коэффициента его загрузки;

обеспечивается учет и оптимизация распределения ресурсов, повышается

производительность, сокращается объем страховых заделов и объемов не-

завершенного производства; исключаются многие дополнительные операции,

которые вводились из-за учета длительного хранения полуфабрикатов на

складе (например, дополнительное лужение выводов); повышается надеж-

ность, гибкость, упрощается согласование с ЭВМ цехового уровня.

 6. Высокий уровень унификации, стандартизации всех средств авто-

матизации производства (включая ТП, оборудование, ПР, оснастку, инс-

трумент, программное обеспечение). Сокращаются сроки и трудоемкость

проектирования, изготовления и отладки указанных средств, снижается

себестоимость, повышается надежность.

 7. Системы автоматизированного проектирования (САПР) и системы

научных исследований (АСНИ) на базе больших ЭВМ. Автоматизация процес-

са проектирования изделий РЭА с проведением предварительных исследова-

ний способствует повышению качества РЭА, сокращает трудоемкость и сро-

ки проектирования.

 8. Автоматизированная система технологической подготовки произ-

водства (АСТПП) на базе больших ЭВМ. Автоматизация разработки ТП, уп-

равляющих программ на все виды оборудования и все изделия планируемого

периода и хранение их в памяти ЭВМ, автоматизация проектирования тех-

нологического оснащения, сокращается трудоемкость и сроки технологи-

ческой подготовки производства.

 9. Автоматизированные системы управления производством на базе

больших ЭВМ. Автоматизация процессов планирования, материального обес-

печения производства, оперативного управления процессом изготовления

изделий РЭА.

 10. Комплексные интегрированные системы единой цепи проектирова-

ние-изготовление (ИПК). Объединение всех процессов, связанных с проек-

тированием, подготовкой производства и изготовления изделий в единую

непрерывную цепь; успешная адаптация конструкции изделия к условиям

производства, повышается эффективность выпуска изделий, значительно

сокращается объем преобразований информации об изделии, выполняемом

при раздельном использовании САПР, АСТПП, АСУП, АСУГПС, что дает воз-

можность осуществить принцип "один раз ввести и многократно использо-

вать информацию", т.е. исключить устройства ввода, преобразования

АСУТПП, АСП, АСУГПС и оставить их только, например, в САПР; значитель-

но сокращается цикл проектирование-изготовление; повышается качество

изделий; снижается себестоимость; экономятся материальные ресурсы.

 1.12. Применение роботов на вспомогательных и транспортных

 производственных операциях. Конструктивные элементы и

 характеристики роботов-манипуляторов.

 В настоящее время роботы в основном применяются при операциях

транспортирования, сборки, обслуживания обрабатывающего оборудования,

сварки и контроля. С точки зрения вычислительной нагрузки на управляю-

щую ЭВМ производственные операции можно подразделить на два вида:

 - информационно простые операции, к ним относятся операции пере-

носа большого числа предметов или тяжелых предметов;

 - информационно сложные операции (сборки и контроля).

 - 42 -

 Основным направлением совершенствования роботов является развитие

применения микро-ЭВМ с 8, 16 и 32-разрядными микропроцессорами, разви-

тыми операционными системами и задачеориентированными языками програм-

мирования высокого уровня. Перспективным направлением является исполь-

зование аналоговых микропроцессоров, т.е. больших интегральных схем,

где в одном кристалле реализованы как цифровые элементы - микропроцес-

сор, так и цифро-аналоговые и аналого-цифровые преобразователи, схемы

управления периферийными устройствами.

 Для реализации высоконадежных систем управления роботами все

больше находят применение адаптивные микропроцессоры с БИС, т.к. в

этих устройствах имеются резервные узлы, средства диагностики отказов

и самовосстановления, реализующие адаптивные внутренние связи,

способствующие увеличению надежности роботоориентированных вычисли-

тельных устройств до показателей, отвечающих производственным требова-

ниям.

 Приведем основные термины и определения, данные в ГОСТ 25686 и

26228 " Манипуляторы, автооператоры и промышленные роботы. Системы

производственные гибкие. Термины и определения."

 Манипулятор - управляемые устройство или машина для выполнения

двигательных функций, аналогичных функциям руки человека при перемеще-

нии объектов в пространстве, оснащенное рабочим органом.

 Манипулятор с ручным управлением - манипулятор, управление кото-

рым осуществляет оператор.

 Сбалансированный манипулятор - манипулятор с ручным управлением,

содержащий систему уравновешивания устройства рабочего органа.

 Автооператор - автоматическая машина, состоящая из исполнительно-

го устройства в виде манипулятора или совокупности манипулятора и уст-

ройства передвижения и неперепрограммируемого устройства управления.

 Промышленный робот - автоматическая машина, стационарная или пе-

редвижная, состоящая из исполнительного устройства в виде манипулято-

ра, имеющего несколько степеней подвижности, и перепрограммируемого

устройства программного управления для выполнения в производственном

процессе двигательных и управляющих функций.

 Промышленные роботы бывают с цикловым программным управлением и

числовым программным управлением (робот, управляемый устройством ЧПУ с

позиционным и (или) контурным программным управлением).

 Адаптивно-промышленный робот - промышленный робот, управляемый

устройством адаптивного управления.

 Агрегатный промышленный робот - промышленный робот, в котором по

крайней мере исполнительное устройство изготовлено путем агрегирования

из деталей, узлов и агрегатов, входящих в унифицированный набор для

построения определенных модификаций промышленных роботов.

 Агрегатно-модульный промышленный робот - робот, в котором исполь-

зуют исполнительные модули.

 Составные части промышленных роботов, автооператоров:

 Исполнительное устройство - устройство, выполняющее все его дви-

гательные функции.

 Исполнительный модуль промышленного робота - агрегат, входящий в

унифицированный набор, или образуемый из деталей и узлов этого набора,

способный самостоятельно выполнять функцию реализации движений по од-

ной или нескольким степеням подвижности промышленного робота.

 Рабочий орган - составная часть исполнительного устройства про-

мышленного робота для непосредственного выполнения технологических

операций и (или) вспомогательных переходов.

 Устройство управления - устройство для формирования и выдачи уп-

равляющих воздействий исполнительному устройству в соответствии с уп-

равляющей программой.

 Основными характеристиками манипуляторов и промышленных роботов

 - 43 -

являются:

 - номинальная грузоподъемность - наибольшее значение массы пред-

метов производства и (или) технологической оснастки, включая массу

захватного устройства, при которой гарантируется их удержание и обес-

печение установленных значений эксплуатационных характеристик;

 - рабочее пространство - пространство, в котором может находиться

исполнительное устройство при функционировании манипулятора или про-

мышленного робота;

 - рабочая зона - пространство, в котором может находиться рабочий

орган при функционировании;

 - зона обслуживания - пространство, в котором рабочий орган вы-

полняет свои функции в соответствии с назначением;

 - число степеней подвижности - количество возможных направлений

перемещения или поворотов рабочего органа робота;

 - скорость перемещения по степени подвижности - максимальная ли-

нейная или угловая скорость движения рабочего органа робота в заданном

направлении;

 - погрешность позиционирования рабочего органа - максимальное

отклонение положения рабочего органа от заданного управляющей програм-

мой;

 - погрешность отработки траектории рабочего органа - максимальное

отклонение траектории рабочего органа от заданной управляющей програм-

мой.

 1.13. Алгоритмы управления роботами

 Алгоритмы и методы обучения роботов подразделяются на:

 - прямое обучение;

 - роботоориентированное программирование;

 - метод задачно-ориентированного программирования.

 При прямом обучении предполагается ручное перемещение робота во

все требуемые положения и запись соответствующих им обобщенных коорди-

нат сочленений. Выполнение программы заключается в перемещении сочле-

нения робота в соответствии с заданной последовательностью положений и

не требует универсальной вычислительной машины. Ограничением является

то, что невозможно использовать датчики. Этот метод программирования

эффективен для точечной сварки, окраски и простых погрузочно-разгру-

зочных работ с фиксированными положениями рабочего органа и обрабаты-

ваемой детали в защищенной от попадания посторонних предметов и людей

зоне.

 При роботоориентированном программировании используются датчики и

суть программирования заключается в том, что происходит опрос датчиков

и определяется движение робота в зависимости от обработки сенсорной

информации. Преимуществом этого метода является то, что при использо-

вании сенсорной информации робот может функционировать в условиях не-

которой неопределенности. Этот метод используется для сборки или конт-

роля качества сборки. Упростить процедуру программирования можно путем

использования в роботоориентированных языках метода машинной графики,

который связан с заменой метода прямого обучения моделированием рабо-

чего пространства роботов. Этот метод в значительной степени воспроиз-

водит процесс прямого обучения роботов с такими его достоинствами, как

возможности свободной смены точки зрения, визуального контроля взаим-

ного положения всех элементов рабочего пространства, интерактивной от-

ладкой. Подключение САПР к процессу программирования роботов позволяет

резко повысить степень интеграции робота с производственной системой,

т.е. одна и та же БД может быть использована для всей производственной

системы.

 При методе задачно-ориентированного программирования определяется

 - 44 -

не движение роботов, а желаемое расположение объектов. Исходной инфор-

мацией для этого метода программирования является геометрическая мо-

дель рабочего пространства и робота. Такие системы называются система-

ми моделирования рабочей обстановки. Характерной особенностью таких

систем является отказ от детального программирования конкретных дейс-

твий робота и программирование задачи в терминах взаимного положения

объектов в рабочем пространстве и его изменений. Фактически действия

робота строятся с помощью методов искусственного интеллекта на основе

модели робота и окружающих его объектов. Здесь также большое значение

имеет геометрическая модель.

 Программирование роботов с использованием модельных представлений

включает 3 основных этапа:

 1. формирование необходимых информационных моделей;

 2. построение программных перемещений деталей с контролем взаим-

ного положения, выполнения технологических операций, в т.ч. смены зах-

ватного устройства и инструмента, проверок условий и организации логи-

ческих переходов, синхронизации с другими устройствами;

 3. получение исполнительной программы управления роботом на языке

низкого уровня.

 Построение геометрической модели рабочего пространства может быть

осуществлено одним из трех способов:

 1. с помощью манипулятора;

 2. средствами машинной графики;

 3. с помощью системы технического зрения.

 Первые два были рассмотрены выше (прямое обучение и роботоориен-

тированное и задачно-ориентированное программирование), а третий спо-

соб - это по-существу модификация первого - интерактивное зрение, в

котором оператор, пользуясь лазером как указкой, указывает световым

пятном характерные точки объектов рабочего пространства, а координаты

измеряются системой технического зрения.

 - 45 -

 2. ТЕХНОЛОГИЯ РЭА КАК СЛОЖНАЯ СИСТЕМА.

 2.1. Общие принципы управления сложными системами.

 При определении некоторого объекта как системы предполагается на-

личие следующих признаков:

 1. объекта (системы), состоящего из множества элементов и их

свойств, которые могут рассматриваться как единое целое благодаря свя-

зям между ними и их свойствами;

 2. исследователя, выполняющего любую целенаправленную деятель-

ность (исследовательскую, проектную, организационную и др.);

 3. задачи, с точки зрения решения которой исследователь определя-

ет некоторый объект как систему;

 4. языка, на котором исследователь может описать объект, свойства

его элементов и связи.

 Любой целенаправленный процесс, происходящий в любой сложной сис-

теме, представляет собой организованную совокупность операций, которые

условно можно разбить на две группы: рабочие операции и операции уп-

равления.

 Рабочие операции - это действия, необходимые непосредственно для

выполнения процесса в соответствии с природой и законами, определяющи-

ми ход процесса. Например, процесс обработки детали на токарном станке

состоит из таких рабочих операций, как закрепление детали, подача рез-

ца, снятие стружки и др.

 Для достижения цели процесса рабочие операции должны направляться

и организовываться операциями управления. Совокупность операций управ-

ления образует процесс управления.

 Система, в которой осуществляется процесс управления, называется

системой управления. В структурном аспекте любую систему управления

можно представить взаимосвязанной совокупностью объекта управления

(управляемой подсистемы) и управляющего органа (управляющей подсисте-

мы). Обобщенная структура системы управления приведена на рисунке 7.

──────────────────────────────────────────────────────────────────────

 цель управления

 ┌──────────────

 │

 ┌─────────────┼───────────────────┐

 │ \│/ │

 │ ┌───┴─────────┐ │

 │ X(t) │ управляющий │<────────┼──────┐

 │ ┌─────>│ орган ├────────┐│ │

 │ │ └─────────────┘ ││ │

 │ │ U(t) ││ │

 │ │ ┌─────────────┐ ││ │

 │ │ │объект управ-│<───────┘│ └─────

 │ └──────┤ления │<────────┼─────────────

 │ └─────────────┘ │возмущающие

 └─────────────────────────────────┘воздействия

 Рис. 7. Обобщенная структура системы управления, где: X(t) - ин-

 формация о состоянии системы; U(t) - управляющее воздействие.

──────────────────────────────────────────────────────────────────────

Т.к. любой процесс управления является целенаправленным процессом,

должна быть известна цель управления. Это значит, что управляющему ор-

гану должна быть известна цель управления, т.е. информация, используя

которую можно определить желаемое состояние объекта управления. Управ-

ляющий орган воздействует на объект управления так, чтобы его состоя-

ние соответствовало желаемому.

 Объект управления представляет собой открытую систему, т.е. нахо-

 - 46 -

дится в динамическом взаимодействии с окружающей средой. Влияние внеш-

ней среды носит неконтролируемый характер и выражается в случайном из-

менении его состояния. Воздействие окружающей среды на объект управле-

ния называется возмущающим воздействием.

 Для формального описания задачи управления введем некоторые опре-

деления. Предположим, что доступная информация об объекте управления

содержится в n функциях от времени X 4i 0(t), i=1,2...n. Будем рассматри-

вать переменные X 4i 0 как компоненты многомерной векторной функции X(t),

называемой вектором состояния объекта управления. В системе управления

эти переменные являются контролируемыми выходными переменными объекта

управления и одновременно входными переменными управляющего органа

(см. рис. 7).

 Состояние объекта управления изменяется под воздействием возмуща-

ющих факторов F(t)={f 41 0(t),f 42 0(t),....,f 4k 0(t)}, называемых вектором воз-

мущения, и целенаправленного влияния управляющего органа, называемого

вектором управления U(t)={u 41 0(t),u 42 0(t),...,u 4m 0(t)}. В системе управления

переменные u 4j 0(t) являются входными переменными объекта управления и

одновременно выходными управляющего органа.

 В любой момент времени t состояние объекта управления X(t) явля-

ется функцией векторов U(t), F(t), а также начального состояния X 4o 0(t),

т.е. X(t)=X{U(t),F(t),X 4o 0(t)} (7).

 Уравнение (7) есть математическая модель объекта управления, опи-

сывающая закон его функционирования, в котором единственным изменяемым

целенаправленно фактором является вектор управления U(t). Задача уп-

равления формулируется следующим образом: найти такие вектор управле-

ния и вектор состояния, которые обеспечивают достижение цели управле-

ния. Цель управления может иметь различную формулировку, однако в

большинстве случаев ее можно формально определить значением J 5\* 0 некото-

рого функционала J, который называют критерием управления или целевой

функцией: J= J{ X(t),F(t),U(t)} (8).

 В реальных объектах управления вектор состояния и вектор управле-

ния могут находиться в определенной конечной области значений:

U(t)сA(t), X(t)сB(t) (9). Здесь А и В - замкнутые области соответс-

твенно векторного пространства управлений и состояний.

 Решение задачи заключается в том, чтобы найти такие значения век-

торов состояния X 5\* 0(t) и управления U 5\* 0(t), при которых выполняется ус-

ловие J{X 5\* 0(t),F(t),U 5\* 0(t),X 4o 0(t)}=J 5\* 0 (10) и одновременно удовлетворяются

ограничения (9).

 Если задачу управления поставить несколько по-другому, тогда она

примет следующий вид: найти и реализовать функциональную зависимость

U 5\* 0(t)=U{X(t),F(t)} (11), обеспечивающую наилучшее приближение к задан-

ному значению критерия управления. Выражение (11) называется алгорит-

мом управления. Определение программы управления заключается в выра-

ботке траектории движения системы X 5\* 0(t) в пространстве параметров ее

состояния.

 Контроль состоит в измерении значений компонентов вектора состоя-

ния X(t) по вектору наблюдения Z(t) и определении вектора ошибки e(t)

при наличии возмущающих воздействий F(t).

 Формирование управляющего воздействии (принятие решений) заключа-

ется в определении значений управляемых переменных, приводящих объект

управления в желаемое состояние.

 Функциональная схема системы управления приведена на рис. 8.

Функциональная схема системы регулирования отличается от приведенной

выше тем, что отсутствует программатор. Желаемое состояние объекта за-

дается извне и то, чем оно задается, называется обычно задающим воз-

действием.

 2.2. Классификация систем управления.

 - 47 -

 Рассмотрим классификацию систем управления по следующим призна-

кам:

──────────────────────────────────────────────────────────────────────

┌───────────────┐ ┌────────┐X 5\* 0(t) ┌───────────┐ ┌────────────┐

│цель управления├─>│програм-│ │устройство │e(t) │устройство │

└───────────────┘ │ матор ├─────>│ сравнения ├────>│определения-│

 └────────┘ └─────┬─────┘ │управл.воз- │

 Z(t) /│\ │действия │

 ┌────┴────┐ └────┬───────┘

 │ датчик │ U (t) │

 └──┬──────┘ │

 X^(t) │ \│/

 ┌────────┴────┐ ┌────┴───────┐

 F(t) ───────>│ объект │<───────┤исполнитель-│

 │управления │ U^(t) │ ный орган │

 └─────────────┘ └────────────┘

 Рис. 8. Функциональная схема системы управления

──────────────────────────────────────────────────────────────────────

 - степень автоматизации функций управления;

 - степень сложности;

 - степень определенности.

 В зависимости от степени автоматизации функций управления разли-

чают ручное, автоматизированное и автоматическое управление. При руч-

ном управлении все функции управления выполняются человеком-операто-

ром. Автоматизированным называют процесс управления, в котором часть

функций выполняется человеком, а другая часть - автоматическими уст-

ройствами. При автоматическом управлении все функции выполняются авто-

матическими устройствами. Соответственно системы управления называются

автоматизированными или автоматическими.

 По степени сложности системы управления делят на простые и слож-

ные. Строгого определения, позволяющего различить эти понятия, не су-

ществует. Интуитивно представление о сложной системе можно получить,

рассмотрев свойства систем, состоящих из большого числа элементов.

Сложной системе соответствует сложный орган управления. Тогда совокуп-

ность сложного управляющего органа и сложного объекта управления назо-

вем сложной системой управления. Сложные системы управления имеют сле-

дующие особенности:

 1. Число параметров, которыми описывается сложная система, весьма

велико. Многие из этих параметров не поддаются количественному описа-

нию и измерению.

 2. Цели управления не поддаются формальному описанию без сущест-

венных упрощений. Цели управления являются функциями времени. Система

может состоять из подсистем, каждая из которых имеет собственную цель

управления. В процессе управления надо согласовывать цели подсистем с

общей целью системы, что, как правило, является сложной задачей.

 3. Трудно или даже невозможно дать строгое формальное описание

сложной системы управления. Как правило, при моделировании таких сис-

тем основной задачей является поиск разумного упрощения.

 По степени определенности системы управления обычно разбивают на

детерминированные и вероятностные (стохастические). Детерминированной

системой называют систему, в которой по ее предыдущему состоянию и не-

которой дополнительной информации можно безошибочно предсказать ее

последующее состояние. В вероятностной системе на основе предыдущего

состояния и дополнительной информации можно предсказать и определить

вероятность каждого из последующих.

 Разбиение систем на простые и сложные, детерминированные и веро-

ятностные весьма условно. К числу простых детерминированных систем

 - 48 -

можно отнести автопилот. Примером сложной детерминированной системы

является ЭВМ. Простой вероятностной системой можно назвать систему

статистического контроля качества продукции предприятия по одному или

нескольким параметрам, которая предусматривает выборочную проверку за-

данных параметров с определенной периодичностью. Сложной вероятностной

системой является производственное предприятие, крупная строительная

организация и т.д.

 2.3. Характеристика систем управления технологическими

 процессами.

 Взаимосвязанную совокупность оборудования, на котором выполняется

технологический процесс, назовем технологической системой. Представим

технологическую систему в виде многомерного объекта, описываемого тре-

мя группами переменных. Первую группу переменных обозначим вектором

W(t), составляющие которого W 41 0(t),W 42 0(t),...,W 4m 0(t) представляют собой

параметры, характеризующие свойства и количество входных продуктов.

Вторая группа переменных V(t)={V 41 0(t),V 42 0(t),...,V 4n 0(t)} представляет со-

бой параметры, характеризующие свойства и количество выходного продук-

та. Третья группа составлена из параметров, характеризующих условия

протекания технологического процесса Z(t)={Z 41 0(t),Z 42 0(t),...,Z 4l 0(t)}. В

общем случае состояние технологической системы характеризуется всеми

вышеприведенными переменными.

 Однако, размерность векторов в реальных условиях весьма велика и

превышает возможности управляющего органа. Кроме того, на практике

часть переменных либо не требуется измерять, т.е. они не существенны с

точки зрения цели управления, либо измерять невозможно из-за техничес-

ких сложностей.

 Поэтому только часть составляющих векторов используют для форми-

рования вектора состояния X(t). Переменные вектора состояния условно

разобьем на две группы. В первую группу включим те переменные, которые

можно целенаправленно изменять в процессе управления. Назовем их уп-

равляемыми переменными. В качестве управляемых переменных выбирают те

составляющие, целенаправленное изменение которых технически возможно и

существенно влияет на показатель цели управления. Вторую группу соста-

вим из переменных, которые измеряются и используются при формировании

управляющего воздействия, но не могут целенаправленно изменяться при

управлении данным технологическим процессом. Переменные, которые не

вошли в первые две группы, будем рассматривать как неконтролируемые

возмущающие воздействия. Поэтому технологическую систему можно предс-

тавить схемой, приведенной на рис. 9.

──────────────────────────────────────────────────────────────────────

 ┌──────────────┐

 U(t)──────>│ Ф(.) ├────────>X(t)

 F(t)──────>└──────────────┘

 Рис. 9. Схема технологической системы.

──────────────────────────────────────────────────────────────────────

 Здесь U(t) - вектор управления, F(t) - вектор возмущения, X(t) -

вектор состояния, т.е. технологическую систему можно рассматривать как

преобразователь входных функций. Поэтому X(t)=Ф(U(t),F(t)) (12), где Ф

- оператор преобразования. Это выражение является формальным описанием

технологической системы, т.е. ее моделью.

 Определим технологический процесс как целенаправленную смену сос-

тояний X(t)={X 41 0(t),X 42 0(t),...,X 4k 0(t)}, которые назовем параметрами тех-

нологического процесса. Задачу управления технологическим процессом

можно сформулировать следующим образом: найти такое состояние техноло-

гического процесса X 5\* 0(t) (технологический режим) и такое управляющее

воздействие U 5\* 0(t), которые удовлетворяют как цели управления, так и

 - 49 -

ограничениям вида (9).

 2.4. Технико-экономическая эффективность как целевая

 функция системы.

 Одним из основных критериев управления (целевой функцией системы

управления) J (см. выражение (8)), является технико-экономическая эф-

фективность функционирования системы. Технологические показатели эф-

фективности отражают следующие стороны функционирования ТС:

 - количество выпущенной продукции;

 - качество выпускаемой продукции;

 - количество израсходованного топлива, энергии, сырьевых материа-

лов и комплектующих изделий;

 - технологическое оборудование, использованное при выпуске про-

дукции;

 - количество и квалификация производственного персонала.

 Технологические показатели эффективности, описывающие количество

выпущенной продукции, могут определяться за единицу измерения кален-

дарного времени (месяц), за единицу измерения наработки оборудования

(час, смена), за единицу измерения израсходованного топлива, энергии,

сырья, комплектующих изделий (тонна, кВтчас, тыс.шт.). Аналогично это-

му, показатели, описывающие расход топлива и другие затраты могут оп-

ределяться за единицу календарного времени, а также на выпуск единицы

продукции. Показатели, описывающие качество, часто определяют как долю

продукции, выпущенной определенными группами качества (марками, кате-

гориями, сортами) по отношению ко всей продукции, выпущенной за едини-

цу календарного времени, и т.п. Показатели, характеризующие использо-

вание оборудования (число вынужденных остановов, суммарная длитель-

ность простоев и т.д.) относят к календарному времени.

 Организационные показатели эффективности отражают трудовые затра-

ты персонала на производство продукции и выражают в единицах трудовых

затрат (человеко-часах). Эти показатели определяют как календарное

время, затраченное на выпуск продукции.

 Экономические показатели эффективности отражают экономические ре-

зультаты функционирования ТС и выражают либо в денежных единицах, либо

в единицах, определяющих степень соответствия этих результатов затра-

тами на ТС. Этот показатель имеет вид: W 4i 0= F(Ц 4t 0,С 4t 0,K) (13), где Ц 4t 0 -

стоимость продукции в оптовых ценах, произведенной за время t; C 4t 0 -

себестоимость продукции, произведенной за время t; К - капитальные

вложения и предпроизводственные затраты, отнесенные к периоду t; F -

некоторая функция.

 Наиболее распространенными показателями эффективности являются

прибыль П 4t 0=Ц 4t 0-C 4t 0 (14) и чистая прибыль Ч 4t 0=Ц 4t 0-C 4t 0-E 4н 0\*К (15), где Е 4н 0 -

нормативный коэффициент капитальных вложений; приведенные затраты, ко-

торые учитывают затраты только на выпуск продукции и не учитывают ее

стоимость Е 4t 0=C 4t 0+Е 4н 0\*К (16); коэффициент экономической эффективности ка-

питальных вложений К 4эк 0=П 4t 0/К=(Ц 4t 0-C 4t 0)/К (17). Величина, обратная коэффи-

циенту экономической эффективности, называется сроком окупаемости ка-

питальных вложений.

 Рассмотрим пример функционала, описывающего технико-экономическую

эффективность работы системы (производства). В качестве примера расс-

мотрим месячную прибыль, остающуюся в распоряжении предприятия,

П 4п 0=П 4t 0-H 4п 0-О 4тп 0-С 4у 0-Н 4ж 0 (18). Будем считать, что предприятие занимается

производством и не имеет соисполнителей. Введем обозначения:

 З - начисленная зарплата персонала;

 С 4с 0 - обязательные отчисления на социальное страхование (5,4 % от

З);

 З 4м 0 - установленный минимум заработной платы в РФ (56000 руб.);

 - 50 -

 N - количество сотрудников на предприятии (среднесписочный состав

за рассматриваемый период);

 М 4с 0 - обязательные отчисления на медицинское страхование (3,6 % от

З);

 П 4ф1 0 - обязательные отчисления в пенсионный фонд с сотрудников (1

% от З);

 П 4ф2 0 - обязательные отчисления в пенсионный фонд с предприятия (28

% от З);

 Ф 4з 0 - обязательные отчисления в фонд занятости (2 % от З);

 Т 4н 0 - транспортный налог (1 % от З);

 П 4н 0 - подоходный налог с сотрудников (12 % от (З-П 4ф1 0));

 З 4н 0 - полученная на руки сотрудниками заработная плата

(З 4н 0=З-П 4ф1 0-П 4н 0 (19));

 А - амортизационные отчисления на полное восстановление оборудо-

вания;

 Д 4н 0 - налог на пользователей автомобильных дорог (0,8 % от Ц 4t 0);

 Н 4с 0 - налог на имущество предприятия (1,5 % от его среднегодовой

стоимости);

 М - затраты на сырье, материалы, комплектующие изделия;

 И - затраты на инструменты, приспособления и оснастку;

 К 4р 0 - командировочные расходы (в установленных правительством пре-

делах);

 Н 4р 0 - накладные расходы;

 С 4у 0 - сбор на нужды образовательных учреждений (1 % от З);

 Н 4ж 0 - налог на содержание жилищного фонда (1,5 % от Ц 4t 0);

тогда C 4t 0= 7( 0З+С 4с 0+М 4с 0+П 4ф2 0+Ф 4з 0+Т 4н 0+А+Д 4н 0+Н 4с 0+М+И+К 4р 0+Н 4р 0 З 7, 06\*N\*З 4м

  79 06\*N\*З 4м 0+С 4с 0+М 4с 0+П 4ф2 0+Ф 4з 0+Т 4н 0+А+Д 4н 0+Н 4с 0+М+И+К 4р 0+Н 4р 0 З 7. 06\*N\*З 4м 0 (20);

 Ц 4п 0 - договорная цена продукции (Ц 4п 0=Ц 4t 0+Н 4дс 0+С 4н 0 (21));

 Н 4дс 0 - налог на добавленную стоимость (20 % от Ц 4t 0);

 С 4н 0 - специальный налог (1,5 % от Ц 4t 0);

 Н 4п 0 - налог на прибыль (38 % от П 4t 0);

 О 4тп 0 - оплата труда персонала из прибыли:

О 4тп 0= 7( 00 З 7, 06\*N\*З 4м

  79 0(З-6\*N\*З 4м 0)(1+С' 4с 0+М' 4с 0+П' 4ф2 0+Ф' 4з 0+Т' 4н 0) З 7. 06\*N\*З 4м 0 (22);

 ' - приведенные ставки налогов (С` 4с 0=C 4c 0/100 и т.д.).

Здесь приведена только часть затрат, наиболее распространенных, обяза-

тельных для всех предприятий, остальные не учтены, например, обучение

персонала, платежи банкам, налоги на рекламу и т.д., всего около 70

видов налогов. Ставки налогов даны для г. Москвы по состоянию на ав-

густ 1995 г. Таким образом:

П 4п 0=0,494\*Ц 4п 0-0,995\*З 4н 0-0,62\*(А+Н 4с 0+М+И+К 4р 0+Н 4р 0) З 7, 06\*N\*З 4м 0 (23).

Из этого выражения, между прочим, следует, что в случае уплаты всех

налогов З 4н 7, 00,496\*Ц 4п 0.

 Таким образом, при оценке функционирования технологической систе-

мы как на этапе ее проектирования, так и на этапе ее функционирования

возможно использование вышеприведенных показателей. При оценке качест-

ва управления эффект от применения автоматизированной или автоматичес-

кой управляющей системы оценивают путем сравнения экономических пока-

зателей системы до автоматизации и после. Как уже выше указывалось,

применение ГПС по степени своей эффективности отличается для различных

видов производств. Эти же показатели используют при проектировании ТС.

 Следует отметить, что в показатель себестоимости продукции входят

затраты на единицу продукции, включая и накладные расходы. Чем больше

выпускаемая партия (крупно-серийное или массовое производство), тем

меньше себестоимость единицы выпускаемой продукции.

 2.5. Основные типы систем управления технологическими

 процессами.

 - 51 -

 1. Системы программного регулирования. Если технологический режим

не зависит от внешних условий (например, качества исходных сырьевых

материалов) и может быть рассчитан заранее, то целью управления явля-

ется минимизация отклонений текущих значений управляемых параметров от

заданных, т.е. требуется осуществлять управление технологическим про-

цессом по заранее заданной программе. В частном случае, когда все за-

данные значения параметров не зависят от времени, процесс регулирова-

ния сводится к процессу стабилизации технологических параметров. В ка-

честве примера таких процессов можно привести поддержание заданных

температурных режимов при термической обработке материалов.

 2. Системы оптимизации параметров технологических процессов. В

тех случаях, когда наилучший режим не может быть задан заранее, т.к.

его выбор зависит от ряда факторов, информация о которых появляется в

ходе процесса, решается задача оптимизации технологического режима.

Например, технологический режим обработки материалов зависит от хими-

ческого состава сырьевых материалов, который может колебаться и стано-

вится известным только в процессе производства. При этом она формули-

руется следующим образом: надо найти такое значение X(t)=X 5\* 0(t), кото-

рое обеспечивает maxQ=Q[X 4k 0(t),X 5\* 0(t)] (24). Технологический режим X 5\* 0(t)

является оптимальным по критерию (24), Х 4к 0(t) - контролируемые перемен-

ные качества входа. Возможная схема системы, реализующей описанное уп-

равление, приведена на рис. 8.

 3. Системы оптимизации порядка выполнения технологических опера-

ций. В дискретных системах технологический режим определяется порядком

и длительностью выполнения технологических операций. Выбор порядка и

длительности, т.е. программы управления, заключается в определении

времени начала и окончания операций на определенном станке с учетом

заданной технологии обработки деталей, производительности станков,

длительности их переналадки и ряда других факторов. Критерием опти-

мальности является время технологического цикла, которое требуется ми-

нимизировать. Для оптимального выбора программы требуется решить зада-

чу комбинаторного типа, размерность которой зависит от разнообразия

обрабатываемых деталей и числа обрабатывающих станков. Очевидно, что

даже для небольшого участка число вариантов программы оказывается

столь большим, что исключает возможность использования простых вычис-

лительных алгоритмов для отыскания оптимального решения. Практическая

значимость задач этого типа обусловила развитие большого количества

методов их решения, совокупность которых составляет теорию расписания

или календарного планирования, часто эти задачи решаются методами тео-

рии графов. Дискретное производство в отличие от непрерывного характе-

ризуется большей стабильностью технологического режима, что позволяет

рассчитывать его заранее, а в процессе управления осуществлять лишь

оперативное регулирование. Поэтому выбор программы управления в диск-

ретных системах выделен в самостоятельную функцию управления - плани-

рование работы технологических подразделений (участок, линия, цех).

Этот класс задач наиболее характерен для систем управления ГПС (ГАЛ,

ГАЦ).

 4. Системы управления манипулированием. Операции манипулирования

выполняются роботами-манипуляторами. Одной из главных задач управления

манипулированием является определение траекторий движения манипулято-

ра. В первом разделе п. 1.13 были подробно рассмотрены вопросы управ-

ления роботами.

 2.6. Основные показатели и состав систем

 автоматического управления.

 Основу большинства локальных систем управления технологическим

 - 52 -

оборудованием, роботами составляет регулятор. Эта система (САР) пред-

назначена для поддержания технологического параметра (например, темпе-

ратуры, концентрации, уровня жидкости в ванне и т.д.) в заданных пре-

делах или для изменения его по какому-либо закону с заданной точностью

и производительностью. Основные показатели качества работы САР - это

устойчивость, статистическая и динамическая точность, быстродействие и

добротность (коэффициент усиления), мощность.

 Устойчивость характеризует способность системы приходить в равно-

весное состояние при появлении командного сигнала или его изменений.

Неустойчивая система к работе непригодна, т.к. возникающие в ней внут-

ренние напряжения разрушают кинематические связи между элементами. В

зависимости от применяемого метода анализа и синтеза количественно она

определяется через разные показатели: коэффициент затухания, перерегу-

лирование, показатель колебательности и др.

 Точность САР определяется как наибольшая статистическая величина

отклонения фактического состояния регулируемого параметра от заданно-

го. Различают статическую и динамическую точность. Статическая точ-

ность определяется как отклонение фактического значения регулируемого

параметра от заданного в установившемся режиме, а динамическая - в пе-

реходном режиме работы САР.

 Быстродействие определяет способность системы реагировать на из-

менение входного сигнала, переходя из одного устойчивого состояния в

другое. В разных методах анализа и синтеза быстродействие характеризу-

ется: временем затухания переходного процесса, собственной частотой

колебаний, резонансной частотой, полосой пропускания и др.

 Эти показатели качества работы САР определяют при анализе работы

в установившемся и переходном режимах работы физической или математи-

ческой модели САР.

 В состав САР входят: устройство обратной связи УОС (измери-

тель-преобразователь), устройство сравнения УСр и исполнительный меха-

низм ИУ (в том числе силовой привод), составляющие собственно регуля-

тор Р, и объект управления (рабочий орган станка или агрегата) ОУ. Из-

меритель-преобразователь регулируемого параметра определяет фактичес-

кое значение регулируемого параметра (например, скорость движения сто-

ла станка), преобразует в удобный сигнал и посылает его на один из

входов устройства сравнения, осуществляя обратную связь. На другой его

вход подается командный сигнал от задающего устройства. В устройстве

сравнения происходит сопоставление этих сигналов (а в большинстве слу-

чае еще усиление и преобразование) и вырабатывается управляющий сигнал

(сигнал рассогласования) для исполнительного механизма (силового при-

вода). Последний отрабатывает его, воздействуя на объект управления.

Привод работает до тех пор, пока величина рассогласования не будет

меньше его чувствительности.

──────────────────────────────────────────────────────────────────────

 ┌────────┐ ┌────────┐ ┌─────┐

 ─────>│ ├─────>│ ИУ ├─────>│ ОУ │

 ┌───>│ УСр │ └────────┘ └──┬──┘

 │ └────────┘ │

 │ ┌────────┐ │

 └────────────────────┤ УОС │<────────┘

 └────────┘

 Рис. 10. Обобщенная схема системы автоматического регулирования.

──────────────────────────────────────────────────────────────────────

 В основу классификации САР можно положить несколько признаков:

 - технологическое назначение (стабилизирующее, программное, сле-

дящее);

 - регулирующее воздействие (непрерывные, импульсные, релейные);

 - сложность преобразования (прямого и непрямого действия);

 - 53 -

 - вид обратной связи (жесткая, изодромная и комбинированная);

 - закон регулирования (пропорциональный П, интегральный И, диффе-

ренциальный Д, комбинированный);

 - вид статической характеристики (статические и астатические);

 - число обратных связей или число регулируемых параметров (одно-

и много-контурные САР);

 - вид энергии, используемой в силовом приводе (электрические,

пневматические, гидравлические, механические и комбинированные);

 - вид регулируемого параметра (скорость, положение, уровень, тем-

пература, давление или вакуум, расход, напряжение, сила тока и др.).

 Стабилизирующие САР предназначены для поддержания регулируемого

параметра в заданных пределах в условиях изменяющихся внешних воздейс-

твий на систему; программные САР - для изменения регулируемого пара-

метра по заранее известному закону; следящие САР - для изменения регу-

лируемого параметра по заранее неизвестному закону (отслеживания изме-

нения командного воздействия).

 К системам прямого действия относят САР, в регуляторе которых от-

сутствуют специальные усилительные устройства, а изменение регулируе-

мого параметра (например, перестановка рабочего органа станка) осу-

ществляется за счет энергии самого датчика (информационные функции

совмещены с силовыми, что резко снижает чувствительность и точность

САР).

 Возрастание требований по точности регулирования, требуемому уси-

лию воздействия на объект управления, требуемая мощность, привели к

созданию САР непрямого действия. В регуляторах таких САР применяют

усилительные устройства, а информационные и силовые функции разделены.

 Неодинаковы по точностным характеристикам статические и астати-

ческие САР. В статических САР изменение режима работы (смена равновес-

ного состояния) происходит со статической ошибкой, а в астатических

эта ошибка равна нулю.

 Важным признаком классификации является вид обратной связи (ОС).

Различают САР с жесткой и изодромной ОС. Жесткая ОС (положительная или

отрицательная) действует в САР постоянно как в установившемся, так и в

переходном режимах, причем отрицательная ОС при отклонении объекта уп-

равления (или параметра) от равновесного (заданного) состояния вызыва-

ет нейтрализацию этого отклонения (сигнал рассогласования вычитается

из основного сигнала), а положительная - способствует переводу объекта

в другое равновесное состояние (сигнал рассогласования складывается с

основным). Изодромная ОС (гибкая, исчезающая) действует лишь в течение

переходного процесса. Применение ОС вообще, и изодромной в частности,

способствует повышению качества регулирования.

 Обратная связь обеспечивает контроль регулируемого (управляемого)

параметра ТП автоматически в масштабе реального времени.

 Измеренное с помощью датчика ОС фактическое значение регулируемо-

го параметра сравнивается с заданным (командным). Полученный в резуль-

тате сигнал рассогласования усиливается и является управляющим для си-

лового привода. В системах без ОС нет гарантии, что заданный на входе

сигнал, соответствующий требуемому изменению регулируемого параметра,

будет обработан силовым приводом из-за действия на систему неконтроли-

руемых факторов.

 Обратная связь в соответствии с законом регулирования оказывает

существенное влияние на свойства САР, улучшая их.

 Любая система описывается нелинейными уравнениями, однако часто

их можно и нужно линеаризовать, т.е. перейти к более простой модели.

Линеаризации бывают обычные, гармонические, статистические и др. Обыч-

ными будем называть линеаризации, основанные на разложении нелинейной

функции в ряд Тейлора в окрестности некоторой точки и отбрасывании не-

линейных слагаемых.

 - 54 -

 Математическую модель любой САР называют звеном. Любое стационар-

ное линейное непрерывное звено с двумя входами описывается уравнением

вида: A 4o 0Y 5(n) 0+A 41 0Y 5(n-1) 0+...+A 4n 0Y=

=B 4o 0U 5(m) 0+B 41 0U 5(m-1) 0+...+B 4m 0U+C 4o 0F 5(l) 0+C 41 0F 5(l-1) 0+...+C 4l 0F (25),

где Y 5(i) 0,U 5(i) 0,F 5(i) 0 - i-е производные по времени.

 Для линейных систем справедлив принцип суперпозиции: реакция сис-

темы на несколько одновременно приложенных воздействий равна сумме ре-

акции системы на каждое воздействие в отдельности.

 Для уравнения (25) это означает, что если Y(t) - реакция системы,

то при одних и тех же начальных условиях Y(t) =Y 4u 0(t)+Y 4f 0(t) (26).

 Благодаря принципу суперпозиции исследование систем с несколькими

входами всегда можно свести к исследованию систем с одним входом. Сис-

тема описывается уравнением вида

A 4o 0Y 5(n) 0+A 41 0Y 5(n-1) 0+...+A 4n 0Y=B 4o 0U 5(m) 0+B 41 0U 5(m-1) 0+...+B 4m 0U (27).

 Используя символическую форму записи для операции дифференцирова-

ния - оператор р (оператор дифференцирования), то, по определению

py=dy/dt (28), p 5i 0y=d 5i 0y/dt 5i 0 (29) и, используя р, уравнение (27) можно

представить в виде: A 4o 0P 5n 0Y+A 41 0P 5n-1 0Y+...+A 4n 0Y=B 4o 0P 5m 0U+B 41 0P 5m-1 0U+...+B 4m 0U (30),

или, вынося за скобки Y, U (оператор р можно рассматривать как алгеб-

раический сомножитель, не обладающий свойством коммутативности), полу-

чим уравнение вида Q(p)Y=R(p)U (31), где дифференциальный оператор

Q(p) при выходной величине называют собственным оператором, а диффе-

ренциальный оператор R(p) при входной величине - оператором воздейс-

твия, такая запись удобна при определении передаточных функций.

 Передаточной функцией в операторной форме W(p) называется отноше-

ние оператора воздействия к собственному оператору. Согласно определе-

нию, передаточная функция системы (27) имеет вид W(p)=R(p)/Q(p) (32).

Используя W(p), получим уравнение Y=W(p)\*U (33).

 Если система имеет m входов и m выходов, то для ее описания тре-

буется m передаточных функций. В частности, уравнение (25) в символи-

ческой форме имеет вид Y(t)=W 4u 0(p)U(t)+W 4f 0(p)F(t) (34).

 Для системы управления с обратной связью передаточная функция

имеет вид W 4p 0=W 41 0(p)/(1+ W 41 0(p)W 42 0(p)) (35), где W 41 0(p) - передаточная

функция объекта, W 42 0(p) - передаточная функция ОС.

 Вид ОС определяет реализуемый в САР закон регулирования. Под за-

коном (алгоритмом) регулирования понимают функциональную зависимость

выходной величины Y регулятора от его входной величины U.

 В серийно выпускаемых промышленных П-, ПД-, ПИ-, ПИД-регуляторах

применяют соответственно следующие типовые законы регулирования:

 Y=K 4o 0U (36) - пропорциональный закон (П);

 Y=(K 4o 0+K 41 0p)U (37) - пропорционально-дифференциальный по 1-й произ-

водной (ПД);

 Y=(K 4o 0+K 41 0p+K 42 0P 52 0)U (38) - то же по 1-й и 2-й производным (ПД);

 Y=(K 4o 0+B 41 0/p)U (39) - пропорционально-интегральный (ПИ);

 Y=(B 41 0/p)U (40) - интегральный (И);

 Y=(K 4o 0+K 41 0p+B 41 0/p)U (41) - пропорционально-интегродифференциальный

(ПИД).

 Критерии качества - совокупность показателей, позволяющих оценить

качество работы САР. Их можно разделить на две группы: интегральные

критерии (функционалы, численные значения которых служат мерой качест-

ва) и критерии, основанные на задании определенного расположения полю-

сов системы (применяются исключительно для оценки качества линейных

систем). Оценка качества по обобщенному интегральному критерию

 T

J= 73 0F(x)dt (42), где F(x) - функция переменных, характеризующих состоя-

 0 ние системы.

 Для линейных систем большинство оценок можно получить без прямого

интегрирования дифференциальных уравнений САР. При действии на САР

 - 55 -

случайных возмущений распространенным критерием качества динамической

точности служит средняя квадратическая погрешность, являющаяся харак-

теристикой рассеивания возможных значений случайной величины относи-

тельно их среднего значения и определяемая как положительное значение

квадратного корня из дисперсии случайной величины.

 Наряду с этими оценками при синтезе систем со случайными воздейс-

твиями используют удельный риск, общий риск и другие критерии качест-

ва.

 Частотные характеристики.

 Если передаточную функцию стационарной системы записать в виде

p=jw (43), то функция вида

W(jw)=(B 4o 0(jw) 5m 0+B 41 0(jw) 5m-1 0+...+B 4m 0)/(A 4o 0(jw) 5n 0+A 41 0(jw) 5n-1 0+...+A 4n 0) (44) будет

частотной передаточной функцией. Ее можно представить в виде

W(jw)=U(w)+jV(w)=A(w)e 5jF(w) 0 (45), A(w)= 7? 0(U 52 0(w)+V 52 0(w)) (46),

F(w)=argW(jw) (47). На комплексной плоскости частотная передаточная

функция определяет вектор ОС, длина (модуль ) которого равна A(w), а

угол, образованный этим вектором с действительной положительной полу-

осью, равен F(w). Кривая, которую описывает конец этого вектора при

изменении частоты от нуля до бесконечности, называется амплитудно-фа-

зо-частотной характеристикой (АФЧХ).

──────────────────────────────────────────────────────────────────────

 │jV

 │

 │ U(w)

 ─────────────┼───────┬─────────

 0│\ F(w) │ U

 │ \ │

 │ \ │

 V(w)├──────\C

 │

 Рис. 11. АФЧХ

──────────────────────────────────────────────────────────────────────

 Действительную часть U(w)=ReW(jw) (48) и мнимую часть

V(w)=ImW(jw) (49) называют соответственно вещественной и мнимой час-

тотными функциями. График вещественной частотной характеристики (кри-

вая U=U(w) при изменении w от 0 до бесконечности) называют веществен-

ной частотной характеристикой, а график мнимой частотной функции -

мнимой частотной характеристикой. Модуль A(w)=│W(j)│ - амплитудная

частотная функция, а ее график - амплитудная частотная характеристика.

Аргумент F(w)=argW(jw) называют фазовой частотной функцией, а ее гра-

фик - фазовой частотной характеристикой. Установим, какой физический

смысл имеют частотные характеристики. Если на вход устойчивой линейной

стационарной системы подается гармонический сигнал u=a\*sin(wt), то на

ее выходе после окончания переходного процесса устанавливается гармо-

нический процесс с амплитудой в и фазой, сдвинутой относительно фазы

входного сигнала на угол f. Амплитуда в и сдвиг фазы f зависят от час-

тоты входного сигнала и свойства системы. Кроме того, амплитуда в за-

висит еще от амплитуды входного сигнала. Но отношение в/а не зависит

от амплитуды а. Оказывается, что в/а=A(w) и F=F(w), т.е. амплитудная

частотная характеристика равна отношению амплитуды выходного сигнала к

амплитуде входного гармонического сигнала (в установившемся режиме), а

фазовая частотная функция - сдвигу фазы выходного сигнала.

 Временные характеристики.

 Переходные и импульсные переходные характеристики называются вре-

менными. Они используются при описании линейных систем как стационар-

ных, так и нестационарных. Переходной функцией звена называется функ-

ция h(t), которая описывает его реакцию (изменение выходной величины)

 - 56 -

на единичное ступенчатое воздействие 1(t) при нулевых начальных усло-

виях.

 По определению, 1(t)= 7( 01, t>0

  79 00, t<0 (50).

 График переходной функции - кривая зависимости h(t) от времени t

называется переходной или разгонной характеристикой.

 Импульсной переходной или весовой функцией называется функция

w(t), которая описывает реакцию системы на единичное импульсное воз-

действие при нулевых начальных условиях. График импульсной переходной

функции называется импульсной переходной характеристикой. При опреде-

лении весовой функции использовано понятие единичного импульса. Еди-

ничный импульс - импульс с единичной площадью бесконечно малой дли-

тельности. Он описывается дельта-функцией, которая является одной из

обобщенных функций.

 Устойчивость является одним из основных требований, предъявляемых

к системам автоматического регулирования. Неустойчивые системы нерабо-

тоспособны. Поэтому важно уметь определять и обеспечивать устойчивость

системы регулирования. Существуют различные понятия устойчивости.

Рассмотрим определение устойчивости по Ляпунову. Пусть САР описывается

дифференциальным уравнением в нормальной форме y' 4i 0=Y 4i 0(y 41 0,...,y 4n 0,t)

(51), i=1...n или в векторной форме y'=Y(y,t) (52), где y=(y 41 0,...,y 4n 0) 5т

и Y=(Y 41 5т 0,...Y 4n 5т 0) - вектор-столбцы (индекс "т" обозначает операцию

транспонирования).

 Обозначим y 5o 0(t) невозмущенное движение. Оно является решением

уравнения (52) при определенных начальных условиях. Решение уравнения

(52) при любых других начальных условиях называется возмущенным движе-

нием. Представим уравнение (52) в отклонениях xi=yi-y 5o 0i (i=1,..n),

x'=X(x,t) (53) в уравнении x=(x 41 0,...,x 4n 0) 5т 0, X=(X 41 0,...,X 4n 0) 5т 0,

X 4i 0(x,t)=Y 4i 0(x+y 5о 0,t)+y' 5о 4i 0 (54), i=1,...,n. В новых переменных невозму-

щенным движением является решение x(t)=0 уравнения (53) при нулевых

начальных условиях. Любое другое решение x[x(t 4o 0),t], т.е. решение (53)

при произвольном начальном значении x(t 4o 0) 7- 00, определяет возмущенное

движение. Оно называется возмущением или начальным возмущением.

 Переменные x 4i 0(y 4i 0), i=1,...,n называются фазовыми координатами, а

x(y) - фазовым вектором. Пространство n-мерных векторов x(y) называет-

ся фазовым пространством.

 Невозмущенное движение x(t)=0 называется устойчивым по Ляпунову,

если, каково бы ни было e>0 , найдется такое b=b(e,t 4o 0)>0, что при лю-

бых t>t 4o 0 ││x[x(t 4o 0,t]││<e, как только ││x(t 4o 0)││<b. Здесь ││x││ -длина

вектора (евклидова норма):

  4n

 ││x││= 7S 0(x 52 4i 0) 51/2

  51

 1. Устойчивость линейных САР. Если какое-либо решение линейного

дифференциального уравнения с постоянными коэффициентами асимптотичес-

ки устойчиво, то асимптотически устойчиво любое его решение. Поэтому в

случае непрерывных линейных стационарных систем, т.е. систем, описыва-

емых линейными дифференциальными уравнениями с постоянными коэффициен-

тами, можно рассматривать их устойчивость, не указывая конкретного

движения. Непрерывная линейная стационарная САР называется устойчивой,

если асимптотически устойчиво какое-либо ее невозмущенное (заданное)

движение.

 Если заданы внешние воздействия, то уравнение линейных стационар-

ных САР можно представить в виде (A 4o 0P 5n 0+A 41 0P 5n-1 0+...+A 4n 0)x=F(t) (55). В

уравнении A 4i 0, i=0,1,...,n - заданные постоянные коэффициенты, F(t) -

заданная функция времени. Общее решение уравнения имеет вид

X(t)=X 4в 0(t)+X 4c 0(t) (56), где X 4в 0(t) - частное решение неоднородного урав-

нения, X 4c 0(t) - общее решение однородного уравнения

 - 57 -

(A 4o 0P 5n 0+A 41 0P 5n-1 0+...+A 4n 0)X=0 (57). Частное решение X 4в 0(t) определяет вынуж-

денное движение, решение X 4c 0(t) - свободное движение, т.е. движение,

которое, не зависит от внешних воздействий и определяется только на-

чальными условиями.

 Невозмущенное движение задается внешним воздействием и при от-

сутствии внешних возмущающих воздействий совпадает с вынужденным дви-

жением X 4в 0(t). Поэтому линейная система устойчива, когда limX 4c 0(t)=0.

Это соотношение можно принять за определение устойчивости t->oo

линейных непрерывных систем.

 Характеристическое уравнение. Устойчивость линейной системы, т.е.

выполнение условия, зависит от ее характеристического уравнения

A 4o 0L 5n 0+A 41 0L 5n-1 0+...+A 4n 0=0 (58). Левая часть характеристического уравнения

называется характеристическим полиномом. Характеристический полином

системы (с точностью до постоянного множителя и обозначений перемен-

ной) совпадает с ее собственным оператором и знаменателем ее переда-

точной функции. Характеристический полином замкнутой системы также ра-

вен (при отрицательной обратной связи) сумме P(p)+Q(p) полиномов чис-

лителя и знаменателя передаточной функции W(p)=P(p)/Q(p) (59) разомк-

нутой системы. Необходимое и достаточное условие устойчивости опреде-

ляется по корням характеристического уравнения. Если L 4i 0, i=1,...,q -

корни характеристического уравнения кратности k 4i 0, то общее решение од-

нородного уравнения имеет вид X 4c 0(t)= 7S 0Q 4i 0(t)e 5lit 0 (60), где

Q 4i 0(t)=C 41 5(i) 0+...+C 4ki 5(i) 0 - постоянные интегрирования. В частном случае,

когда все корни l 4i 0, i=1,...,n, простые, решение такого: X 4c 0(t)= 7S 0C 4i 0e 5lt

(61).

 Свободное движение при t 76$ 0 стремится к нулю при произвольных пос-

тоянных интегрирования в том случае, когда все корни характеристичес-

кого уравнения имеют отрицательные вещественные части. Таким образом,

для того, чтобы линейная непрерывная система была устойчива, необходи-

мо и достаточно, чтобы все корни ее характеристического уравнения име-

ли отрицательные вещественные части: Rel 4i 0<0, i=1,...,q.

 Необходимое условие устойчивости. Для того, чтобы система была

устойчива, необходимо, чтобы коэффициенты ее характеристического урав-

нения были одного знака: A 4o 0>0,...,A 4n 0>0 или A 4o 0<0,...,A 4n 0<0. Если необхо-

димое условие не выполняется, система неустойчива.

 Критерий Гурвица. Для того, чтобы система была устойчива, необ-

ходимо и достаточно, чтобы все определители Гурвица, составленные из

коэффициентов ее характеристического уравнения, были больше нуля. Это

алгебраический критерий устойчивости.

 2. Устойчивость нелинейных САР.

 САР называется нелинейной, если она описывается нелинейными урав-

нениями. Линейные системы являются идеализированными моделями реальных

САР. Если нелинейность допускает обычную линеаризацию, то такая нели-

нейность называется несущественной. В противном случае нелинейность

называется существенной. Для нелинейных систем несправедлив принцип

суперпозиции. В случае нелинейных систем из устойчивости какого-либо

невозмущенного движения не следует устойчивость любого возмущенного

движения: одни возмущенные движения могут быть устойчивы, а другие

нет. Кроме того, не любое возмущенное движение при t 76$ 0 стремится к

асимптотически устойчивому невозмущенному движению.

 Вид кривой переходного процесса в линейных системах не зависит от

величины начального отклонения. В нелинейных системах кривые переход-

ного процесса, соответствующие различным начальным отклонениям, могут

сильно отличаться. Более того, в зависимости от величины начального

отклонения от исходного состояния система может стремиться к разным

состояниям. В нелинейных системах наблюдаются такие установившиеся пе-

риодические режимы (автоколебания), которые в линейных системах невоз-

можны.

 - 58 -

 Универсальных методов исследования нелинейных систем нет. Имеются

различные методы, которые пригодны или удобны для решения определенно-

го класса задач. Довольно широко используются следующие методы: метод

фазового пространства, прямой метод Ляпунова, частотный метод Попова,

метод гармонической линеаризации и др. Суть метода фазового пространс-

тва заключается в построении параметрических уравнений фазовой траек-

тории с целью получения фазового портрета. По фазовому портрету систе-

мы можно построить соответствующую кривую переходного процесса. Фазо-

вые портреты нелинейных систем могут содержать изолированные замкнутые

траектории, соответствующие периодическим режимам. Эти кривые называ-

ются предельным циклом. Если изнутри и снаружи фазовые траектории схо-

дятся к предельному циклу, то такой предельный цикл называется устой-

чивым. Устойчивому предельному циклу соответствует устойчивый периоди-

ческий режим (автоколебания). Если движение начинается внутри предель-

ного цикла, то процесс расходится, если вне - то сходится. Если фазо-

вые траектории изнутри и снаружи предельного цикла удаляются от него,

то такой предельный цикл называется неустойчивым.

 Метод гармонической линеаризации разработан и обоснован для исс-

ледования периодических режимов. Этот метод является приближенным и

применим, если линейная часть, которая следует за нелинейным элемен-

том, обладает свойством фильтра низких частот. Сущность метода заклю-

чается в том, что система представляется в виде линейной и нелинейной

части. Делается допущение о наличии в системе колебательного режима,

пренебрегаются высшие гармоники и выходной сигнал представляется в ви-

де ряда Фурье и получается гармонизированная система вместо нелиней-

ной, которая и исследуется с использованием частотных характеристик.

 2.7. Понятие и типы моделей сложных систем.

 Моделью называется отображение определенных характеристик объекта

с целью его изучения (или управления). Модель позволяет выделить из

всего многообразия проявлений изучаемого объекта лишь те, которые не-

обходимы с точки зрения решаемой проблемы, т.е. модель - отражение

лишь определенной части его свойств. Поэтому, основной проблемой моде-

лирования является разумное упрощение модели, т.е. выбор степени подо-

бия модели и объекта.

 Модели могут быть реализованы как физическими, так и абстрактными

системами. Соответственно модели бывают физические и абстрактные. Фи-

зическими моделями являются макеты приборов и машин и электрические

модели объектов и явлений.

 В абстрактных моделях описание делается на каком-либо языке,

удобном для исследования, описание на математическом языке называется

математической моделью.

 Представление реального объекта как системы, использование сис-

темных понятий при его моделировании послужили методологической осно-

вой для ряда принципов исследования, объединенных общим названием -

системный анализ. Каждую систему можно исследовать в 2-х аспектах: как

элемент более широкой системы и как совокупность взаимосвязанных эле-

ментов, эти два аспекта и определяют микроанализ - изучение и модели-

рование структуры и свойств элементов системы (предполагается, что это

доступно для наблюдения) и макроанализ - изучение системы в целом в ее

свойствах, поведении, взаимодействии с окружающей средой. Метод черно-

го ящика предполагает, что внутренняя структура системы неизвестна, а

наблюдаемы лишь связи системы с внешней средой.

 Для разработки систем управления технологическим оборудованием и

процессами необходимо знать количественную зависимость между воздейс-

твиями на объект управления со стороны внешней среды и устройства уп-

равления и состоянием интересующих нас параметров объекта. Эта зависи-

 - 59 -

мость может быть выражена в виде аналитических формул и уравнений,

схемы набора для аналоговой вычислительной машины, некоторой электри-

ческой цепи, описываемой теми же уравнениями, макета объекта.

 В зависимости от цели исследования объекта могут строиться раз-

личные его модели. Так, при исследовании влияния размещения пассажиров

на центровку самолета моделью человека может служить мешок с песком,

для конструктора одежды - манекен, для медико-биологических исследова-

ний - животное.

 Модель - специфическая форма отражения, при которой отображаются

свойства и закономерности объектов, существенно важные в данном произ-

водственном процессе. Отражаются свойства не все, а только связанные с

интересующим нас процессом. В отличие от образа, который является от-

ражением совокупности свойств предмета в нашем сознании, модель есть

отражение одного свойства или узкой группы свойств предмета и явления,

необходимых для решения определенной практической задачи, для предска-

зания результатов возможных решений, принимаемых человеком в его прак-

тической деятельности.

 Модель отражает функциональные свойства объекта и, как всякое от-

ражение, не является тождественной объекту, поэтому необходимо ввести

оценку, или критерий близости, т.е. соответствия модели данному объек-

ту. Критерий обычно формируется как функционал от разности реакций

объекта и модели на одни и те же воздействия. Критерий является число-

вой характеристикой данной модели, представляет собой "штраф" за рас-

хождение реакций объекта и модели на одинаковые воздействия. По крите-

рию выбирается оптимальная модель из некоторого класса моделей. Модель

считается оптимальной, если для нее значение критерия минимальное.

Критерий зависит при этом от типа входного воздействия. Чтобы избежать

неопределенности, критерий формируют как результат усреднения разности

реакций модели и объекта по множеству входных сигналов и по времени.

 Математические и физические модели. Первоначально понятие физи-

ческой модели развилось из понятия физического аналога, например,

уменьшенной копии объекта. Оказалось, что многие процессы различной

физической природы описываются одинаковыми уравнениями движения, нап-

ример, колебания груза на пружине, струны, тока в колебательном конту-

ре. Следовательно, движение объекта одной физической природы может

служить описанием движения объекта другой природы. Таким образом, фи-

зическая модель отделяется от материального носителя и возникает мате-

матическая модель как формулировка закона движения, совокупность урав-

нений, отражающих функциональные характеристики объекта.

 Носителем математической модели помимо формул, программ для ЭВМ и

схем набора для АВМ могут служить и другие физические устройства, ко-

торые описываются известными уравнениями. Таким образом, происходит

смещение понятий - отделение физической модели от конкретного матери-

ального носителя, когда одна и та же модель может быть реализована в

устройствах различной физической природы, а математическая модель воп-

лощается в конкретном материальном устройстве. Различие физической и

математической модели носит чисто гносеологический характер.

 МОДЕЛЬ называется математической, если известно ее математическое

описание. При этом модель может быть реализована в виде материального

устройства. Модель называется физической, если ее математическое опи-

сание неизвестно, но реакции модели схожи с реакциями объекта.

 Точность модели определяется, с одной стороны, нашими знаниями о

процессах, происходящих в объектах, а с другой стороны, нашим умением

анализировать сложные модели, т.е. развитием математического аппарата

для исследования динамики процессов управления.

 Наиболее разработаны методы исследования линейных дифференциаль-

ных уравнений с постоянными коэффициентами. Именно поэтому чаще всего

в качестве моделей принимаются линейные стационарные звенья. Следова-

 - 60 -

тельно, для исследования динамики систем управления технологическими

объектами исключительное значение имеет выбор класса моделей объектов,

если же результаты расчета систем управления на основе выбранной моде-

ли существенно отличаются от результатов экспериментальной проверки,

то это свидетельствует о грубости модели и необходимости замены ее бо-

лее тонкой, сложной моделью и, следовательно, применении более сложных

и трудоемких математических методов. Аналогична ситуация и для физи-

ческой модели, где стремление к точности вступает в противоречие с

техническим уровнем эксперимента и возможностями экспериментатора.

 Одна и та же модель может быть удовлетворительна для решения од-

них задач и совершенно неудовлетворительна для других. Например, пря-

моугольная ломаная, аппроксимирующая кривую намагничивания магнитомяг-

кого ферромагнитного материала, вполне приемлема для расчета магнитных

усилителей без обратной связи, но совершенно не годится для расчета

усилителей с внутренней положительной обратной связью.

 Отметим еще одно противоречие модели объекта управления. Модель

оценивают по сходству ее с реакциями объекта на одни и те же воздейс-

твия. Этими воздействиями являются управляющие сигналы с регулятора.

Может оказаться, что при одних входных сигналах меньшее значение штра-

фа за несовпадение будет у одной модели, а при других входных воздейс-

твиях - у другой модели. Например, модель А точнее описывает реакции

объекта на низкочастотные сигналы, а модель Б - на высокочастотные.

 Следовательно, значение критерия оценки качества модели зависит

от закона распределения управляющего сигнала, а последний - от пара-

метров и структуры регулятора. Однако модель создается именно для то-

го, чтобы с ее помощью выбрать регулятор и определить управляющие воз-

действия на объект.

 Таким образом, выбор модели должен предшествовать выбору закона

управления, а выбор закона управления - выбору модели. Разрешить это

противоречие возможно методом последовательных приближений. Вначале

выбирается модель первого приближения на основе теоретического анализа

процессов в объекте. По этой модели выбираются параметры регулятора.

Затем подбирается модель второго приближения в эксперименте, где ис-

пользуется выбранный регулятор. По уточненной модели уточняются пара-

метры регулятора. Модели используются для нахождения законов управле-

ния, моделирования процессов с целью проверки законов управления,

оценки состояния. Различные задачи требуют различной детализации моде-

ли и их различных классов. Так, для синтеза законов управления при

современном уровне теории предпочтительнее линейные модели, а для мо-

делирования процессов и оценивания состояний средствами вычислительной

техники предпочтительны более сложные модели.

 Построение моделей на основе анализа физико-химических процессов

в технологическом объекте. Такое построение позволяет составить урав-

нение даже на стадии проектирования объекта. Метод предполагает знание

тепловых, гидравлических, пневматических, электрических систем объек-

та, а также процессов массотеплопереноса и химических реакций.

 Можно выделить общие подходы к составлению уравнений объектов.

Прежде всего следует расчленить мысленно объект на части и составить

уравнения для каждого узла, заменив отброшенные части системы эквива-

лентными воздействиями.

 Например, уравнение динамики инфракрасной печи получается на ос-

нове законов теплообмена между нагревателями, теплоизоляцией (реакто-

ром) и объектом, установленным для термообработки в печи. В уравнении

участвуют составляющие теплообмена путем излучения, конвекции и теп-

лопроводностью. Коэффициенты уравнения зависят от таких физических ха-

рактеристик, как теплоемкость материала, излучательная способность,

температура окружающей среды, от геометрических размеров. В результате

упрощения записи уравнения теплообмена и пренебрежения членами высших

 - 61 -

порядков, получается линеаризованное дифференциальное уравнение с пос-

тоянными коэффициентами, которое справедливо при небольших изменениях

приращений тепла, участвующего в массообмене.

 В некоторых случаях линеаризация уравнения не позволяет адекватно

описывать объект, тогда используются нелинейные уравнения. Решение та-

ких уравнений представляет существенные проблемы и, в конечном итоге,

при решении таких систем все равно приходится проводить линеаризацию,

но только на уровне численных методов. Если объект описывается систе-

мой дифференциальных уравнений в частных производных, то решение такой

системы осуществляется с помощью численных методов, что, как уже ука-

зывалось выше, тоже линеаризация, только на более поздней стадии полу-

чения решения.

 В том случае, если связи между входными и выходными параметрами

описать в виде дифференциального уравнения сложно (например, ввиду

слабой изученности природы объекта или влияние на выходные значения

параметров оказывают как физические, так и химические факторы, которые

составляют нерешаемую в данное время систему уравнений), используют

регрессионные модели - уравнения регрессии. В уравнениях такого вида и

используется принцип "черного ящика". Пусть связь между воздействием

х, управляющим технологическим процессом и переменной y, характеризую-

щей протекание этого процесса, выражается зависимостью y =f(х) (62),

которая заранее неизвестна. Требуется определить эту зависимость по

имеющимся экспериментальным данным. Иными словами, задача состоит в

том, что по имеющейся совокупности входных воздействий x 4i 0, i=1,...,n,

и соответствующих им выходных переменных y 4i 0, полученной в результате

эксперимента, определить вид зависимости y =f^(x), наилучшим образом

отражающей зависимость (62).

 Эту задачу можно решить путем построения интерполяционного поли-

нома степени n-1, в точности проходящего через точки x 4i 0,y 4i 0 (известно,

что такой полином всегда существует). Однако на практике такое решение

оказывается неприемлемым ввиду того, то измерение значений происходит

с ошибками, поэтому построенный таким образом полином будет не столько

характеризовать объективную зависимость между величинами х и у, сколь-

ко характер ошибок измерения.

 Таким образом, при построении модели процесса оказывается необхо-

димым отразить вид зависимости между входом и выходом, сгладив незако-

номерные случайные отклонения входной величины. Предположим, что эти

отклонения происходят по нормальному закону распределения с нулевым

средним (на практике это предположение обычно выполняется). Тогда y 4i

представляет собой случайные величины, распределенные по нормальному

закону с математическими ожиданиями f(x 4i 0) и дисперсиями s 4i 52 0, характе-

ризующими ошибки измерения. Предположим, что точность измерений во

всех точках одинакова, т.е. s 41 0=s 42 0=...=s 4n 0=s. Тогда плотность распреде-

ления вероятностей случайной величины y 4i

p 4i 0(y)=[1/(s- 7? 0(2 7p 0))]exp{[-y-f(x 4i 0) 52 0] /(2s 52 0)} (63).

 Предположим, что в результате эксперимента происходит следующее

событие: случайные величины y 41 0,...,y 4n 0 принимают некоторые значения

y 41 0^,...y 4n 0^, равные результатам измерений. Задача заключается в том,

чтобы подобрать функцию f^(x) так, чтобы вероятность этого события бы-

ла максимальной. Для определения классов функций f^(x), в частности,

для функций, в которые искомые параметры входят линейно, при использо-

вании метода наименьших квадратов оказывается возможным определить не

только значения этих параметров, но и их важнейшие статистические ха-

рактеристики. Суть метода наименьших квадратов заключается в следую-

щем: функция f^(x) должна быть выбрана так, чтобы сумма квадратов отк-

лонений значений f^(x 4i 0) от измеренных значений y 4i 0^ была минимальной:

L= 7S 0[y^-f^(x 4i 0)] 52 0=min (64).

 МНК обеспечивает идентификацию по принципу максимального правдо-

 - 62 -

подобия при любом виде зависимости, связывающей входные воздействия и

выходные переменные процесса, этот метод работает в случае процессов

со многими входами и выходами, при использовании этого метода обычно

задаются видом функции f^(x) и в процессе идентификации (будет расс-

мотрено ниже), находят параметры, определяющие искомую функцию, кото-

рая удовлетворяет условию (64). Совокупность МНК и методов нахождения

этих статистических характеристик называется регрессионным анализом, а

сами модели - регрессионными моделями.

 Простейшим примером регрессионной модели процесса с k входами

x 41 0,...,x 4k 0 и одним выходом y является уравнение y=a 41 0x 41 0+a 42 0x 42 0+...+a 4k 0x 4k 0+e

(65), где е - ошибки измерения.

 Как видно из вышеизложенного, при построении модели объекта воз-

можно применение алгебраических методов, систем дифференциальных урав-

нений обычных и с частными производными и статистических методов -

регрессионого анализа, построенного на теории вероятности случайных

процессов и собственно сами методы теории вероятности.

 Кроме статистических методов, уже достаточно хорошо отработанных,

в последнее время получили распространение методы нечетких (размытых)

множеств, особенно для непрерывных систем. Суть метода заключается в

следующем. Часто бывает необходимо формализовать качественную информа-

цию о процессе, который имеет большое количество факторов, влияющих на

его качество. Описание такого объекта системами уравнений в частных

производных не позволяет решить основную задачу - установить связь

между входом и выходом системы ввиду нерешаемости данной системы на

современном этапе развития вычислительной техники. При использовании

метода нечетких множеств вводятся отношения " больше", "меньше", "нам-

ного больше", "намного меньше", "чуть больше", "чуть меньше" и с по-

мощью этих отношений получают уравнение, которое решается известными

методами. Этот метод в своей сути имеет много общего с вероятностными

методами, где с определенной степенью допущения под соотношениями меж-

ду значениями переменных можно провести аналогию с вероятностью приня-

тия параметром того или иного значения.

 При формализации качественной информации предполагается существо-

вание связи между нечетко определенными характеристиками и математи-

ческими объектами. Для таких параметров, как температура в технологи-

ческом агрегате, расход газообразного агента, давление, концентрация,

скорость движения среды и т.п. наличие такого соответствия очевидно. С

одной стороны, величине параметра ставится в соответствие числовая ко-

ордината с установленными на ней началом координат и мерой, а с другой

стороны - величину параметра описывают словесными высказываниями.

 Пусть имеется множество Х параметров такого типа. Элементы x 4i 0сX,

обозначают названия параметров, например: температура, концентрация и

др. Количественной характеристикой x 4i 0 являются элементы u 4j 0сU. Множест-

во U представляет собой диапазон изменения параметров x 4i 0. При словес-

ном описании паре (x 4i 0,u 4j 0) ставится в соответствие нечеткий термин

q 4k 0сQ, Q- множество нечетких терминов. Иногда такого типа множества на-

зывают эмпирическими, т.е. множествами, элементы которых имеют не чис-

ловую природу. Примерами, как уже выше указывалось, являются такие не-

четкие термины как "высокий", "очень высокий", "низкий", "не очень

низкий" и др. Несмотря на то, что параметры такого типа могут быть из-

мерены, и их величина может быть выражена в числовом виде, на практике

это не всегда возможно в виду, например, агрессивности среды или очень

высокими значениями температур. В этом случае для получения количест-

венных характеристик может быть использована качественная информация,

прошедшая предварительную формализацию и адаптацию.

 Существование словесных описаний параметров, которыми характери-

зуют качество вырабатываемой продукции. Здесь под качеством понимается

интегральная характеристика, которая складывается из ряда взаимосвя-

 - 63 -

занных между собой компонентов, часть которых в отдельности не измеря-

ется методами количественного анализа, а контролируется визуально че-

ловеком. Примером такой характеристики является качество изделий из

стекла, которое оценивают по оптическим искажениям. На эту оценку су-

щественно влияют геометрия поверхности стекла, метод оценки, субъекти-

визм контролера. Потребность формализации качественной информации дик-

туется необходимостью решения следующих задач:

 1. исключения субъективизма в оценках качества изделий;

 2. разработки методов и технических решений для автоматической

классификации изделий;

 3. нахождения взаимосвязей между показателями качества и техноло-

гическими параметрами. Чаще всего параметры данного типа не имеют

строго обоснованного математического аналога. Для их формализации при-

меняют метод экспертных оценок. Суть его заключается в выявлении мно-

жества нечетко определенных характеристик Q и сопоставлении его с мно-

жеством, имеющим числовую природу. Обычно выделяют следующие отношения

между рассматриваемыми объектами:

 1. принадлежность к общему классу;

 2. выражение порядка между объектами (например, параметр х 41 0 более

значим, чем х 42 0);

 3. отношение эквивалентности в смысле принадлежности к общему

классу;

 4. отношение порядка в системе. Названия параметров, между кото-

рыми устанавливается взаимосвязь, должны быть качественно совместимы в

смысле используемых отношений. В противном случае отношения между па-

раметрами могут не выполняться или потеряют смысл. Такая совместимость

обеспечивается на этапе качественного анализа исследователем.

 Для описания модели поведения дискретных систем разработана тео-

рия конечных автоматов. Здесь допускается, что система имеет конечное

число состояний и из одного состояния в другое может переходить при

определенных условиях (ограничениях). Математический аппарат, применя-

емый в этом методе - теория множеств.

 2.8. Идентификация технологических процессов.

 Идентификацией называется определение динамических характеристик

объекта управления в рамках выбранной модели. Эффективное управление

технологическим процессом с использованием методов теории автоматичес-

кого управления возможно лишь тогда, когда известно математическое

описание этого процесса. Поэтому построение математического описания -

важнейший этап создания любой автоматизированной или автоматической

системы управления. Методы идентификации делятся на пассивные и актив-

ные. Метод идентификации называется активным, если на объект подаются

специальные воздействия с целью определения его динамических характе-

ристик.

 Пассивные методы идентификации - это такие методы, в которых мо-

дель объекта выбирают по результатам наблюдения входного и выходного

сигналов в процессе нормальной эксплуатации и на объект не подаются

никакие специальные сигналы с целью выявить его свойства. Пассивные

методы особенно удобны тем, что не нарушают нормального хода техноло-

гического процесса. Однако, преимущество активных методов в том, что

энергия тестового воздействия сосредоточена в узкой временной или час-

тотной области, поэтому реакции объекта на тестовые сигналы выявить

легче и надежнее.

 Для управления технологическим процессом необходимо знать, как

влияет то или иное входное воздействие, управляющее процессом, на вы-

ходную переменную, характеризующую его протекание. Поэтому идентифика-

ция процесса сводится к построению математического описания зависимос-

 - 64 -

ти между этими величинами, которое состоит из двух этапов. Первона-

чально необходимо определить характер искомой зависимости и вид ее ма-

тематического описания, а затем найти конкретные значения параметров

такого описания. Первый этап обычно называется структурной идентифика-

цией, а второй - параметрической.

 Исходными данными для построения математической модели процесса

могут послужить как теоретические представления о природе физических

явлений, происходящих при протекании этого процесса, так и эксперимен-

тально измеряемые зависимости между входными и выходными переменными.

В принципе каждый из этих подходов может использоваться для идентифи-

кации процесса. Однако использование только теоретического подхода ос-

ложнено тем, что на практике, как правило, оказывается невозможным

учесть все многообразие реально действующих на процесс факторов. В то

же время идентификация процесса только на основании экспериментальных

данных оказывается весьма сложной задачей с вычислительной точки зре-

ния. Поэтому при идентификации технологических процессов целесообразно

комплексное использование всей имеющейся информации о процессе, причем

теоретическое представление следует относить к структурной идентифика-

ции. При этом оцениваются динамические свойства процесса, его линей-

ность, стационарность и др., на которых основывается выбор вида мате-

матического описания. Экспериментальные данные используются для пара-

метрической идентификации.

 При разработке систем управления технологическими процессами в

основном приходится рассматривать задачи параметрической идентифика-

ции. Поэтому рассмотрим ряд методов параметрической идентификации, на-

иболее пригодных для построения моделей технологических процессов на

действующих производствах. Рассмотрим случай идентификации непрерывных

технологических процессов.

 Использование "быстрой" оптимизации технологического процесса на

его обычной или прогнозирующей модели является главным в так называе-

мых системах двухшкального управления. При этом идентификация может

осуществляться как в реальном масштабе времени, так и в супервизорном

режиме с их последующей обработкой.

 Знание параметров прогнозирующей модели необходимо в системах

терминального управления, применяемых в АСУТП для управления конечным

состоянием технологического процесса, причем здесь также используется

идентификация в реальном масштабе времени.

 Идентификация в реальном масштабе времени дает возможность осу-

ществлять функциональную диагностику объекта, датчиков, исполнительных

устройств и самой ЭВМ. Более того, при этом появляется возможность

увеличить живучесть каналов непосредственного цифрового управления пу-

тем дублирования неисправных каналов соответствующими каналами настра-

иваемой модели.

 В адаптивных (настраиваемых) АСУТП, построенных на базе адаптив-

ных систем с идентификатором, используется настраиваемая модель про-

цесса и идентификатор статических или динамических характеристик по

каналу основного возмущения.

 В инвариантных адаптивных системах с эталонной моделью использу-

ется идентификатор динамических характеристик объекта по каналу управ-

ления, работающий в реальном масштабе времени, а устройство адаптации

может работать как в реальном масштабе времени, так и в супервизорном

режиме.

 Идентификатор необходим для работы оптимальных систем управления

нестационарными динамическими технологическими процессами, использую-

щими наблюдателей состояния. В этих системах можно применять оценки

фазовых координат объекта, получаемые с помощью наблюдателя состояния,

для идентификации параметров объекта управления.

 Рассмотрим требования, которым должны удовлетворять все рассмот-

 - 65 -

ренные применения идентификатора. Идентификатор должен давать точные

оценки параметров в установившемся режиме, хотя требования к точности

идентификации сильно отличаются в зависимости от степени влияния пара-

метра на величину оптимизируемого функционала.

 С этой точки зрения, высокая точность идентификации требуется в

задачах статической оптимизации с использованием прогнозирующей моде-

ли. Ясно, что параметры, слабо влияющие на качество адаптивного управ-

ления, можно не идентифицировать, что позволяет упростить структуру

настраиваемой модели и алгоритмы идентификации.

 Важную роль в эффективной работе адаптивных АСУТП играет точность

оценок параметров при наличии помех как на входе объекта, так и на его

выходе. Как показано ниже, не все алгоритмы идентификации обладают

одинаковой точностью при обработке данных, искаженных шумами измере-

ний.

 Алгоритмы идентификации отличаются и по характеру сходимости оце-

нок параметров. Большое число методов, дающих хорошие результаты при

достаточно малых отклонениях начальных значений параметров от истинных

значений, не обеспечивает сходимости оценок при больших начальных па-

раметрических рассогласованиях. Это тем более важно, что не во всех

указанных применениях идентификатора можно использовать такой прием

улучшения сходимости алгоритмов идентификации, как повторная прогонка

массива обрабатываемых данных с начальными условиями, полученными на

предшествующем цикле.

 Теория идентификации еще не достигла такой степени развития, ко-

торая позволяет считать ее достаточно завершенной. Методы теории иден-

тификации довольно сложны, и многие проблемы требуют решения. Многие

методы исследования имеют свои ограничения, что заставляет в практике

проектирования адаптивных систем управления использовать комбинацию

различных методов, изложенных ниже.

 При идентификации статических технологических процессов использу-

ются регрессионные методы идентификации (см. предыдущий раздел в части

регрессионных моделей АСУТП). Суть метода заключается в определении

коэффициентов уравнения регрессии с использованием метода наименьших

квадратов. Запишем уравнение (64) предыдущего раздела в виде

 7S 0[y^ 4i 0-f^(x 4i 0,a 41 0,...,a 4k 0)] 52 0=min (66). Для его решения продифференцируем

левую часть по а 41 0,...,а 4k 0 и приравняем производные нулю:

 7(S 0[y 4i 0^-f^(x 4i 0,a 41 0,...,a 4k 0)](df/da 41 0)=0

 7\* 0.................................

 79S 0[y 4i 0^-f^(x 4i 0,a 41 0,...,a 4k 0)](df^/da 4k 0)=0 (67).

Где (df^/da 4j 0)=f'(x 4i 0,a 41 0,...,a 4k 0) - значение производной функции f^ по

параметру a 4j 0 в точке x 4i 0. Искомые значения коэффициентов a 41 0,...,a 4k 0 на-

ходят из решения системы уравнений.

 Рекуррентные методы идентификации статических технологических

процессов. Рассмотренная выше идентификация обладает тем недостатком,

что при появлении новых экспериментальных данных оказывается необходи-

мым заново решать систему уравнений. Этого недостатка можно избежать,

если использовать рекуррентные (последовательные) методы идентифика-

ции. Суть метода заключается в том, что определяется рекуррентный ал-

горитм нахождения наилучшей оценки вектора неизвестных параметров в

момент времени t 4n+1 0 по новым наблюдениям x 41 0(t 4n+1 0),...,x 4k 0(t 4n+1 0) и по

оценке, найденной для предыдущего момента времени. Такие рекуррентные

алгоритмы называются алгоритмами стохастической аппроксимации. Его

суть заключается в том, что на каждом шаге изменение вектора оценивае-

мых параметров производится таким образом, чтобы за счет поступления

новых экспериментальных данных улучшить прогнозирующее свойство моде-

ли.

 2.9. Надежность технологических систем. Надежность

 - 66 -

 управления технологической системой.

 Теория надежности изучает процессы возникновения отказов объектов

и способы борьбы с отказами. Для удобства решения задач часто различа-

ют два вида объектов: элементы и системы. Система предназначена для

самостоятельного выполнения определенной практической задачи. Элемент

является составной частью системы. В принципе систему можно разбить на

любое число элементов, необходимое для исследования надежности. Одна-

ко, деление системы на элементы нельзя считать произвольным. Каждый

элемент должен обладать способностью выполнять в системе определенные

функции и деление системы на элементы должно быть удобным для последу-

ющего использования.

 Различают два состояния объектов: работоспособное и неработоспо-

собное. Работоспособным называется состояние объекта, при котором зна-

чения всех параметров, характеризующих способность выполнять заданные

функции, соответствуют требованиям нормативно-технической и (или)

конструкторской документации. Состояние объекта, при котором значение

хотя бы одного параметра, характеризующего способность выполнять за-

данные функции, не соответствуют требованиям нормативно-технической и

(или) конструкторской документации, называют неработоспособным.

 Отказ - событие, заключающееся в нарушении работоспособного сос-

тояния объекта, т.е. в переходе в неработоспособное состояние. Обычно

неработоспособным называют состояние объекта, при котором нельзя его

применять. Однако возможны задачи, в которых неработоспособным считают

состояние объекта, при котором он не может продолжать выполнять свое

назначение. Поэтому при оценке надежности необходимо заранее огово-

рить, какое состояние объекта считается неработоспособным, поскольку

это зависит от назначения данного объекта. Например, если погрешность

измерительного прибора больше, чем требуется для применения в данном

технологическом процессе, то его считают неработоспособным, однако его

можно применять в другом процессе с более низкими требованиями.

 Когда объект предназначен для выполнения нескольких функций, час-

то находят значения показателей надежности по каждой функции. Возможен

и другой путь: оценивают свойство объекта выполнять все требуемые от

него функции. Отказом считается невыполнение хотя бы одной из функций

независимо от того, возникла ли ситуация, в которой требуется выполне-

ние этой функции.

 Отказы можно различать по нескольким признакам.

 1. По характеру устранения - окончательные (устойчивые) и переме-

жающиеся (то возникающие, то исчезающие) отказы. Окончательные отказы

являются следствием необратимых процессов в деталях и материалах. При

окончательных отказах для восстановления работоспособности объекта не-

обходимо производить его ремонт (регулировку). Перемежающиеся отказы в

большинстве случаев являются следствием обратимых случайных изменений

режимов работы и параметров объектов. При возвращении режима работы в

допустимые пределы объект сам, обычно без вмешательства человека,

возвращается в работоспособное состояние. Таким образом, перемежающие-

ся отказы существенно отличаются от окончательных причиной возникнове-

ния, внешними проявлениями и последствиями появления. Поэтому иногда

целесообразно различать два показателя надежности: для окончательных

отказов и для перемежающихся.

 2. По связи с другими отказами - первичные, т.е. возникшие по лю-

бым причинам, кроме действия отказа, и вторичные, т.е. возникшие в ре-

зультате другого отказа. Например, из-за пробоя конденсатора может

сгореть резистор. При вычислении показателей надежности обычно учиты-

ваются лишь первичные отказы. Отказы являются случайными событиями,

которые могут быть независимыми или зависимыми. Отказы являются зави-

симыми, если при появлении одного из них изменяется вероятность появ-

 - 67 -

ления второго отказа. Для независимых отказов вероятность появления

одного из них не зависит от того, произошли другие отказы или нет.

 3. По легкости обнаружения отказы могут быть очевидными (явными)

или скрытыми (неявными).

 4. Для каждого определенного типа объектов отказы можно различать

по внешним проявлениям. Например, различные отказы конденсаторов можно

разбить на две группы: типа "обрыв" или типа "замыкание".

 5. По характеру возникновения можно различать отказы внезапные,

состоящие в резком, практически мгновенном изменении характеристик

объектов, и отказы постепенные, происходящие из-за медленного, посте-

пенного ухудшения качества объектов. Рассмотрим более подробно харак-

тер возникновения отказов. Внезапные отказы обычно проявляются в виде

механических повреждений элементов (поломок, трещин, обрывов, пробоя

изоляции и т.п.), из-за чего эти отказы часто называют грубыми. Вне-

запные отказы получили свое название из-за того, что обычно отсутству-

ют видимые признаки их приближения, т.е. перед отказом обычно не уда-

ется обнаружить количественные изменения характеристик объекта. Посте-

пенные отказы (параметрические, плавные) связаны с износом деталей,

старением материалов и разрегулированием устройств. Параметры объекта

могут достигнуть критических значений, при которых его состояние счи-

тается неработоспособным. Внезапный отказ объекта также является

следствием накопления необратимых изменений материалов. Внезапным от-

каз кажется потому, что не контролируется изменяющийся параметр, при

критическом значении которого наступает отказ объекта, обычно связан-

ный с его механическим повреждением.

 Для объектов разного назначения и устройства применяются различ-

ные показатели надежности. В настоящее время можно выделить четыре

группы технических объектов, различающиеся показателями и методами

оценки надежности:

 1. невосстанавливаемые объекты, применяемые до первого отказа

(резистор, конденсатор);

 2. восстанавливаемые вне процесса применения объекты (автопилот);

 3. восстанавливаемые в процессе применения объекты, для которых

недопустимы перерывы в работе (резервированная линия связи);

 4. восстанавливаемые в процессе применения объекты, для которых

допустимы кратковременные перерывы в работе (робот, станок).

 2.9.1. Показатели надежности невосстанавливаемых объектов.

 Для оценки надежности невосстанавливаемых объектов используют ве-

роятностные характеристики случайной величины - наработки Т объекта от

начала его эксплуатации до первого отказа. Под наработкой понимают

продолжительность или объем работы объекта, измеряемые в часах, циклах

или других единицах. Когда наработку на отказ выражают в единицах вре-

мени, иногда используют термин "время безотказной работы", или, что то

же самое, "время до появления отказа".

 Полной характеристикой любой случайной величины является ее закон

распределения, т.е. соотношение между возможными значениями случайной

величины и соответствующими этим значениям вероятностям. Распределение

наработки до отказа может быть описано с помощью различных показателей

надежности невосстанавливаемых объектов: функция надежности p(t),

плотность распределения наработки до отказа f(t), интенсивность отка-

зов l(t).

 Функцией надежности называют функцию, выражающую вероятность то-

го, что Т - случайная наработка до отказа - будет не менее заданной

наработки (0,t), отсчитываемой от начала эксплуатации, т.е.

p(t)=P{T 7. 0t}. Перечислим некоторые очевидные свойства p(t):

 1. p(0)=1, т.е. можно рассматривать безотказную работу лишь тех

 - 68 -

объектов, которые были работоспособны в момент начала работы;

 2. p(t) является монотонно убывающей функцией заданной наработки

t;

 3. p(t) 76 00 t 76 0+ 7$ 0, т.е. любой объект со временем откажет. Наряду с

p(t) используется и функция ненадежности q(t)=1-p(t)=P{T<t}. Она ха-

рактеризует вероятность отказа объекта на интервале (0,t).

 2.9.2. Показатели надежности объектов, восстанавливаемых

 вне процесса применения.

 Такие объекты могут быть восстановлены лишь после выполнения за-

дания (оборудование самолетов и т.д.). Показатели надежности этих объ-

ектов вычисляются по наработке. Суммарная наработка до возникновения

n-го отказа T 4sn 0=T 41 0+T 42 0+...+T 4n 0, где T 4i 0 - наработка между (i-1) -м и i-м

отказами.

 Возможны два пути оценки надежности объектов, восстанавливаемых

вне процесса применения:

 1. вычисление условных характеристик потока отказов;

 2. вычисление условных распределений наработки между отказами.

 Первый путь в настоящее время является общепринятым. Рассматрива-

ются потоки случайных событий, каждое из которых состоит в появлении

отказа объекта. Поток отказов состоит в появлении отказа объекта. По-

ток отказов можно охарактеризовать "ведущей функцией" потока Q(t) -

математическим ожиданием числа отказов на интервале (0,t). Однако, ча-

ще всего в качестве показателя надежности используют параметр потока

отказов w(t),который характеризует среднее число отказов, ожидаемых в

малом интервале наработки, определяемое для рассматриваемого момента t

суммарной наработкой и описываемое выражением:

 P 41 0(t,t+dt)

 w(t) = a(t) = lim ────────── +o(dt) (68)

 dt 76 0o dt

 Здесь P 41 0(t,t+dt) - вероятность появления одного отказа на интер-

вале (t,t+dt); o(dt) - бесконечно малая величина более высокого поряд-

ка малости, чем dt (вероятность появления двух и более отказов на ин-

тервале (t,t+dt)).

 2.9.3. Показатели надежности объектов, восстанавливаемых

 в процессе применения.

 Показатели надежности объектов, восстанавливаемых в процессе при-

менения, вычисляются лишь в календарном времени. Такие объекты можно

разделить на две группы. К первой группе относятся объекты, для кото-

рых в течение заданного времени работы допускаются отказы и вызванные

ими кратковременные перерывы в работе. Для объектов этой группы боль-

шое значение имеет свойство готовности - способности находиться в про-

цессе эксплуатации значительную долю времени в работоспособном состоя-

нии. Ко второй группе относятся объекты, отказы которых в течение за-

данного времени недопустимы. Если в этих объектах (системах) имеются

избыточные элементы, то при отказах некоторых из них объект остается

работоспособным и можно проводить ремонт отказавших элементов во время

выполнения задачи. Один и тот же объект может быть отнесен к разным

группам в зависимости от режима его применения.

 Для первой группы объектов в процессе эксплуатации чередуются

случайные периоды времени безотказной работы и времени восстановления

(ремонта). Тогда случайное время между очередными восстановлениями T 4oi

равно T 4oi 0=T 4pi 0+T 4вi 0 (69). Если случайные величины Т 4pi 0 и Т 4вi 0 независимы,

то плотность распределения их суммы Т 4оi 0 по известному из теории веро-

ятностей правилу о композиции распределений равна:

 - 69 -

  4t

 f 4o 0(t)= 73 0f(x)g(t-x)dx (70)

  5o

где: f(t)- плотность распределения времени безотказной работы;

 g(t)- плотность распределения времени восстановления объекта.

 Для объектов второй группы могут в качестве показателей надежнос-

ти использоваться также параметр потока отказов, средняя наработка на

отказ и другие характеристики.

 Все рассмотренные показатели надежности объектов можно разделить

на три группы:

 1. интервальные, относящиеся к заданному интервалу наработки или

времени (t 41 0,t 42 0);

 2. мгновенные, соответствующие заданному значению времени или на-

работки t;

 3. числовые, не связанные с расположением заданного интервала или

момента времени (наработки).

 2.9.4. Оценка показателей надежности объектов по

 экспериментальным данным.

 Экспериментальные данные о надежности технических объектов могут

быть получены в результате наблюдений за их работой либо в условиях

реальной эксплуатации, либо при специальных испытаниях на безотказную

работу. Данные испытаний обычно не могут полностью заменить эксплуата-

ционные данные. Реальная же эксплуатация представляет собой недостижи-

мый по своим масштабам в лабораторных условиях эксперимент. Однако и

при реальной эксплуатации далеко не всегда удается получить нужную ин-

формацию:

 1. Данные реальной эксплуатации часто соответствуют морально ста-

реющим устройствам. Конструкция и технология изготовления современных

технических объектов меняются столь быстро, что нередки случаи, когда

данные об эксплуатации объектов, выпущенных несколько лет назад, имеют

лишь историческое значение. Вместе с тем основной целью любых исследо-

ваний в области надежности является повышение надежности будущих объ-

ектов.

 2. Данные реальной эксплуатации обычно являются неполными. Это

объясняется рядом причин: организационными трудностями сбора и обра-

ботки сведений, трудоемкостью применения переносной контрольно-измери-

тельной аппаратуры, недостаточной чувствительностью и точностью этой

аппаратуры и не всегда достаточной квалификацией работников. Из-за ог-

раниченности объема статистических данных во многих случаях трудно по-

лучить достоверные характеристики надежности для различных условий

применения объектов.

 3. Иногда трудно осуществлять наблюдение за работой некоторых

объектов при их реальной эксплуатации.

 Перечисленные причины определяют необходимость широкого примене-

ния испытаний изделий на безотказную работу и моделирования процесса

эксплуатации. Испытания на безотказную работу почти всегда связаны с

физическим моделированием условий эксплуатации. При проведении этих

испытаний обычно удается преодолеть большинство перечисленных труднос-

тей. Однако эксперимент продолжается очень долго, обычное время нара-

ботки на отказ исчисляется десятками тысяч часов. Для проведения экс-

перимента необходимо значительное количество специального оборудова-

ния. Как правило, подобный эксперимент стоит очень дорого; часто при

испытаниях приходится расходовать значительное количество специального

оборудования. Испытаниям подвергаются лишь серийно выпускаемые изде-

лия, тогда как часто желательно иметь хотя бы некоторую информацию о

проектируемых изделиях. Поэтому нельзя ограничиться лишь испытаниями

 - 70 -

на безотказную работу. Возникает вопрос о применении и всемерном раз-

витии моделирования процесса эксплуатации изделий и разработке методов

ускоренных испытаний.

 Этот путь лабораторных исследований дает возможность проводить

эксперимент в течение очень короткого времени, многократно повторять и

видоизменять его. Кроме того, можно в какой-то степени исследовать по-

ведение будущих, проектируемых объектов.

 Испытания на безотказную работу бывают определительными или конт-

рольными. При определительных испытаниях находят действительные значе-

ния показателей надежности технических объектов. Контрольные испытания

должны либо подтвердить, что испытуемые объекты обладают надежностью

не ниже требуемой (при этом технические объекты принимаются), либо оп-

ровергнуть это утверждение (при этом объекты бракуются). Иначе говоря,

определительные испытания проводят с целью сбора информации о надеж-

ности объектов, контрольные испытания - для обоснования решения о ка-

честве продукции.

 Испытаниям на безотказную работу обычно подвергается сравнительно

небольшое число экземпляров объектов. Поэтому существует проблема ста-

тистической оценки свойств объектов по результатам испытаний ограни-

ченного числа экземпляров. Имеются два варианта постановки этой зада-

чи, обычно связанные с различным назначением испытаний:

 1. Может быть поставлен вопрос, соответствуют ли значения показа-

телей надежности заданным требованиям. Этот вопрос обычно возникает

при контрольных и приемо-сдаточных испытаниях. При такой постановке

задачи решение обычно ищется путем проверки статистических гипотез.

 2. Можно ставить вопрос об определении численных значений показа-

телей надежности испытуемых объектов. Такие вопросы возникают при ис-

пытаниях блоков, узлов, макетов аппаратуры в ходе ее конструирования и

применения. В данном случае обычно применяются методы оценки парамет-

ров распределения наработки на отказ.

 Общие методы решения подобных задач в математической статистике

разрабатываются уже давно. Применение этих методов для оценки резуль-

татов испытаний на безотказную работу обычно не вызывает принципиаль-

ных затруднений.

 Испытания на безотказную работу различаются по значению и харак-

теру внешних воздействий на испытываемые изделия.

 До проведения определительных и контрольных испытаний проводится

аппроксимация имеющихся экспериментальных данных каким-либо теорети-

ческим распределением и проверка статистической гипотезы о том, что

принятое теоретическое распределение не противоречит экспериментально-

му.

 Для проведения испытаний составляется план, в котором указывают-

ся: количество объектов, порядок замены отказавших объектов, продолжи-

тельность испытаний.

 Результаты испытаний обычно представляют в виде упорядоченной

последовательности (вариационного ряда) чисел, которые являются значе-

ниями наработки до отказа объектов.

 Графики интенсивности отказов l(t) или плотности распределения на-

работки до отказа f(t) строятся по статистическим данным об отказах.

 2.9.5. Параметрическая надежность технических объектов.

 Если отказы происходят из-за плавных изменений свойств объектов,

то эти отказы называют параметрическими или постепенными. Надежность в

отношении параметрических отказов часто называют параметрической на-

дежностью. Для оценки надежности объектов по данным о приближении к

отказам необходимо составить модели процессов развития отказов. Могут

быть составлены модели типа нагрузка-прочность и параметр-поле допус-

 - 71 -

ка. В обоих случаях объект является работоспособным, пока изменяющаяся

в процессе эксплуатации величина не достигнет границы рабочей области.

Между моделями этих типов имеются лишь методологические различия.

 Поскольку цель исследования надежности состоит в нахождении расп-

ределения наработки до отказа, в моделях процессов развития отказов

хотя бы один из факторов должен рассматриваться как случайный процесс.

Особенности случайных процессов старения, изнашивания, разрегулирова-

ния заключаются в том, что они вызывают грубые отказы. Такой отказ яв-

ляется следствием накопления необратимых изменений материалов. Иначе

говоря, возникновение этого отказа является следствием монотонного

случайного процесса изменения какого-то параметра элемента. Отличие от

постепенного отказа состоит в том, что не контролируется изменяющийся

параметр, при достижении которым критического значения (границы) нас-

тупает внезапный отказ элемента, обычно связанный с его механическим

повреждением.

 Таким образом, любой отказ объекта связан со случайным процессом

(в общем случае векторным) изменения определяющего параметра и проис-

ходит при достижении этим параметром критических значений.

 При эксплуатации или хранении удается лишь 1-2 раза измерить зна-

чения определяющего параметра одинаковых элементов. Поэтому часто ока-

зывается, что можно лишь предполагать по данным ограниченного числа

вертикальных сечений, какой в действительности случайный процесс изме-

нения параметра. Таким образом, обычно в ходе исследования приходится

интерполировать и экстраполировать значения определяющего параметра

элемента. Для этого необходимо иметь гипотезу о характерном виде кри-

вых износа. Естественно предположить, что в основной период работы

скорость изменения параметра каждого элемента примерно постоянна. Для

наугад взятого элемента скорость изнашивания случайна - для каждого

элемента - своя.

 По изложенным причинам для описания процессов изнашивания во мно-

гих случаях целесообразно применять линейные случайные процессы, все

реализации которых являются прямыми линиями. Эти процессы близки к

встречающимся в действительности, очень просто описывают основные осо-

бенности процессов изменения параметра, требуют минимального количест-

ва экспериментальных данных для вычисления характеристик случайного

процесса и дают возможность наиболее просто исследовать надежность

элементов при изменении их свойств.

 2.9.6. Связь показателей надежности и качества

 функционирования технологических систем (ТС).

 Под качеством функционирования технологических систем обычно по-

нимают степень приспособленности системы к выполнению ею своего основ-

ного назначения. Соответствующий количественный показатель называют

показателем или критерием качества функционирования. Вид показателя

качества функционирования и его значение во многом определяются видом

решаемой задачи, зависят от цели, которую при этом стремятся достиг-

нуть.

 Существуют три группы показателей функционирования ТС: внешние,

внутренние, общие. Внешние показатели обычно интересуют потребителей

системы: количество, качество и стоимость продукции и обслуживания.

Внутренние показатели (например, с позиции персонала и администрации)

необходимо учитывать: удельные (единичные) затраты (например, в поис-

ковой автоматизированной информационной системе стоимость одной най-

денной релевантной ссылки). При рассмотрении общих показателей качест-

ва функционирования ТС можно выделить три вида эффекта применения ТС:

социальный, научно-технический и экономический. Эти виды взаимосвяза-

ны. Их возможные виды приведены в таблице 4.

 - 72 -

 Таблица 4

┌────────────────────────────────────────────────────────────────────┐

│ Показатели качества функционирования системы │

├──────────────────────┬──────────────────────┬──────────────────────┤

│ внешние │ внутренние │ общие │

├──────────────────────┼──────────────────────┼──────────────────────┤

│Показатели качества │Удельные экономические│Экономические показате│

│продукции │показатели │ли │

│Показатели качества об│ │Показатели социального│

│служивания потребите- │ │эффекта │

│лей │ │Показатели научно-тех-│

│ │ │нического эффекта │

└──────────────────────┴──────────────────────┴──────────────────────┘

 Для определения значений показателей качества функционирования

рассматривают результаты применения системы по назначению. При этом

приходится учитывать воздействие на систему случайных факторов. Пока-

затели качества обычно являются характеристиками случайных явлений:

случайных событий, величин, процессов. Наиболее часто показателями ка-

чества функционирования служат математические ожидания случайных вели-

чин.

 Можно выделить два вида показателей качества функционирования:

мгновенные и интервальные. К мгновенным показателям можно отнести:

 1. среднее качество функционирования в момент времени t=t 4i 0 - ма-

тематическое ожидание E(t 4i 0)=M[x(t 4i 0)] (71), где x(t 4i 0)- случайная вели-

чина;

 2. среднее квадратическое отклонение качества функционирования в

момент времени t=t 4i 0 s(t 4i 0)= 7? 0(M[(x(t 4i 0)-E(t 4i 0)) 52 0]) (72).

 Интервальными показателями качества могут быть:

 1. математическое ожидание выходного эффекта (средний выходной

эффект) за время (0,t) Э(t)=mx(t)=M[x(t)] (73);

 2. среднее квадратическое отклонение выходного эффекта, характе-

ризующее интервальный риск sx(t)= 7? 0(M({x(t)- mx(t)}) 52 0) (74).

 Для интервального показателя качества функционирования также мо-

жет быть найдено идеальное значение среднего выходного эффекта Э 4о 0(t) и

соответствующее значение коэффициента эффекта e(t)=Э(t)/Э 4o 0(t) (75).

Показатели среднего выходного эффекта и средних потерь связаны соотно-

шением Э+W=Э 4о 0 (76).

 Часто используются экономические показатели качества функциониро-

вания и эффективности. Например, годовой рост прибыли и расчетный ко-

эффициент экономической эффективности капитальных вложений или срок

окупаемости. Показателем качества функционирования систем контроля и

управления может служить величина Э 41 0=(Н 4о 0-Н)/С 41 0 (77), где Н 4о 0 - энтропия

состояния объекта до проведения контроля и управления; Н - остаточная

энтропия объекта после проведения контроля и управления; С 41 0 - затраты

на процесс получения информации. Применяется также показатель

Э 42 0=р(t 4o 0,t)/C 42 0 (78), где p(t 4o 0,t) - вероятность безотказной работы сис-

темы в течение заданного времени (t 4o 0,t 4o 0+t); C 42 0 - стоимость аппаратуры

контроля.

 2.9.7. Методы оценки надежности технологических систем.

 Сведения о структуре и функциональных связях элементов проектиру-

емых систем задаются в виде схемы, на которой с помощью условных обоз-

начений изображены элементы и функциональные связи между ними. Качест-

во такой системы характеризует предельная (располагаемая) производи-

тельность E(t), равная максимальному числу единиц "рабочего тела", ко-

торые могут транспонироваться в единицу времени. Производительность

системы определяется на выходных элементах. При нескольких выходных

 - 73 -

элементах может измеряться общая суммарная производительность системы

или производительность системы по отдельным выходам. При безотказной

работе всех элементов системы располагаемая производительность равна

номинальной. При отказах отдельных элементов производительность может

уменьшаться; когда она станет меньше критической, наступает отказ сис-

темы. Отказавшие элементы восстанавливаются и через некоторое время

вступают в строй, работоспособность системы восстанавливается.

 Связь между качеством функционирования и надежностью системы мо-

жет быть установлена двумя путями:

 1. Оценивают потери качества функционирования из-за недостаточной

надежности системы или ее элементов. При этом находят значения коэффи-

циента функционирования, соответствующие потерям качества функциониро-

вания системы из-за ненадежности.

 2. Принимают в качестве определения границы работоспособного сос-

тояния системы установленный заранее процесс потери качества функцио-

нирования. При этом выход реализации случайного процесса за границу

допуска соответствует отказу системы, а пересечение границы допуска в

обратном направлении - восстановлению работоспособности. По значениям

времени появления отказов и восстановлений системы можно найти общеп-

ринятые показатели надежности.

 Таким образом, для перехода от рассмотрения качества функциониро-

вания к рассмотрению надежности системы необходимо ввести определения

работоспособного и неработоспособного состояний системы. При переходе

от рассмотрения качества функционирования системы к рассмотрению ее

надежности полезно строить временные эпюры, на которых указаны периоды

нахождения системы в работоспособном и неработоспособном состояниях.

 Рассмотрим более подробно вопрос о моделях возникновения отказов

ТС. Возможны несколько групп моделей возникновения отказов технологи-

ческих систем, которые условно назовем отказами по качеству, по распо-

лагаемой производительности, по времени достижения заданного выходного

эффекта.

 В первой группе моделей состояние ТС характеризуется значениями

определяющих параметров продукции. Отказом считается выход значений

определяющего параметра выпускаемой продукции за границу допуска. При

этом оценка надежности ТС облегчится при принятии дополнительных допу-

щений.

 Вторая группа моделей возникновения отказов (и восстановлений) ТС

рассматривает изменения производительности этих систем. Например, в

модели может быть принято, что при появлении отказа система прекращает

выпуск продукции и подвергается аварийному ремонту, в результате кото-

рого восстанавливается номинальная производительность.

 2.9.8. Методы повышения надежности объектов и

 технологических систем.

 Факторы, влияющие на надежность объектов при их эксплуатации, мо-

гут быть субъективными и объективными. Субъективные воздействия проис-

ходят из-за неправильных действий людей. Любое, даже полностью автома-

тизированное устройство требует периодического обслуживания, т.е. под-

вергается воздействию людей. При этом возможны приводящие к отказам

объектов неправильные действия людей, обусловленные недостатком зна-

ний, опыта, плохой организацией работы. Например, к отказу техническо-

го объекта могут привести неправильное регулирование, нарушение правил

включения и выключения, нарушения порядка, методики и объема работ по

техническому обслуживанию.

 Объективные воздействия можно разделить на две группы:

 1. общие воздействия, которым подвергаются в той или иной мере

все объекты данного типа;

 - 74 -

 2. частные воздействия, которым могут подвергаться отдельные

конкретные конкретные образцы.

 Как общие, так и частные воздействия могут быть постоянными или

переменными. Объективные можно разделить на рабочие, климатические,

биологические.

 Надежность всех объектов сильно зависит от температурного режима

их работы. Особенно вредно сочетание тяжелого температурного режима с

ударами и вибрациями.

 Можно выделить четыре группы мероприятий по повышению надежности

объектов при их проектировании: системные, структурные (схемные),

конструктивные и эксплуатационные. К системным относятся организацион-

но-экономические мероприятия по стимулированию повышения надежности

(премирование персонала за безотказную работу) и технические мероприя-

тия такие, как например, применение стойких к температурным изменениям

элементов. Очень велико значение организационно-экономических меропри-

ятий по стимулированию повышения надежности, Например, если в стои-

мость изделия включаются затраты на гарантийный ремонт, то при этом

изготовитель учитывает, что при повышении надежности объектов уменьша-

ются затраты на гарантийный ремонт. Таким образом стимулируются точные

оценки надежности и ее повышение. В качестве второго примера организа-

ционно-экономического мероприятия по стимулированию повышения надеж-

ности можно привести подход к обеспечению надежности заказываемых объ-

ектов путем планирования расходов на весь срок службы.

 Технические мероприятия по формированию показателей надежности

проектируемых изделий необходимы при любой системе взаимоотношений за-

казчика и разработчика.

 Структурные (схемные) методы объединяют мероприятия по повышению

надежности объектов путем совершенствования принципов их построения.

Эти методы отличаются большим разнообразием и интенсивно развиваются.

В качестве примера можно привести различные варианты построения ЭВМ,

нечувствительных к появлению отказов. При создании таких ЭВМ приходит-

ся значительно усложнять их структуру, вводя избыточные аппаратные и

программные средства и все более сложные схемные решения. Можно выде-

лить две группы таких ЭВМ, различающихся распределением функций между

аппаратными и программными средствами. Для ЭВМ обоих типов характерны

мультипроцессорная архитектура и оповещение о критических ситуациях.

Различие состоит в способах локализации неисправных элементов и восс-

тановления функционирования системы. В ЭВМ, использующих в основном

аппаратные средства защиты от отказов, они обнаруживаются схемами го-

лосования в трехкратно резервированной шине. Местонахождение отказав-

ших модулей определяется также аппаратными средствами. Восстановление

контролируется специальной управляющей программой. При этом назначение

всех модулей мультипроцессора может измениться в ходе эксплуатации.

При необходимости производится реконфигурация системы, отказавшие мо-

дули выключаются. В ЭВМ, использующих в основном программные средства

защиты от отказов, их анализ и реконфигурация системы производятся це-

ликом программными средствами. Ошибки обнаруживаются при сравнении ре-

зультатов избыточных вычислений. Каждая задача решается независимо

тремя или пятью процессорными модулями, и результаты сравниваются. От-

казавшие модули находятся с помощью программных таблиц, хранящих ин-

формацию об отказавших модулях и шинах. После анализа возможных комби-

наций ошибок главная управляющая программа производит реконфигурацию

системы. Для успешного применения структурных методов повышения надеж-

ности автоматизированных производственных систем необходима дальнейшая

разработка ряда проблем, методов рационального распределения функций

между аппаратными и программными средствами при обнаружении отказов

элементов и восстановлении системы, способов классификации отказов

технических средств и ошибок программ и защиты от них, методов и

 - 75 -

средств объединения отдельных частей системы управления в единое це-

лое.

 К конструктивным относятся мероприятия по созданию или подбору

элементов, созданию благоприятных режимов работы, принятию мер по об-

легчению ремонта и т.д. Обычно оказываются более надежными те элемен-

ты, которые не имеют перемещающихся деталей, накаливаемых нитей и тон-

ких обмоток.

 Надежность элемента зависит от его конструкции, способа изготов-

ления и условий применения. При облегчении электрических, тепловых и

вибрационных режимов работы элементов интенсивности их отказов значи-

тельно уменьшаются. При конструировании транспортируемой электронной

аппаратуры можно обеспечить защиту от ударов и вибраций. Правильная

амортизация аппаратуры часто является основным фактором, определяющим

ее надежность.

 При оценке условий работы элементов особое внимание нужно обра-

щать на переходные процессы, возникающие при включении и выключении, а

также при других изменениях режима работы аппаратуры. Перегрузки, ис-

пытываемые элементом при переходных процессах, могут быть одной из

причин пониженной надежности аппаратуры.

 При проектировании должно учитываться изменение параметров мате-

риалов и деталей во времени (старение). Учет старения необходим и для

кратковременно работающих объектов, т.к они могут применяться после

долгого периода складского хранения. При этом целесообразно так подоб-

рать минимальные значения параметров элементов, чтобы обеспечить мак-

симальную параметрическую надежность системы.

 Время устранения отказа можно уменьшить путем построения систем

по блочно-узловому способу. Вся система разбивается на отдельные функ-

ционально-законченные блоки, которые в электронных системах связывают-

ся кинематически. Блоки, в свою очередь, разбиваются на функционально

законченные узлы, выполняемые в виде легкосъемных конструкций. При та-

ком построении объектов восстановление состоит в замене вышедших из

строя блоков или узлов, что значительно ускоряет процесс ввода объек-

тов в строй. Осуществление блочно-узловых конструкций тесно связано с

унификацией элементов и систем, которая производится на основе отбора

наиболее надежных вариантов. При этом не только повышается надежность

объектов, но и снижается их стоимость и упрощается изготовление.

 Для облегчения ремонта отдельных от основной системы неработоспо-

собных блоков также крайне необходима унификация блоков, деталей, нап-

ряжений и частот питания и т.д. Унификация облегчает снабжение запас-

ными частями и снижает стоимость эксплуатации, а также затраты на

средние или капитальные ремонты.

 Планирование эксплуатационных мероприятий на стадии проектирова-

ния объектов состоит в разработке системы эксплуатационого обеспече-

ния. Проектирование объектов должно осуществляться в соответствии с

номенклатурой работ по техническому обслуживанию. Например, для плани-

рования периодического регулирования определяющих параметров устройств

необходимо предусмотреть возможность контроля и прогнозирования значе-

ний этих параметров.

 Для повышения надежности при изготовлении необходимо проводить

мероприятия по обеспечению однородности выпускаемой продукции. Все эти

мероприятия можно объединить в четыре группы:

 1. совершенствование технологии производства;

 2. автоматизация производства;

 3. технологические (тренировочные) прогоны;

 4. статистическое регулирование качества продукции.

 2.10. Проектирование технологических процессов с

 использованием средств вычислительной техники.

 - 76 -

 Как уже ранее рассматривалось, наибольшую эффективность обеспечи-

вает создание непрерывной автоматизированной цепочки "проектирование -

изготовление" изделий (ИПК). Основная цель создания ИПК - повышение

производительности труда, сокращение трудоемкости и стоимости процес-

сов проектирования, подготовки производства, изготовления и испытаний

РЭА; повышение качества выпускаемых изделий, сокращение сроков освое-

ния новых видов изделий, получение экономии всех видов ресурсов за

счет оптимизации проектирования, испытания , изготовления и испытаний

РЭА, снижение всех затрат в целом, связанных с выпуском изделий РЭА.

Рассмотрим сначала процесс проектирования изделия.

 Проектирование технического объекта связано с созданием, преобра-

зованием и представлением в принятой форме образа этого объекта. Про-

ектирование начинается с технического задания на проектирование, кото-

рое является первичным описанием объекта, а результатом проектирования

является полный комплект документации, содержащий достаточные сведения

для изготовления объекта в заданных условиях, который и представляет

собой окончательное описание объекта.

 Т.о. проектирование - процесс, заключающийся в преобразовании ис-

ходного описания объекта в окончательное описание на основе выполнения

комплекса работ исследовательского, расчетного и конструкторского ха-

рактера.

 Преобразование исходного описания в окончательное порождает про-

межуточные описания, которые являются предметом рассмотрения с целью

определения окончания проектирования или выбора путей его продолжения.

Это есть проектные решения.

 При проектировании сложных объектов используются следующие прин-

ципы:

 - декомпозиция и иерархическое описание объектов;

 - многоэтапность и иттерационность проектирования;

 - типизация и унификация проектных решений и средств проектирова-

ния.

 Разделение описаний по степени детализации отображаемых свойств и

характеристик объекта лежит в основе блочно-иерархического подхода к

проектированию и приводит к появлению иерархических уровней в предс-

тавлениях о проектируемом объекте.

 Как правило, выделение элементов происходит по функциональному

признаку. Подобное деление продолжается вплоть до получения на некото-

ром уровне элементов, описания которых дальнейшему делению не подле-

жат. Такие элементы называются базовыми.

 Т.о., принцип иерархичности означает структурирование представле-

ний об объектах проектирования по степени детальности описаний, а

принцип декомпозиции (блочности) - разбиение представлений каждого

уровня на ряд составных частей (блоков) с возможностями поблочного

проектирования на каждом уровне. В машиностроении базовые элементы

представлены деталями (винт, шпонки, вал и т.д.) - это элементы низше-

го уровня, далее идут сборочные единицы (карбюратор, катодный узел).

 При рассмотрении ТП наиболее общее, но и наименее детальное опи-

сание представляется принципиальной схемой ТП. На следующем иерархи-

ческом уровне описываются маршруты обработки деталей как системы, сос-

тоящие из элементов - технологических операций. Дальнейшее применение

принципов иерархичности и блочности приводит к выделению уровней опи-

сания операционной технологии и управляющих программ для станков с

ЧПУ.

 При проектировании РЭА к базовым элементам относят элементы прин-

ципиальных электрических схем (интегральные микросхемы, дискретные

электрорадиоэлементы, резисторы, конденсаторы). Из этих элементов оп-

ределяются функциональные узлы - усилители, вторичные источники пита-

 - 77 -

ния, сумматоры и т.д. Они, в свою очередь, входят в состав устройств

или блоков, описываемых с помощью функциональных схем (процессор, ОЗУ,

модем). Из устройств компонуются радиоэлектронные системы, описываемые

с помощью структурных схем.

 Кроме расчленения описаний по степени сложности, подробности от-

ражения свойств объекта, порождающие иерархические уровни, используют

декомпозицию описаний по характеру отображаемых свойств объекта. Это

приводит к появлению таких аспектов описаний, как функциональный,

конструкторский и технологический.

 Функциональный аспект связан с отображением основных принципов

функционирования, характера физических и информационных процессов,

протекающих в объекте, и находящих выражения в принципиальных, функци-

ональных, структурных, кинематических схемах и сопровождающих их доку-

ментах.

 Конструкторский аспект связан с реализацией результатов функцио-

нального проектирования, т.е. с определением геометрических форм объ-

ектов и их взаимным расположением в пространстве.

 Технологический аспект относится к реализации результатов конс-

трукторского проектирования, т.е. связан с описанием методов и средств

изготовления объектов.

 Внутри каждого аспекта возможно свое специфическое выделение ие-

рархических уровней.

 Проектирование имеет свои стадии и этапы. Проектирование ТП расч-

леняют на этапы разработки принципиальных схем технологического про-

цесса, маршрутной технологии, операционной технологии и получения уп-

равляющей информации на машинных носителях для управления программ-

но-управляемого оборудования.

 При проектировании БИС выделяют этапы:

 1. проектирование компонентов;

 2. схемотехнического проектирования;

 3. функционально-логического проектирования;

 4. топологического проектирования.

 Проектирование м.б. как нисходящее (от общего к частному) так и

восходящее (от частного к общему). Эти оба метода имеют свои особен-

ности и недостатки и на практике обычно стараются их комбинировать.

Восходящее проектирование имеет место на тех уровнях, где используются

унифицированные элементы.

 Составные части процесса проектирования конструкторской докумен-

тации. Проектирование как процесс, развивающийся во времени, состоит

из стадий, этапов, проектных процедур и операций. Стадии: предпроект-

ные исследования; техническое задание на разработку технического про-

екта или предложения; эскизный проект (ЭП); технический проект (ТП);

рабочий проект (РП); испытаний и внедрения.

 На стадиях предпроектных исследований, технического задания и

технического предложения на основании изучения потребностей общества в

получении новых изделий и имеющихся ресурсов определяют назначение,

основные принципы построения технического объекта и формулируют техни-

ческое задание (ТЗ) на его проектирование (или на проведение НИР).

 На стадии эскизного проекта проверяется корректность и реализуе-

мость основных принципов и положений, определяющих функционирование

будущего объекта и создается его ЭП.

 На стадии ТП выполняется всесторонняя проработка всех частей про-

екта, конкретизируются и детализируются технические решения.

 На стадии РП формируется вся необходимая документация для изго-

товления изделия. Далее создается и испытывается опытный образец или

пробная партия изделий, по результатам испытаний вносят необходимую

корректировку в проектную документацию, после чего осуществляется

внедрение в производство.

 - 78 -

 Этап проектирования - часть процесса проектирования, включающая в

себя формирование всех требующихся описаний объекта, относящихся к од-

ному или нескольким иерархическим уровням и аспектам. Часто названия

этапов совпадают с названиями соответствующих иерархических уровней и

аспектов.

 Составные части этапа проектирования называются проектными проце-

дурами (это часть этапа, выполнение которой заканчивается получением

проектного решения). Более мелкие составные части процесса проектиро-

вания, входящие в состав проектных процедур, называют проектными опе-

рациями.

 Различают проектные процедуры анализа и синтеза. Синтез заключа-

ется в создании описания объекта, анализ - в определении свойств и

исследовании работоспособности объекта по его описанию, т.е. при син-

тезе создаются, а при анализе оцениваются проекты объектов. Процедуры

анализа делятся на процедуры одно- и многовариантного анализа. При од-

новариантном анализе заданы значения внутренних и внешних параметров,

требуется определить значения выходных параметров объекта. Многовари-

антный анализ заключается с исследовании объекта в некоторой области

пространства внутренних параметров. Такой анализ требует многократного

решения систем уравнений (многократного выполнения одновариантного

анализа).

 В качестве примера решения задач анализа и синтеза рассмотрим ре-

шение задачи анализа и синтеза сборки в РТК. При организации сборки в

РТК одной из главных проблем является выявление соответствия возмож-

ностей производственной системы, осуществляющей сборку изделия РЭА,

его конструктивно-техническим свойствам. Эту задачу следует решать на

ранних стадиях проектирования изделия, т.к. в процессе изучения вари-

антов и принятия решения необходимо исследовать возможность его реали-

зации. Это называется отработкой изделия на технологичность и регла-

ментируется ГОСТ 14.201 " Общие правила обеспечения технологичности

конструкций изделия". Основная цель отработки на технологичность -

достижение разумного компромисса между свойствами проектируемого изде-

лия как средства достижения заданных целей в процессе эксплуатации и

свойствами того же изделия как объекта производства. Особую важность

эта задача приобретает в условиях внедрения РТК, т.к. традиционные

конструкторские методы решения становятся недостаточно эффективными.

Задача анализа формулируется так: необходимо определить принципиальную

возможность осуществления процесса сборки изделия на основе имеющегося

технологического базиса, удовлетворяющего изготовителя определенными

технико-экономическими показателями.

 Исходная информация включает: описание изделия, содержащее сведе-

ния о его конструкции, технических условиях на сборку, описание техно-

логического базиса, включая технико-экономические требования к техно-

логическому процессу сборки. Для решения этой задачи может быть ис-

пользован подход, основанный на синтезе оптимальной в определенном

смысле структуры сборочного производства. Технико-экономические харак-

теристики в зависимости от используемого метода синтеза могут быть оп-

ределены как в процессе автоматизированного проектирования, так и пу-

тем последующего анализа полученного решения.

 Базирующийся на таком подходе метод анализа разрешимости сборки

представляет собой реализацию морфологического метода и основан на ис-

пользовании типовых решений на уровне элементов как процесса, так и

системы сборки (сборочных операций и агрегатов); на декомпозиции про-

цесса сборки и сопоставлении каждого элемента процесса с элементом

системы, реализующим сборку; выборе оптимального элемента из них в из-

вестном смысле; совместном решении задач синтеза системы и процесса

сборки.

 Задача синтеза структуры решается с помощью совокупности матема-

 - 79 -

тических моделей, позволяющих имитировать процесс сборки и формализо-

вать варианты сборочного производства, реализующие сборку заданного

изделия, а также определить их характеристики. В процессе синтеза, яв-

ляющегося многошаговым, путем проверки технологических режимов, неин-

вариантных к последовательности выполнения операций, формируются вари-

анты и выбирается оптимальная в заданном смысле структура сборочного

производства. Определяются неинвариантные технологические режимы, не-

обходимые для реализации каждого сопряжения, в том числе некоторые па-

раметры траектории регулируемого объекта сборочных агрегатов.

 2.11. Автоматизированные сборочные производства РЭА.

 Сборочные производства РЭА занимают значительное место (сборка

15-20 %, электрический монтаж - 40-60 %) в общей трудоемкости изготов-

ления изделий РЭА и представляют значительный резерв повышения произ-

водительности труда, так как в большинстве случаев они не автоматизи-

рованы. Низкий уровень их автоматизации объясняется частой сменяе-

мостью и усложнением объектов сборки; сравнительной сложностью этих

процессов, требующих точной ориентации собираемых комплектов в прост-

ранстве; компоненты часто имеют малые размеры, нежесткие элементы, ус-

танавливаются в труднодоступные места, имеют разную конфигурацию и

размеры.

 Можно выделить три группы факторов, сдерживающих автоматизацию

сборочных процессов в производстве РЭА:

 1. низкую технологичность конструкций изделий РЭА и их компонен-

тов;

 2. недостаточную эффективность ТП;

 3. несовершенство сборочных машин или необоснованный их выбор.

 Основные требования технологичности, предъявляемые к конструкции

изделий РЭА автоматической сборкой:

 1. переход от объемной сборки к плоской;

 2. унификация компонентов и их присоединительных размеров;

 3. наличие у компонентов поверхностей, облегчающих механический

захват, относительно которых можно строго ориентировать в пространстве

компоненты;

 4. наличие на сопрягаемых элементах поверхностей, обеспечивающих

их самоустановку;

 5. стабильность сопрягаемых размеров;

 6. возможность использования наиболее целесообразных с точки зре-

ния автоматизации методов соединения.

 Приведем пример требований, предъявляемых к электронным узлам

второго уровня модульности. Они сводятся к ограничениям согласно огра-

ничительному каталогу отрасли или предприятия-изготовителя узлов, нак-

ладываемым на печатные основания, типы и типоразмеры изделий электрон-

ной техники, расположение последних на плате, а также устанавливают

правила регулировки и контроля. Форма платы - прямоугольная с ограни-

ченными максимальными размерами, расположение проводников - параллель-

но сторонам платы. Ограничиваются: шаг координатной сетки, точность

расположения, размеры базовых и монтажных отверстий, размеры контакт-

ных площадок, типы и типоразмеры ЭРЭ с осевыми выводами; типы транзис-

торов, конденсаторов, ИС и перемычек. Регламентируется зона установки

изделия. Регулировка собранного узла должна обеспечиваться только эле-

ментами узла, которые должны позволять простое подключение к автомати-

зированной контрольной аппаратуре.

 Эффективность технологических процессов можно повысить за счет:

 1. уменьшения основного времени сборки, затрачиваемого на выпол-

нение собственно операций сборки, применяя более интенсивные процессы;

 2. введением агрегатирования ТП и оптимизацией степени агрегати-

 - 80 -

рования;

 3. применением унифицированных ТП с целью автоматизации их проек-

тирования в АСТПП;

 4. автоматизацией контроля и управления параметрами ТП;

 5. повышением точности, стабильности ТП и др.

 Одним из центральных вопросов является обеспечение геометрической

совместимости компонентов при автоматической сборке и разработке точ-

ностных требований, предъявляемых к оборудованию сборочных процессов,

особенно при их реализации в условиях робототехнических комплексов

(РТК). Методы обеспечения геометрической совместимости компонентов при

сборке следующие:

 1. полная взаимозаменяемость;

 2. неполная взаимозаменяемость;

 3. предварительная сортировка компонентов на группы (селекция);

 4. применение компенсаторов;

 5. индивидуальная подгонка.

 Для сборочных станков-автоматов предъявляются два основных требо-

вания: высокая стабильность протекания процесса автоматической сборки

и точность выполнения сборочных операций. При построении РТК на базе

монтажных автоматов с ЧПУ или ЭВМ задачи промышленных роботов сводятся

к функциям обслуживания (захват платы, выданной накопителем, доставка

ее в зону сборки, установка в приспособление автомата; после окончания

монтажа - захват и удаление собранного узла из приспособления и уклад-

ка его в тару).

 При создании роботизированной автоматической линии на базе авто-

матических поточных линий с управлением от ЭВМ, задачи робота-загруз-

чика сводятся к периодической загрузке и установке в приспособле-

ние-спутник транспортной системы платы и периодической выгрузке гото-

вых узлов с установкой их в тару. Промышленный сборочный робот, осна-

щенный соответствующим инструментом, может выполнять следующие основ-

ные операции сборки: надеть-вставить, наложить-вложить, раздви-

нуть-развернуть, установить-снять, запрессовать, свинтить-развинтить,

склеить, расклепать, сжать-разжать, нанести клей, сварить, зачистить,

ориентировать, измерить, залить.

 Процесс сборки в РТК отличается от традиционного тем, что в нем

наряду с автоматизированным технологическим оборудованием (АТО) ис-

пользуются роботы, более мобильные, но, как правило, обеспечивающие

меньшую точность позиционирования.

 Одной из центральных задач в РТК является выбор модели ПР и расп-

ределение обязанностей между роботом и традиционными средствами авто-

матизированной сборки (сборочным оборудованием, кантователями, ми-

ни-транспортерами и другим вспомогательным оборудованием).

 Другой важной задачей является планирование функционирования ПР.

Существует несколько уровней решения этой задачи:

 1. исполнительный - на котором осуществляется синтез законов дви-

жения звеньев манипулятора-робота и управления работой его исполни-

тельных механизмов;

 2. тактический - на котором определяются параметры, характеризую-

щие технологические режимы сборочных операций, выполняемых ПР;

 3. на стратегическом уровне формируется процесс сборочных опера-

ций, определяется порядок их выполнения, назначаются дополнительные

элементы (сервисное оборудование) или манипуляторы, выполняющие вто-

ростепенные (сопутствующие операции);

 4. на высшем уровне решаются задачи координации взаимодействия

элементов РТК или подсистем сборочного промышленного робота; планиро-

вание работы ПР есть задача проектирования процесса сборки, реализуе-

мого ПР.

 - 81 -

 2.12. Технологическая подготовка производства РЭА,

 ее основные задачи, положения и правила организации.

 Автоматизированная система подготовки производства.

 Технологическая подготовка производства (ТПП) - совокупность сов-

ременных методов организации, управления и решения технологических за-

дач на основе комплексной стандартизации, автоматизации, экономико-ма-

тематических моделей и средств технологического оснащения. Она базиру-

ется на единой системе технологической подготовки производства. Стан-

дарты ЕСТПП устанавливают общие правила организации и моделирования

процесса управления производством, предусматривают широкое применение

прогрессивных ТП, стандартной технологической оснастки и оборудования,

средств механизации и автоматизации производственных процессов и инже-

нерно-технических и управленческих работ.

 Освоение выпуска новой РЭА во многом определяется организацией

работ всех служб, участвующих в ТПП.

 Основные задачи ТПП: определение состава, объема и сроков выпол-

нения работ по подразделениям; выявление оптимальной последовательнос-

ти и рационального сочетания работ. Изготавливаемые блоки, сборочные

единицы и детали распределяются по подразделениям, определяются трудо-

вые и материальные затраты, проектируют технологические процессы и

средства оснащения.

 Таким образом, функции ТПП охватывают весь комплекс работ, свя-

занных с созданием или модернизацией объекта производства, его органи-

зационно-техническим анализом, разработкой и наладкой технологических

процессов и средств технологического оснащения, определением матери-

альных и трудовых нормативов, разработкой модели производственного

процесса.

 По месту выполнения работ ТПП делят на внезаводскую и внутриза-

водскую. По периоду действия ТПП можно разделить на перспективную

(срок реализации 3-5 лет), текущую (в пределах года или освоения дан-

ного изделия) и оперативную (решение задач текущего производства).

Объектом ТПП может быть основное и вспомогательное производство.

 Задачи и этапы ТПП:

 1. Конструирование. Под конструированием понимается процесс соз-

дания модели (документации) объекта производства, к которому относятся

изделия, являющиеся товарной продукцией предприятия, и изделия, пот-

ребляемые внутри предприятия (технологическая оснастка, средства меха-

низации и автоматизации производства и т.п.). При решении этой задачи

на данном этапе проведения ТПП создается база данных конструкторской

информации, автоматизация ее корректировки, создание имитационных мо-

делей для оценки параметров принимаемых технических решений, а также

средств автоматизации конструкторских и графических работ. На данном

этапе решается задача прогнозирования развития технологии. Изучение

передового зарубежного и отечественного опыта в области технологии и

подготовка рекомендаций по его использованию. Проведение лабораторных

исследований по новым технологическим решениям. Указанные работы вы-

полняются технологическими бюро и лабораториями ОГТ.

 2. Разработка технологических процессов. Этот этап является наи-

более трудоемким этапом ТПП. На данном этапе решается задача разработ-

ки технологических процессов, а также системы организации производс-

твенного процесса. Целевой функцией задачи разработки ТП является тех-

нологическая себестоимость при обеспечении заданного объема выпуска и

качества выходной продукции. На множестве предлагаемых технологических

схем необходимо выбрать тот вариант технологии, который обеспечивает

минимальную себестоимость выпускаемой продукции при ряде технологичес-

ких и организационных параметров.

 Объектами управления рассматриваемых функций являются конструкции

 - 82 -

изделий, технология их изготовления и организация производства. При

изучении конструкции изделия основной задачей является отработка конс-

трукции изделия на технологичность. Ведущие технологи ОГТ проводят

технологический контроль документации, оценку уровня технологичности

конструкции изделия, отработку конструкции изделия на технологичность,

оценку снижения материальных и трудовых затрат в производстве за счет

повышения уровня технологичности.

 Стандартизация технологических процессов. Группа типизации ТП ОГТ

проводит анализ конструктивных особенностей деталей, сборочных единиц

и их элементов, обобщение результатов анализа и подготовку рекоменда-

ций по их стандартизации, разработку типовых технологических процессов

ТПП, формирование заводских фондов документации на ТПП.

 Группирование ТП. Подразделения групповой обработки ОГТ осущест-

вляют анализ и уточнение границ классификационных групп деталей, сбо-

рочных единиц, разработку групповых ТП.

 Технологическое оснащение. Конструкторское бюро технологической

оснастки занимается унификацией и стандартизацией средств технологи-

ческого оснащения, выявляет трудоемкую оригинальную оснастку в процес-

се технологического контроля ее проектирования и запуска в производс-

тво, определяет потребности в универсальной таре и разрабатывает ее

для деталей и сборочных единиц. Проектирование и оснащение рабочих

мест проводится согласно групповым и типовым технологическим процес-

сам.

 Оценка уровня технологии. Подразделения ОГТ совместно с главным

технологом предприятия определяют уровень технологии на данном предп-

риятии, устанавливают основные направления и пути повышения уровня

технологии на предприятии.

 Разработка ТП. Технологическое бюро ОГТ разрабатывает новые и со-

вершенствует действующие единичные ТП и процессы технического контроля

заготовок, деталей, сборки и испытания составных частей изделий в це-

лом, проводят корректировку ТП.

 Проектирование средств специальной технологической оснастки. Тех-

нологические бюро ОГТ производят выбор вариантов специального техноло-

гического оборудования, выпускаемого промышленностью, а в случае от-

сутствия разрабатывает ТЗ на его проектирование. КБ ОГТ осуществляет

проектирование специального инструмента, приспособлений, штампов,

прессформ и другой оснастки.

 Нормирование расхода ресурсов. Группа нормативов затрат разраба-

тывает подетально-пооперационные нормы затрат труда с обеспечением

применения технического обоснования норм времени на выполнение опера-

ций. Группа стоимостных нормативов осуществляет разработку подетальной

стоимости затрат по цехам.

 Организация и управление процессом ТПП. Плановая группа ОГТ расп-

ределяет номенклатуру деталей и сборочных единиц между специализиро-

ванными технологическими бюро, выявляет узкие места в ТПП, принимают

решения по их ликвидации, осуществляют контроль за выполнением этапов

работ по ТПП.

 Совершенствование организации ТПП заключается в разработке под-

разделениями ОГТ руководящих материалов, положений, стандартов, орга-

низационно-методических документов и нормативов, регламентирующих

функции ТПП.

 ТПП производства РЭА должна содержать оптимальные решения не

только задач обеспечения технологичности изделия, но и проведения из-

менений в системе производства, обусловленное последующим улучшением

технологичности и повышением эффективности изделий. Поэтому современ-

ная ТПП сложных РЭА должна быть автоматизированной как органическая

составная часть САПР.

 Дадим некоторые определения средств технологического оснащения

 - 83 -

РЭА и поясним последовательность и содержание работ по обеспечению

технологичности конструкций РЭА.

 Технологическое оснащение включает: технологическое оборудование

(в том числе контрольное и испытательное); технологическую оснастку (в

том числе инструменты и средства контроля); средства механизации и ав-

томатизации производственных процессов.

 Технологическое оборудование - это орудия производства, в которых

для выполнения определенной части ТП размещаются материалы (заготов-

ки), средства воздействия на них и при необходимости источники энер-

гии.

 Технологическая оснастка - это орудия производства, добавляемые к

технологическому оборудованию для выполнения определенной части ТП.

 Средства механизации - это орудия производства, в которых ручной

труд частично или полностью заменен машинным с сохранением участия че-

ловека в управлении машинами.

 Средства автоматизации - орудия производства, в которых функции

управления переданы машинам и приборам.

 Состав оборудования и оснастки выбирается и (по мере необходимос-

ти) проектируется в зависимости от технологического процесса изготов-

ления РЭА (от заготовительного, механообрабатывающего, гальванического

и лакокрасочного покрытий до сборочных).

 Важным показателем работы оборудования, технологической оснастки

и правильности их выбора является степень использования каждого станка

и оснастки в отдельных и вместе взятых по разработанному процессу.

Оборудование и оснастку следует выбирать по производительности, тогда

будет обеспечено рациональное использование его во времени.

 При проведении отработки конструкции изделия на технологичность

(в соответствии с ГОСТ 14.201 " Общие правила обеспечения технологич-

ности конструкций изделия") следует учитывать:

 - вид изделия, степень его новизны и сложности, условия изготов-

ления, технического обслуживания и ремонта, а также монтажа вне предп-

риятия-изготовителя;

 - перспективность изделия, объем его выпуска;

 - передовой опыт предприятия-изготовителя и других предприятий с

аналогичным производством, новые высокопроизводительные методы и про-

цессы изготовления.

 Целью создания автоматизированной системы технологической подго-

товки производства (АСТПП) является ускорение и совершенствование тех-

нологической подготовки производства (ТПП) на базе математических ме-

тодов, оптимизации процессов проектирования и управления с применением

современных средств вычислительной и организационной техники. Систем-

ное использование средств автоматизации инженерно-технических работ

обеспечивает оптимальное взаимодействие людей, машинных программ и

технических средств автоматизации при выполнении функций технологичес-

кой подготовки производства. Разработка и внедрение АСТПП требует на-

личия развитой стандартизации, нормализации и унификации конструкций и

конструктивных элементов технологического оснащения, технологических

процессов, вычислительной и организационной техники и ее математичес-

кого обеспечения. АСТПП позволяет упорядочить и регламентировать все

элементы ТПП, выполнять их на принципиально новой основе:

 - подсистемы, проектирующие ТП, - на основе САПРт;

 - подсистемы, конструирующие специальное технологическое оснаще-

ние (СТО), - на основе САПРк;

 - подсистемы управления ТПП - на основе АСУ;

 - подсистемы изготовления СТО - на базе АСУ ГПС.

 Экономический эффект от применения АСТПП получается как за счет

снижения трудоемкости самого процесса проектирования, так и за счет

использования резервов в технологических процессах (например, за счет

 - 84 -

повышения качества изделия; уменьшения расхода инструментов; уменьше-

ния величины отходов; оптимизации принимаемых решений на раскрой мате-

риалов, на режимы обработки, распределение припусков и др.).

 АСТПП должна (в общем случае) решать следующие задачи:

 - отработку изделий РЭА на технологичность;

 - диалоговое формирование ТП изготовления изделий;

 - проектирование технологической оснастки и инструмента;

 - проектирование элементов производственной системы;

 - разработку управляющих технологических программ для оборудова-

ния с ЧПУ;

 - разработку управляющих программ (циклограмм) для оборудования с

программным управлением;

 - обеспечение автоматизированного информационного обслуживания

пользователей (поиск и выдача информации на микрофильмах пользовате-

лям; поиск и выдачу информации ЭВМ; обеспечение пользователей сетью

терминальных пунктов);

 - осуществление автоматизированного управления технологической

подготовкой производства ТПП (расчет планов ТПП, контроль за выполне-

нием планов, расчет нормативов, расчет норм и потребностей).

 Для решения этих задач в АСТПП (в общем случае) имеются подсисте-

мы общего назначения:

 - поисково-информационная ПС;

 - подсистема формирования исходных данных для других автоматизи-

рованных систем и подсистем.

 - 85 -

 3. ЗАКОНЫ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕНЫХ

 ПОГРЕШНОСТЕЙ И МЕТОДЫ ИХ ИССЛЕДОВАНИЯ

 3.1. Измерительная информация и ее роль в технологическом

 процессе. Основные компоненты информационно-

 измерительных систем.

 В процессе создания различных видов РЭА одной из основных задач

является обеспечение точности основных параметров создаваемой аппара-

туры. На стадии проектирования эта точность обеспечивается путем при-

нятия соответствующих правильных схемных и структурных решений, пра-

вильного выбора номенклатуры применяемых электрорадиоэлементов, кото-

рые должны обеспечить значения основных параметров в пределах, обус-

ловленных техническим заданием допусков. Однако, на этапе изготовления

имеют место отклонения параметров от нормы - производственные погреш-

ности, которые зачастую невозможно определить на стадии проектирова-

ния.

 Точность производства - мера соответствия объекта установленному

образцу. Ее назначением является поддержание на заранее известном

уровне или в заданном диапазоне значений каких-либо параметров, в ка-

честве последних могут быть геометрические, электрические, механичес-

кие, химические, тепловые или любые физические параметры, характеризу-

ющие тот или иной объект, например, размеры, формы, токи, напряжения,

мощности и др. Точность задается допуском, т.е. предельно допустимым

отклонением от номинального значения параметра.

 Точность бывает функциональная и технологическая. Под функцио-

нальной точностью понимают требования к точности, предъявляемые к вы-

ходным параметрам аппаратуры и обеспечивающие ее нормальное функциони-

рование в соответствии с техническими условиями.

 Технологическая точность - это реально достижимая (не планируе-

мая) точность при производстве изделий по выбранной технологии. Она

определяется как качеством материалов и точностью процессов изготовле-

ния сборочных единиц, составляющих изделие, так и точностью используе-

мых комплектующих изделий и самого процесса сборки. Под анализом точ-

ности понимают процесс изучения причин возникновения погрешностей, их

методов исследования и количественных оценок, способов предупреждения

и устранения.

 Контроль точности параметров проводится с помощью контрольно-из-

мерительной аппаратуры, составляющей вместе с микро-ЭВМ или микропро-

цессорами информационно-измерительные системы.

 Производство РЭА является сложным, прецизионным, многокомпонент-

ным процессом, состоящим из огромного количества различных технологи-

ческих операций. Количество и качество продукции, получаемой после

каждой технологической операции, находятся в прямой зависимости от

степени охвата контролем и управлением физико-химических процессов,

участвующих в производстве компонентов РЭА. При этом одним из важней-

ших условий достижений успеха в производстве является чистота применя-

емых материалов и технологических сред. Совокупность перечисленных

факторов определяет как принципиальную возможность получения РЭА, так

и основные достижимые электрофизические параметры.

 Трудоемкость контрольно-измерительных операций достигает 40-50 %

от общей трудоемкости изготовления компонентов РЭА, в частности, ин-

тегральных микросхем, и становится очевидным, что уровень качества и

объем производства во многом определяется уровнем развития средств из-

мерения и контроля. Применительно к производству компонент РЭА конт-

роль - это проверка соответствия параметров технологических процессов,

которые определяют качество готовой продукции, а также структур, крис-

таллов, техническим требованиям. В зависимости от стадий жизни компо-

 - 86 -

нентов (производство, хранение, эксплуатация) различают производствен-

ный контроль (контроль производственного процесса и его результатов на

стадии изготовления) и эксплуатационный контроль (контроль на стадии

эксплуатации).

 Производственный контроль включает в себя:

 - контроль технологических процессов (технологических сред, режи-

мов, параметров процессов, в том числе входной контроль исходных мате-

риалов, используемых в производственном процессе);

 - операционный контроль продукции или процесса во время выполне-

ния или после завершения определенной операции;

 - приемочный контроль готовой продукции (так называемый финишный

контроль).

 Учитывая, что производство компонентов является в большинстве

своем массовым, очевидно, что операции контроля их параметров должны

осуществляться с высоким быстродействием, что возможно только в случае

использования автоматических средств контроля.

 Анализ технологического процесса позволяет представить реальный

объем и степень необходимости измерительной информации, необходимой

для его реализации.

 Из многочисленных контрольно-измерительных операций значительная

их часть выполняется оператором визуально, с помощью микроскопа, что

приводит к субъективности полученной оценки результата контроля при

весьма низкой производительности труда. Решение проблемы автоматизации

визуального контроля является одной из актуальнейших задач во всем ми-

ре. Данный вид контрольно-измерительных операций является наиболее уз-

ким местом и не позволяет решить вопрос создания автоматизированного

производства компонентов РЭА, в частности интегральных схем.

 Задача финишного контроля - проведение испытаний изготовленных

компонентов на их соответствие требованиям как по электрическим, так и

по эксплуатационным параметрам. Все виды испытаний можно разделить на

механические, климатические, электрические , испытания на герметич-

ность, на безотказность и долговечность (электротермотренировка). Из

всех операций финишного контроля наиболее сложной является задача

контроля электрических параметров интегральных схем. Проблема контроля

цифровых интегральных схем заключается в необходимости проведения ог-

ромного количества контрольных тестов, которое неимоверно возрастает с

повышением степени интеграции БИС. В настоящее время практически не-

возможно проверить БИС оперативных запоминающихся устройств и микроп-

роцессоров во всех возможных режимах работы. В связи с этим ведутся

активные поиски методов эффективного контроля цифровых БИС, в частнос-

ти, методов стохастического контроля, обеспечивающих достаточно высо-

кую достоверность контроля за приемлемый отрезок времени.

 Другой проблемой контроля является контроль их динамических пара-

метров, так как в этом случае возникает необходимость измерения малых

временных отрезков при большой тактовой частоте. Контроль таких вели-

чин создает большие схемотехнические и конструктивные трудности.

 Трудность контроля аналоговых ИС заключается в необходимости сов-

мещения высокочастотных измерений аналоговых величин с одновременно

высоким быстродействием (при контроле динамических параметров).

 К технологическим средам относятся технологические газы (азот,

аргон, кислород, сжатый воздух), деионизированная вода. Контролируемы-

ми являются следующие примеси: кислород в восстановительной и нейт-

ральной средах, водород в окислительной и нейтральных средах, пары во-

ды во всех средах, частицы масла во всех средах, удельное сопротивле-

ние деионизированной воды.

 Под микроклиматом как технологической средой, участвующей в изго-

товлении микросхем, подразумевается атмосферный воздух, в котором на-

ходятся пластины как в процессе проведения технологических операций

 - 87 -

(например, операции контроля), так и между ними. Определяющими пара-

метрами микроклимата являются запыленность, температура, относительная

влажность воздушной среды, а также скорость ламинарных воздушных пото-

ков.

 Структурные схемы информационно-измерительных систем (ИИС). Ин-

формационно-измерительные системы (ИИС) предназначены для автоматичес-

кого получения количественной информации непосредственно от изучаемого

объекта путем процедур измерения и контроля, обработки этой информации

и выдачи ее в виде совокупности чисел, графиков и т.д. В ИИС объединя-

ются технические средства, начиная от датчиков и кончая устройствами

выдачи информации, а также программное обеспечение, необходимое для

управления работой собственно системы и позволяющее решать в ИИС изме-

рительные и вычислительные задачи.

 В настоящее время ИИС - это в основном информационно-вычислитель-

ные комплексы, в которых осуществляется полный замкнутый цикл обраще-

ния информации - от получения измерительной информации об объекте до

ее обработки, принятия соответствующих решений и выдачи команд управ-

ления на объект без участия оператора. В состав таких систем входят

универсальные или специализированные ЭВМ. Их применение позволяет об-

рабатывать огромные массивы измерительной информации. Алгоритм работы

таких систем программно-управляемый, легко перестраивается при измене-

ниях режимов работы или условий эксплуатации объекта.

 Качественно новые возможности при создании и эксплуатации ИИС бы-

ли получены при применении стандартных цифровых интерфейсов и промыш-

ленных функциональных блоков, совместимых между собой по информацион-

ным, метрологическим, энергетическим и конструктивным характеристикам.

 Структура, характеристики и конструктивные особенности ИИС опре-

деляются областью ее применения. Так, например, ИИС для контроля и уп-

равления параметрами технологических сред и микроклимата характеризу-

ется большим количеством объектов контроля, расположенных на значи-

тельном расстоянии друг от друга. Это обстоятельство делает необходи-

мым реализацию ИИС по децентрализованному принципу, когда конструктив-

но ИИС рассредоточена, т.е. отдельные ее части (устройства согласова-

ния) максимально приближены к источникам информации (датчикам) с целью

минимизации потерь измерительной информации. С другой стороны, учиты-

вая сравнительно медленное изменение во времени контролируемых пара-

метров, к ИИС не предъявляют высоких требований по быстродействию. В

отличие от этого, ИИС для контроля электрических параметров должны об-

ладать максимально возможным быстродействием и конструктивно выполнены

по централизованному принципу.

 Основные компоненты ИИС. Наиболее типовыми компонентами ИИС явля-

ются измерительные преобразователи (ИП), устройства согласования (ЦАП,

АЦП и др.), устройства сопряжения (интерфейсы), устройства обработки

измерительной информации (микроЭВМ и микропроцессоры), устройства ин-

дикации и регистрации.

 Измерительные преобразователи. В соответствии с ГОСТ 16263 " Мет-

рология. Термины и определения", измерительным преобразователем назы-

вается средство для выработки сигнала измерительной информации в фор-

ме, удобной для передачи, дальнейшего преобразования, обработки и

(или) хранения, но не поддающейся непосредственному восприятию наблю-

дателя. ИП имеет нормированные метрологические характеристики. Измери-

тельный преобразователь отличается от измерительного прибора тем, что

последний вырабатывает выходной сигнал в форме, доступной для непос-

редственного восприятия наблюдателем значения измеряемой физической

величины.

 Совокупность ИП, обеспечивающих осуществление всех заданных пре-

образований измерительного сигнала с целью получения конечного резуль-

тата, составляет измерительную цепь (измерительный канал). В такую

 - 88 -

цепь помимо ИП могут входить различные измерительные устройства для

проведения таких операций, как сравнение, масштабирование и др., не

имеющие отдельно нормированных метрологических характеристик.

 Первый в измерительной цепи преобразователь, на который поступает

от объекта исследования первичный измерительный сигнал, получил назва-

ние первичного измерительного преобразователя (ПП). Ранее такой преоб-

разователь назывался датчиком. В данный момент под датчиком понимается

техническое средство, представляющее собой конструктивно завершенное

устройство, размещаемое в процессе измерения непосредственно в зоне

объекта исследования и выполняющее функцию одного или нескольких изме-

рительных преобразователей. В отличие от первичного преобразователя

все остальные ИП называются промежуточными или вторичными (ПрП). Пос-

ледний в измерительной цепи преобразователь называется выходным (ВП).

Выходной преобразователь в автономном измерительном приборе снабжен

отсчетным или регистрирующим устройством. В системах контроля и управ-

ления сигнал ВП используется для ввода информации в вычислительное или

управляющее устройство, поэтому в большинстве случаев он должен иметь

цифровую форму представления, что достигается, как правило, с помощью

аналого-цифровых преобразователей.

 Аналого-цифровые, цифро-аналоговые преобразователи. Существует

три разновидности исполнения ЦАП, АЦП: модульное, гибридное и интег-

ральное; при этом доля производства интегральных схем ЦАП, АЦП в общем

объеме выпуска непрерывно возрастает, чему в значительной степени спо-

собствует распространение микропроцессорной техники и методов цифровой

обработки данных.

 ЦАП - устройство, которое создает на выходе аналоговый сигнал

(напряжение или ток), пропорциональный входному цифровому сигналу. Ко-

личественная связь между входной числовой величиной N 4i 0 и ее аналоговым

эквивалентом A 4i 0, характеризующая алгоритм цифро-аналогового преобразо-

вания: N 4i 0=(A 4i 0+dA 4i 0)/ 7d 0A (79), где  7d 0A - аналоговый эквивалент единицы

младшего разряда кода; dA 4i 0 - погрешность преобразования при входном

цифровом сигнале N 4вх 0=N 4i 0.

 АЦП представляет собой устройство для преобразования непрерывно

изменяющихся во времени аналоговых величин в эквивалентные значения

числовых кодов. Количественная связь между входной аналоговой величи-

ной A 4i 0 и соответствующей ей цифровой выходной величиной N 4i 0 имеет вид

A 4i 0=N 4i 0dA+dA 4i 0 (80), где dA - шаг квантования, т.е. аналоговый эквивалент

единицы младшего разряда кода; dA 4i 0- погрешность преобразования в дан-

ной точке характеристики.

 Как правило, в ЦАП, АЦП используется двоичная система кодирова-

ния. При этом старший (1-й) разряд равен половине полной шкалы, 2-й

разряд - четверти полной шкалы и т.д.

 ЦАП строятся в основном по принципу параллельного преобразования

на основе резистивных матриц различной конфигурации (матрицы R-2R,

матрицы с двоично-взвешенными резисторами R 4i 0=R\*2 5i 0 (81) и др.) и перек-

лючателей тока, обладают более высокими быстродействием, точностью и

технологичностью изготовления в микроэлектронном исполнении.

 При построении АЦП в настоящее время используется в основном один

из трех принципов: параллельного преобразования, последовательных

приближений, интегрирования входного сигнала с дискретными уровнями,

определяемыми выражением n=2 5b 0-1 (82), где b - число двоичных разрядов

АЦП.

 АЦП последовательного приближения обладают сравнительно высоким

быстродействием и высокой разрядностью. Интегрирующие АЦП имеют низкое

быстродействие, но обеспечивают высокую помехозащищенность, поэтому

используются в ИИС и измерительных преобразователях, где требуется вы-

сокая точность при воздействии различного рода помех и шумов. В насто-

ящее время отечественная промышленность выпускает ЦАП и АЦП в интег-

 - 89 -

ральном исполнении всех перечисленных выше типов.

 Устройства сопряжения (интерфейсы). Устройства сопряжения (интер-

фейсы) обеспечивают совместное действие всех аналоговых, цифровых и

аналого-цифровых функциональных блоков. Под стандартным интерфейсом

подразумевается совокупность правил (протоколов) и программного обес-

печения процесса обмена информацией между функциональными блоками, а

также соответствующих технических средств сопряжения в системе. В нас-

тоящее время достаточно полно разработаны лишь цифровые интерфейсы,

обеспечивающие совместную работу цифровых функциональных блоков и циф-

ровых частей аналоговых и аналого-цифровых функциональных блоков.

 В простых измерительных системах функциональные блоки, как прави-

ло, образуют каскадные соединения, характеризующиеся тем, что информа-

ционный поток проходит последовательно через все блоки. В таком вклю-

чении интерфейс получил название каскадного.

 К устройству обработки измерительной информации - центральному

процессору можно подключать несколько функциональных блоков.

 У нас в основном получили распространение интерфейсы МЭК и КАМАК.

Для первого из них соединение функциональных блоков между собой осу-

ществляется через многопроводный канал общего пользования общей длиной

не более 20 метров. Число функциональных блоков не должно превышать 15

при общем числе адресов приемников и передатчиков информации не более

31 при однобайтовой адресации и 961 при двухбайтовой.

 Основными особенностями системы КАМАК являются:

 - модульный принцип распространения, обеспечивающий возможность

создания агрегатных комплексов;

 - конструктивная однородность системы, достигаемая унификацией

несущих конструкций для размещения функциональных блоков;

 - магистральная структура информационных связей между функцио-

нальными блоками;

 - широкое применение принципов программного управления, обеспечи-

вающих гибкость реализуемых системой алгоритмов.

 Основу системы КАМАК составляет модуль - конструктивно завершен-

ное устройство, предназначенное для выполнения функций преобразования,

накопления, обработки информации, но не содержащее источников питания.

Модули размещаются в едином конструктиве, который называется крейт.

 Микропроцессоры и микроЭВМ. Микропроцессор и микроЭВМ - централь-

ная часть любой электронной системы управления и обработки информаци-

онных сигналов. Микропроцессор (МП) в системе управления должен быть

сориентирован на обработку потока входных и выходных сигналов.

 Устройства отображения и регистрации информации. Для представле-

ния накопленной информации в процессе измерений и обработки информации

в наиболее удобную для восприятия и оценки форму в состав ИИС входят

различные средства отображения и регистрации информации, которые можно

подразделить на устройства визуального воспроизведения информации и

документирующие устройства. Среди устройств визуального восприятия на-

иболее распространены цифровые индикаторы и дисплеи на электронно-лу-

чевых трубках.

 Устройства регистрации информации обеспечивают ее перенос на ка-

кой-либо долговременный носитель (бумагу, магнитную ленту, магнитный

диск и т.д.). Запись может осуществляться либо в цифровой форме, с

различными кодовыми представлениями, либо в аналоговой форме в виде

графиков, гистограмм и т.д. Классификация устройств документальной ре-

гистрации информации чаще всего производится по форме представления

полученных документов двумя группами: для непосредственного восприятия

оператором и для последующей машинной обработки. К устройствам регист-

рации информации для непосредственного восприятия оператором относятся

самопишущие автопотенциометры, планшетные самописцы и графопостроите-

ли. Для регистрации цифровых сигналов широкое применение нашли алфа-

 - 90 -

витно-цифровые печатающие устройства (АЦПУ).

 3.2. Типы погрешностей.

 Характеристики действующих факторов.

 Причины возникновения производственных погрешностей многочисленны

и многообразны. К ним можно отнести дефекты оборудования, колебания

технологических режимов при обработке деталей, погрешности измеритель-

ных систем. На законы распределения производственных погрешностей су-

щественно влияют условия их возникновения. Поскольку производственные

погрешности могут иметь как систематический, так и случайный характер,

для определения законов их распределения необходимо иметь сведения о

том, сохранились ли условия изготовления РЭА постоянными, рассматрива-

ются ли погрешности для отдельной партии или в общей массе, при смеше-

нии партий, рассматривается ли вся партия или только выборка.

 Производственный процесс, в котором все производственные погреш-

ности случайны, принято называть устойчивым, стабильным процессом.

Исследование его закономерностей осуществляется методами математичес-

кой статистики. Однако, в реальных технологических процессах, наряду с

факторами, вызывающими случайные погрешности, могут иметь место и сис-

тематически действующие факторы.

 Будем полагать, что имеют место следующие условия возникновения

погрешностей:

 1. Производственная погрешность представляет собой сумму частных

погрешностей, которые вызываются действием большого числа случайных и

некоторого числа систематических первичных факторов.

 2. Число случайных факторов и параметры вызванных ими частных

погрешностей не изменяются во времени.

 3. Среди частных погрешностей нет доминирующих, т.е. все случай-

ные факторы по своему влиянию на общую погрешность составляют величины

одного порядка.

 4. Все случайные факторы взаимно независимы, что является харак-

терным для тех случаев, когда рабочий не имеет возможности влиять на

работу оборудования в процессе изготовления деталей, т.е. при автома-

тически работающем оборудовании.

 5. Для всех экземпляров деталей остаются одинаковыми как число

систематических факторов, так и значения вызванных ими погрешностей.

 Погрешности, возникающие при описанных выше условиях, распределя-

ются по закону Гаусса, который также называют законом нормального

распределения или нормальной кривой.

 Практика показывает, что в устойчивых, стабильных технологических

процессах производства РЭА производственные погрешности распределяются

нормально. Поэтому такое распределение можно считать основным, особен-

но для автоматизированных технологических процессов, в которых устра-

нены все систематические факторы, вызывающие погрешности. Кривая расп-

ределения погрешностей является своего рода индикаторной диаграммой ТП

и, таким образом, позволяет дать оценку его качества.

 Другими словами, кривая распределения погрешностей позволяет су-

дить о стабильности технологического процесса, фиксировать его наруше-

ния, дает представления о влиянии технологических изменений, а также в

ряде случаев позволяет устанавливать причины нарушений процесса. Вмес-

те с тем, пользуясь кривой распределения погрешностей, можно опреде-

лить количество возможного брака и соответствие между назначенным до-

пуском и точностными возможностями оборудования. При этом, для обеспе-

чения заданного допуска в условиях производства необходимо, чтобы поле

рассеяния производственных погрешностей не выходило за границы поля

допуска, в противном случае часть деталей пойдет в брак, исправимый

или нет.

 - 91 -

 Отсюда вытекает основное требование к настройке оборудования -

центр группирования производственных погрешностей деталей должен рас-

полагаться как можно ближе к середине доля допуска.

 Метрологические характеристики ИИС являются функциями структуры

ИИС, алгоритма ее работы, метрологических характеристик входящих в нее

измерительных преобразователей. Основными метрологическими характерис-

тиками ИИС и их компонентами являются статическая характеристика пре-

образования, коэффициент преобразования, суммарная погрешность преоб-

разования, динамические характеристики (передаточная функция, переход-

ная, импульсная, амплитудно-фазовая), время окончания переходных про-

цессов в измерительном канале, а также суммарное время выполнения из-

мерительных, вычислительных и логических процедур. Кроме того, могут

нормироваться входные и выходные полные сопротивления ИИС для электри-

ческих величин и другие характеристики, специфические для каждой конк-

ретной ИИС. При этом следует отметить, что все эти характеристики не

являются обобщающими параметрами ИИС, поэтому нормированию в ИИС под-

лежат метрологические характеристики измерительных каналов.

 Среди перечисленных метрологических характеристик одной из наибо-

лее важных является погрешность измерения (преобразования).

 Погрешность - отклонение выходной величины от истинного значения

вследствие изменения внутренних свойств элемента или внешних условий

работы. Погрешность может иметь различные названия, в зависимости от

причин, вызывающих ее (температурная, частотная, колебания напряжения

питания, нестабильность (из-за изменения параметров с течением време-

ни) и т.п.).

 Погрешности ИИС, также как и погрешности отдельных измерительных

устройств, можно подразделить на методические и инструментальные, ос-

новные и дополнительные, аддитивные и мультипликативные, систематичес-

кие и случайные, абсолютные, относительные и приведенные относитель-

ные.

 Систематическая и случайные погрешности. Практически результат

измерения всегда содержит как систематическую D 4с 0, так и случайную D 4сл

составляющие погрешности, поэтому в общем случае результат измерения

(преобразования) в ИИС является величиной случайной. При этом система-

тическая составляющая погрешности является математическим ожиданием

этой величины, а случайная - центрированной случайной величиной. Сис-

тематические погрешности возникают из-за несовершенства выбранных ме-

тодов измерения, технических средств измерения и субъективных особен-

ностей экспериментатора. Случайные погрешности являются следствием не-

выясненных случайных причин. Поэтому для их количественной оценки при-

меняют математический аппарат теории вероятностей и математической

статистики. Наиболее полно случайные погрешности могут быть оценены,

например, их функцией распределения. При этом для выяснения закона

распределения случайных погрешностей обращаются к многократным наблю-

дениям с последующей обработкой полученного материала. Заметим, что

такой подход правомерен только в том случае, когда распределения наб-

людений обладают статистической устойчивостью, т.е. выявляемая законо-

мерность в изменении случайной погрешности на самом деле существует.

 Теоретическая функция распределения погрешностей не совпадает с

практически наблюдаемой, поэтому оценка степени их соответствия осу-

ществляется с помощью критериев согласия.

 Методические погрешности - погрешности, получаемые за счет несо-

вершенства метода измерения, связанные либо со сложностью измерения

данной величины, либо с использованием косвенных измерений, позволяю-

щих по другой физической величине оценивать искомую. Они относятся к

систематическим погрешностям.

 Инструментальные погрешности связаны с несовершенством измери-

тельных приборов, обусловлены зоной нечувствительности, наличием нели-

 - 92 -

нейности в изменении измеряемой величины и линейности шкалы измерения

и т.п.

 Основная погрешность - это погрешность первичного преобразователя

(датчика) измерительной системы в нормальных условиях измерения, до-

полнительная погрешность - это погрешность, обусловленная остальными

компонентами измерительной цепи или "ненормальными" условиями измере-

ния.

 Аддитивная погрешность - погрешность, которая суммируется с ос-

новной погрешностью, мультипликативная - умножается на основную пог-

решность.

 Абсолютная погрешность равна  7D 0y=y'-y (83), где y' - значение вы-

ходной величины, а y - ее градуировочное значение. Относительная пог-

решность (%) равна:  7d 0y=( 7D 0y/y)\*100 (84). Приведенная относительная пог-

решность (%) равна:  7d 0y 4пр 0=( 7D 0y/y 4max 0)\*100 (85), где y 4max 0 - максимальное

значение выходной величины, определяющее диапазон ее изменения. С уче-

том сказанного в общем случае результирующая абсолютная погрешность

измерения ИИС определяется формулой  7D 4сум 0= 7D 4с 0+ 7D 4сл 0 (86).

 По характеру возникновения погрешности бывают конструктивные, ко-

торые возникают при проектировании из-за недостаточно точного учета

условий эксплуатации РЭА и неоптимальной проработки конструкции аппа-

ратуры и ее испытания, и производственные, возникающие в процессе из-

готовления изделия. Это происходит в основном из-за нарушения техноло-

гии производства. Кроме того, они возникают из-за нестабильности само-

го процесса производства и характеристик применяемых материалов и

из-за несовершенства существующих систем измерения.

 Характеристика факторов, обуславливающих погрешности измерения.

Методы определения  7D 4сум 0 зависят от того, в какой форме заданы погреш-

ности отдельных звеньев, заданы ли их законы распределения или заданы

только некоторые числовые характеристики составляющих погрешности. В

том случае, если известны законы распределения погрешностей отдельных

звеньев и система линейна, задача может быть решена с помощью метода

свертки следующим образом. Пусть, например, e 41 0 и e 42 0 - случайные функ-

ции погрешности двух соседних звеньев, а f(e 41 0), f(e 42 0) - их плотности

распределения. Когда эти погрешности независимы, закон распределения

суммарной погрешности e 41,2 0 этих двух звеньев находится с помощью

свертки исходных плотностей:

 + 7$

f(e 41 0,e 42 0)= 73 0f(e 41 0)\*f(e 41,2 0-e 41 0)de 41 0 (87).

 - 7$

 Применяя последовательно операцию свертки n-1 раз, где n - коли-

чество звеньев в измерительной цепи, получаем закон распределения пол-

ной (результирующей) погрешности. Однако, решение данного уравнения не

всегда возможно. Поэтому при определении полной погрешности получили

широкое применение методы математического моделирования, в частности,

метод статистических испытаний. В этом случае законы распределения

случайных составляющих погрешности отдельных звеньев формируются с по-

мощью специальных генераторов или программным путем. Осуществляя мно-

гократный перебор случайных сочетаний значений отдельных составляющих

погрешностей и определяя каждый раз полную погрешность, можно по ре-

зультатам испытаний воспроизвести закон распределения полной погреш-

ности.

 Определение полной погрешности в тех случаях, когда составляющие

погрешности заданы в виде некоторых числовых характеристик, можно осу-

ществить следующим образом. Если отдельные звенья ИИС охарактеризованы

экстремальными погрешностями, то полная погрешность определяется прос-

тым суммированием этих погрешностей. Однако, вполне очевидно, что та-

кое значение полной погрешности может быть существенно завышено. Если

составляющие погрешности отдельных звеньев заданы интегральными оцен-

 - 93 -

ками или доверительными интервалами и вероятностями, то полная систе-

матическая погрешность многозвенного линейного измерительного канала

находится суммированием систематических погрешностей отдельных узлов,

а дисперсия случайной погрешности при условии некоррелированности пог-

решностей отдельных звеньев - как сумма дисперсий погрешностей звень-

ев.

 В том случае, когда погрешности некоторых звеньев коррелированы

между собой, к сумме дисперсий добавляются удвоенные корреляционные

моменты соответствующих погрешностей. При суммировании вводятся весо-

вые коэффициенты, зависящие от схемы включения звеньев и определяемые

как частные производные от выходной величины измерительного канала по

величине на входе данного звена. В том случае, если заданы не диспер-

сии случайных составляющих погрешностей отдельных звеньев, а их дове-

рительные интервалы, для определения полной погрешности необходимо

знание законов распределения отдельных составляющих погрешностей. В

этом случае по известным законам распределения, доверительным интерва-

лам и вероятностям можно найти дисперсии погрешностей отдельных звень-

ев, а затем полученные дисперсии суммировать.

 Из анализа приведенных выше структур ИИС можно заключить, что ос-

новные составляющие погрешности измерительного канала обусловлены пог-

решностями первичных измерительных преобразователей (датчиков), пог-

решностями аналого-цифровых преобразователей и мультиплексоров (комму-

таторов) аналоговых сигналов.

 3.3. Основные понятия теории вероятности.

 Нормальное распределение, математическое ожидание,

 дисперсия, среднеквадратическое отклонение.

 Доверительный интервал.

 Методы проверки гипотез о распределении.

 Предметом теории вероятности является математический анализ слу-

чайных явлений, т.е. таких эмпирических феноменов, которые, при опре-

деленном комплексе условий, могут быть охарактеризованы тем, что для

них отсутствует детерминистическая регулярность (наблюдения за ними не

всегда приводят к одним и тем же результатам) и в то же время они об-

ладают некоторой статистической регулярностью (проявляющейся в статис-

тической устойчивости частот).

 Смысл статистической устойчивости частот заключается в том, что,

если результаты отдельных наблюдений носят нерегулярный характер, то

большое количество экспериментов позволяют получить некоторые законо-

мерности, связанные с этими экспериментами. Статистическая устойчи-

вость частот делает весьма правдоподобной гипотезу о возможности коли-

чественной оценки "случайности" того или другого события А, осущест-

вляемого в результате экспериментов. Исходя из этого, теория вероят-

ности постулирует существование у события А определенной числовой ха-

рактеристики Р(А), называемой вероятностью этого события, естественное

свойство которой должно состоять в том, что с ростом числа "независи-

мых" испытаний (экспериментов) частота появления события А должна

приближаться к Р(А).

 Частотой события называется отношение числа его появлений к числу

произведенных опытов. Таким образом, если в n опытах событие А появи-

лось m раз, то его частота равна m/n. lim(m/n)=P(A).

 n 76$

 Предположим, что в результате n опытов случайная величина Х при-

няла значения х 41 0,х 42 0,...,х 4n 0, тогда выборочное среднее определяется фор-

мулой:  4n 0  4n

 х 4ср 0=( 7S 0x 4i 0)/n; lim(x 4ср 0)=M(X); d 5\* 0=( 7S 0(x 4i 0-х 4ср 0) 52 0)/n; lim(d 5\* 0)=D(X); где

  5i=1 0 n 76$ 0  5i=1 0 n 76$

 - 94 -

M(X) - математическое ожидание величины Х; d 5\* 0 - выборочная дисперсия

величины Х; D(X) - дисперсия величины Х, корень квадратный из диспер-

сии называется среднеквадратическим отклонением величины Х.

 Большое значение в теории вероятности, особенно при обработке ре-

зультатов экспериментов играет распределение Гаусса (нормальное расп-

ределение, нормальный закон, нормальная кривая, закон Гаусса), оно ха-

рактеризуется двумя параметрами: m 4x 0 - математическим ожиданием и s 4x 0 -

среднеквадратическим отклонением, которые полностью определяют все его

характеристики. При m 4x 0=0, s 4x 0=1 f(x)=(2 7p 0) 5-1/2 0exp{-x 52 0/2 } (88) нормаль-

ная кривая называется нормированной.

──────────────────────────────────────────────────────────────────────

 f(x)

 m 4x 0=0 . m 4x 0=0 . . m 4x 0=1 s 4x 0=2

 s 4x 0=2. /|\. s 4x 0=1. .

 . . | . . / \

 . . | . / . \

 . .. . . . .|../. . . . . .

 \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_0\_|\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_1\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ x

 Рис. 12. Примеры нормального распределения.

──────────────────────────────────────────────────────────────────────

 Как показывает практика, такое распределение характерно для расп-

ределения погрешностей устойчивых, стабильных технологических процес-

сов производства РЭА.

 Любая функция результатов опытов, которая не зависит от неизвест-

ных статистических характеристик, называется статистикой. Оценкой ста-

тистической характеристики Q называется статистика, реализация кото-

рой, полученная в результате опытов, принимается за неизвестное истин-

ное значение параметра Q. Оценка называется состоятельной, если она

сходится по вероятности к Q при неограниченном увеличении числа опытов

n. Чтобы оценка была состоятельной, достаточно, чтобы ее дисперсия

стремилась к нулю при неограниченном увеличении числа опытов n.

 Случайный интервал, полностью определяемый результатами опытов и

независящий от неизвестных характеристик, который с заданной вероят-

ностью а накрывает неизвестную скалярную статистическую характеристику

Q, называется доверительным интервалом для этой характеристики, соот-

ветствующим коэффициенту доверия а. Величина 1-а называется уровнем

значимости отклонения оценки. Концы доверительного интервала называют-

ся доверительными границами.

 Как показывает практика, распределение случайной величины невоз-

можно точно определить по результатам опытов. Полученные эксперимен-

тальные результаты дают возможность только строить различные гипотезы

о распределении случайной величины, например, гипотезу о том, что она

распределена нормально. Поэтому возникает задача проверки гипотез. Эта

задача состоит в том, чтобы определить, насколько согласуется та или

иная гипотеза о распределении случайной величины с полученными экспе-

риментальными данными. Эта задача тесно связана с задачей определения

доверительных областей для плотности или функции распределения. Однако

она имеет следующие особенности. Проверяя гипотезу о нормальном расп-

ределении, по той же выборке обычно оценивают математическое ожидание

и ковариационную матрицу (дисперсию в случае одномерного распределе-

ния) случайной величины. Вследствие этого гипотетическое распределение

оказывается само случайным - функцией случайных результатов опытов.

Это и отличает задачу проверки гипотез о распределении от задачи опре-

деления доверительных областей для распределений. И только в отдельных

случаях может возникнуть задача проверки гипотезы о том, что случайная

величина подчинена вполне определенному закону распределения, не зави-

сящему от неизвестных параметров.

 Для проверки гипотез о распределении применяются различные крите-

 - 95 -

рии согласия. Наиболее удобным и универсальным критерием является кри-

терий  7c 52 0 (хи-квадрат) К.Пирсона. Он совершенно не зависит от распреде-

ления случайной величины и от ее размерности. Критерий Пирсона основан

на использовании в качестве меры отклонения экспериментальных данных

от гипотетического распределения той же величины, которая служит для

построения доверительной области для неизвестной плотности, с заменой

неизвестных истинных значений вероятностей попадания в интервалы веро-

ятностями, вычисленными по гипотетическому распределению.

 Посмотрим использование статистического метода на примере статис-

тического анализа производственных погрешностей. Данный метод анализа

позволяет устанавливать качественные взаимосвязи факторов, вызывающих

производственные погрешности, учитывать характер их влияния на суммар-

ную погрешность. Статистический анализ делят на два этапа. Первым эта-

пом является конкретный анализ исследуемого процесса, а вторым - выбор

объектов исследования, определение объема экспериментов и назначение

средств технического контроля. Средства технического контроля (измери-

тельные средства) должны выбираться такими, чтобы соотношение между

предельными погрешностями измерения и заданным допуском на определен-

ный параметр качества было порядка 1:10 и даже 1:20. Точные измери-

тельные средства назначаются для обеспечения надежности выводов. Необ-

ходимо тщательно соблюдать одни и те же условия проведения опытов и

измерений.

 Непосредственно за этими подготовительными работами следует:

 1. собственно наблюдения изучаемого узла (измерение параметров,

определение свойств и т.п.);

 2. группировка полученного при наблюдениях статистического мате-

риала;

 3. сводка результатов наблюдения и вычисление параметров распре-

деления изучаемого узла;

 4. анализ параметров распределения изучаемого узла.

 Изменение значений параметров деталей, узлов и т.д., колеблющихся

в определенных пределах, называется вариацией, а ряд значений парамет-

ров для всей партии выборки деталей - вариационным рядом. Этот ряд от-

ражает закономерность соответствующего технологического процесса. Ва-

риационный ряд, выраженный графически, позволяет получить кривую расп-

ределения производственных погрешностей параметров изучаемого узла.

 Однако, вычисление характеристик распределения погрешностей проще

и удобнее производить не по данным вариационного ряда, а по данным,

предварительно сгруппированным в интервале значений интересующего нас

параметра. Возникает необходимость перехода от вариационного к интер-

вальному ряду распределения погрешностей. По протоколу измерения пара-

метров деталей находят два значения, соответствующие максимальным

крайним отклонениям от номинала, т.е. Х 4макс 0 и Х 4мин 0. Используя эти зна-

чения, находим размах варьирования: R=Х 4макс 0-Х 4мин 0 (89). Для перехода к

интервальному ряду необходимо определить количество интервалов и их

ширину. Количество интервалов выбирают таким, чтобы на каждый интервал

в среднем приходилось не менее 10 значений из общего количества наблю-

дений исследуемого параметра, т.е. р=0,1n. Ширина интервала определя-

ется из выражения: dx=R/(0,1n -1) (90), где n - количество деталей в

исследуемой партии.

 При определении границ интервалов рекомендуется начинать ряд со

значения, величина которого на 0,5 интервала меньше Х 4мин 0 и заканчивать

ряд величиной, которая превышает Х 4макс 0 также на 0,5 интервала. Границы

и средние значения интервала распределения записываются в форме табли-

цы 5.

 Частота заполняется по данным протокола измерений с разнесением

всех частных значений исследуемого параметра по соответствующим интер-

валам. Количество значений исследуемого параметра, попавших в тот или

 - 96 -

 Таблица 5

┌────────┬────────────────────────────┬──────────────┬──────┬────────┐

│n интер-│Границы интервалов │Середина ин- │часто-│частость│

│вала │ │тервала │та mj │mj/n │

├────────┼────────────────────────────┼──────────────┼──────┼────────┤

│ 1 │Х 4мин 0-0,5dх - Х 4мин 0+0,5dх │Х 4мин 0 │ m 41 0 │ m 41 0/n │

│ 2 │Х 4мин 0+0,5dх - Х 4мин 0+1,5dх │Х 4мин 0+dх │ m 42 0 │ m 42 0/n │

│ 3 │Х 4мин 0+1,5dх - Х 4мин 0+2,5dх │Х 4мин 0+2dх │ m 43 0 │ m 43 0/n │

│........│............................│..............│......│........│

│ р │Х 4макс 0-0,5dх - Х 4макс 0+0,5dх │Х 4макс 0 │ m 4p 0 │ m 4p 0/n │

├────────┼────────────────────────────┼──────────────┼──────┼────────┤

│  7S 0 │Х 4мин 0-0,5dх - Х 4макс 0+0,5dх │(Х 4мин 0+Х 4макс 0)/2│ n │ 1 │

└────────┴────────────────────────────┴──────────────┴──────┴────────┘

иной интервал, составляет частоту m 4j 0. Соотношение m 4j 0/n называется час-

тостью и представляет собой частость значений исследуемого параметра и

определяется для каждого интервала как отношение количества и значений

интересующего нас параметра, попавших в данный интервал к общему коли-

честву значений параметра в исследуемой партии. Контроль правильности

заполнения граф по частотам и частостям производится суммированием

заключенных в них значений по всем интервалам. При этом сумма частот

должна быть равна n, а сумма частостей - единице.

 Таким образом, исходный вариационный ряд, представляющий собой

результаты измерения параметров изделий (деталей или узлов) в коли-

честве n шт., заменяют интервальным рядом распределения, включающим в

конечном счете всего р значений (по числу интервалов) варьирующего

признака.

 Для большей наглядности прибегают к графическому изображению ин-

тервальных рядов распределения в виде гистограммы или полигона. Пост-

роение интервального ряда в виде гистограммы основано на предположе-

нии, что плотность частоты (частости) остается постоянной внутри каж-

дого интервала и меняется скачками на краях интервалов. Строится гис-

тограмма следующим образом: на оси абсцисс откладываются интервалы

значений исследуемого параметра, над каждым из которых строится прямо-

угольник, площадь которого пропорциональна частоте (частости) в этом

интервале. Т.к. все интервалы имеют одинаковую ширину, то высоты пря-

моугольников оказываются пропорциональными частотами или частостями.

──────────────────────────────────────────────────────────────────────

 │ m/n X 4ср

 │<─────────────>│

 │< 1-янв-1980>┌─┼─┐

 │номинал по ┌┤ │ │

 │ ТУ ││ │ ├───┐

 │ ││ │ │ │

 │ ││ │ │ │

 │ ┌───┤│ │ │ │

 │ │ ││ │ │ │

 │ │ ││ │ │ ├──┬─┐

 │ ┌────┤ ││ │ │ │ │ │

 └┬┬─┴────┴───┴┴─┴─┴───┴──┴─┴──┬─┬─────────────── X

 0││ Х 4мин 0 Х 4макс 0 │ │

 ││<─────────────────────────>│ │

 │ поле допуска по ТУ │

 │<────────────────────────────>│

 поле отклонений

 Рис. 13. Гистограмма и полигон распределения погрешностей

──────────────────────────────────────────────────────────────────────

 Принятое выше допущение для построения гистограммы безусловно

 - 97 -

исключает реальный характер закона распределения погрешностей исследу-

емого параметра и тем сильней, чем больше длина интервала.

 Более близким к действительности является предположение о равно-

мерном изменении плотности частоты или частости от интервала к интер-

валу. Такое суждение приводит нас к необходимости изображения интер-

вальных рядов в виде полигонов распределения. Для построения полигона

необходимо из середины каждого интервала провести ординаты, высота ко-

торых пропорциональна частотам или частостям, и концы ординат соеди-

нить ломаной линией.

 Ординаты гистограмм и полигонов в более общем случае при неравных

интервалах представляют собой отрезки, пропорциональные плотности час-

тоты или частости. Что касается частот (частостей), то они изображают

площади прямоугольников на гистограмме и, следовательно, площадь тра-

пеции с ломаной вершиной на полигоне распределения погрешностей.

 На этом же графике отмечены номинал исследуемого параметра и поле

допуска относительно номинала, а также среднее значение (центр распре-

деления) и поле отклонений, представляющее собой величину  7+ 0 s 4x 0, отло-

женного относительно среднего значения. Этот график позволяет делать

многие выводы о ходе технологического процесса и качестве выпускаемой

продукции:

 - отклонение среднего значения от номинального показывает систе-

матическую погрешность настройки технологического оборудования;

 - s 4x 0 характеризует случайную составляющую погрешности и ее срав-

нение с полем допуска позволяет сделать вывод о правильности выбора

точностных характеристик используемого оборудования и необходимости их

корректировок;

 - отношение площади той части гистограммы, которая находится за

пределами поля допуска, к общей площади гистограммы позволяет оценить

долю брака в выпускаемой продукции.

 Однако, с гистограммой работать не очень удобно, ее следует апп-

роксимировать. Для этого используется метод сплайн-интерполяции, кото-

рый заключается в использовании интервальных рядов. В этом методе

функция между каждыми двумя соседними точками аппроксимируется полино-

мом третьей степени: y=ax 53 0+bx 52 0+cx+d (91), а коэффициенты a, b, c, d

выбираются так, чтобы сходящийся в каждой точке "правый" и "левый" по-

лином имели равные первую и вторую производные. Другими словами, поли-

номы на отрезке [X 4мин 0,X 4макс 0] "сшиваются" по двум производным; в ре-

зультате получается единая гладкая кривая. Однако эта кривая еще не

является аппроксимацией функции плотности вероятности, поскольку еще

не выполнено условие нормирования. Поэтому следующим этапом является

вычисление интеграла:

 Х 4макс 0-dx/2

 J= 73 0f(x)dx (92)

 X 4мин 0+dx/2

Если после вычисления произвести деление f(x) на J: w 5\* 0(x)=f(x)/J (93),

то полученная функция будет иметь интеграл в в указанных пределах ин-

тегрирования равный единице и поэтому функция будет аппроксимировать

действительную плотность вероятности на отрезке, ограниченном пределом

интегрирования.

 В качестве примера рассмотрим технологический процесс производс-

тва типовых элементов замены (ТЭЗов). Основным параметром, характери-

зующим качество, будем считать время наработки на отказ t 4o 0 в условиях

механических воздействий, которое, согласно техническим условиям, не

должно быть меньше t 4отмин 0. Следует решить задачу о серийнопригодности,

при этом, процент выхода годных ТЭЗов должен быть равен 90%. Решение

сводится к вычислению интеграла  7$

 J= 73 0w(t 4o 0)dt 4от 0 (94),

 t 4отмин

 - 98 -

где w(t 4о 0) - функция плотности вероятности отказов. Если J>0,9, делает-

ся вывод о серийнопригодности ТЭЗа. Если нет, то можно предпринять

следующие корректирующие действия:

 1. Можно снизить требование к проценту выхода годных, однако, как

следствие, возрастет стоимость продукции, поэтому такая мера приемлема

только в условиях мелкосерийного производства.

 2. В крупносерийном или массовом производстве следует произвести

регулировку и настройку технологического оборудования, либо замену его

части с целью уточнения параметров технологического процесса; при этом

должен увеличиваться процент выхода годных.

 3. Если нет возможности произвести замену оборудования, а сущест-

вующее не позволяет более точно поддерживать параметры технологических

процессов, следует направить проект на доработку, чтобы с помощью но-

вых конструктивных решений, замены элементной базы и др. решений повы-

сить механическую прочность ТЭЗа.

 В качестве другого примера использования аппарата теории вероят-

ности рассмотрим статистическое регулирование технологических процес-

сов по альтернативному признаку.

 Статистическое регулирование ТП, корректировка его параметров в

ходе производства с помощью выборочного контроля качества изготавлива-

емой продукции производится с целью технологического обеспечения тре-

буемого качества и предупреждения брака. Оно предусматривает своевре-

менность установления нормального состояния ТП по ограниченному числу

наблюдений с немедленным принятием мер по приведению ТП в надлежащее

состояние. Однако, ТП должен быть устойчивым, поддающимся регулирова-

нию и обеспечивающим заданный показатель качества продукции.

 Поэтому перед применением статистических методов регулирования ТП

проводится тщательное изучение, анализ его с целью выявления причин,

изменяющих показатель качества продукции, определения статистических

закономерностей процесса, их числовых значений, а в случае необходи-

мости также и изучение его для достижения нужной устойчивости и обес-

печения необходимого уровня качества продукции. В массовом и крупносе-

рийном производстве применение упрощенных статистических методов регу-

лирования не дает достаточно достоверных результатов, поэтому при та-

ком производстве рекомендуется применять метод статистического регули-

рования по альтернативному признаку.

 Альтернативный метод - это контроль качества, при котором единицы

продукции делятся на две группы - годные и дефектные, а решение о

контролируемой совокупности принимается в зависимости от числа дефект-

ных единиц продукции, обнаруженных в выборке. Выборка - это определен-

ное количество единиц штучной продукции, взятых из исследуемой сово-

купности в определенном объеме.

 Объем выборки (количество единиц штучной продукции), период отбо-

ра (время между очередными выборками или пробами из потока продукции),

уровень регулирования (ограничивающий допустимые отклонения уровня ка-

чества в выборках или пробах) определяются на основе данных статисти-

ческого анализа ТП и требований надежности к качеству проверки продук-

ции методами математической статистики.

 Расчет проводится на основе приемочного уровня качества продукции

(т.е. такого, при котором имеется относительно низкая вероятность при-

емки дефектной партии продукции), браковочного уровня качества (т.е.

такого, при котором относительно низка вероятность забраковки годной

партии продукции), а также риска излишней настройки (вероятность того,

что по статистической оценке будет принято решение проводить очередную

настройку, в то время как в ней нет необходимости) и риска незамечен-

ной разладки (вероятность того, что по статистической оценке будет

принято решение не проводить настройку, в то время как в действитель-

ности она необходима).

 - 99 -

 Составляется контрольная карта для графического отображения изме-

нения уровня качества, в которую заносятся значения статистических ха-

рактеристик очередных выборок или проб и уровня регулирования в виде

линии, ограничивающей допустимые отклонения качества в выборках или

пробах. При выходе качества выборки за пределы границ требуется регу-

лирование ТП.

 Имеется несколько методов статистического регулирования ТП по

альтернативному принципу. Это методы учета доли дефектности, числа де-

фектности, числа дефектных единиц, среднего числа дефектов на единицу

продукции и др.

 Метод доли дефектности основан на определении отношения числа де-

фектных единиц продукции к общему числу проверенных в выборке единиц.

Он лучше других тем, что объем выборки при этом методе необязательно

должен быть одинаковым в каждой выборке, а может в определенных преде-

лах изменяться от одной выборки к другой к другой в случае необходи-

мости.

 Предварительное изучение ТП проводится с целью выявления причин,

изменяющих показатель качества и определения устойчивости, стабильнос-

ти процесса, составления норм и правил статистического регулирования

ТП. Во время изучения ТП необходимо фиксировать наладки процесса, ме-

роприятия по поддержанию его в надлежащем состоянии. Результаты наблю-

дения по дефектностям изделий заносятся в контрольную карту. Продолжи-

тельность проведения исследования ТП должна охватить несколько перио-

дов между его наладками.

 С целью определения устойчивости и других параметров ТП после

каждой настройки проводится сплошной контроль между выборками. Из по-

лученного материала определяются следующие параметры. Доля брака (де-

фектности) между двумя последовательными дефектными единицами p 4i 0=1/t 4i

(95), где t 4i 0- интервал между двумя дефектными единицами продукции (в

единицах продукции или времени). Среднее значение интервалов между

двумя последовательными дефектными единицами

 m

t 4c 0=1/m 7S 0t 4i 0 (96), где m - количество интервалов, в которых произведен

 i=1

сплошной контроль изделий. Среднее квадратичное отклонение интервалов

между двумя дефектными единицами m

 s 4y 0=[1/(m-1) 7S 0(t 4i 0-t 4c 0) 52 0] 51/2 0 (97)

 i=1

Среднее значение доли брака (дефектности) m

 P 4c 0=1/m 7S 0p 4i 0 (98)

 i=1

Среднее квадратичное отклонение доли брака (для биноминального распре-

деления) S(p)=[P 4c 0(1-P 4c 0)] 51/2 0 (99). По расчетным данным строится кривая

p 4i 0=f(t 4i 0), т.е. изменение доли дефектности в зависимости от номера ин-

тервалов. Оценивается стабильность процесса.

 Приемочный уровень качества Р 4о 0, который определяется исходя из

соотношения затрат на контроль одного изделия в процессе статистичес-

кой проверки к потерям от каждого дефектного изделия С 4о 0 в соответствии

с табл. 6.

 Чтобы определить целесообразность введения статистического регу-

лирования ТП, приемочный уровень качества Р 4о 0 сравнивается со средним

значением входного уровня качества Р 4вх 0 (Р 4вх 7` 0Р 4с 0). Входной уровень ка-

чества Р 4вх 0 представляет собой соотношение количества дефектных изделий

к общему количеству проверенных изделий: Р 4вх 0=n 4д 0/n (100), где n 4д 0 - ко-

личество дефектных изделий, n - общее количество проверенных изделий.

Здесь может быть несколько случаев:

 - Р 4вх 7< 0Р 4о 0, тогда статистическое регулирование нецелесообразно;

 - Р 4вх 7> 0Р 4о 0, тогда необходимы частые наладки процесса и нужно его

 - 100 -

 Таблица 6

┌────────────────────────────────────┬───────────────────────────────┐

│ Со │ Ро, % │

├────────────────────────────────────┼───────────────────────────────┤

│ 1:900 │ 0,015 │

│ 1:400 │ 0,035 │

│ 1:300 │ 0,065 │

│ 1:200 │ 0,1 │

│ 1:150 │ 0,15 │

│ 1:90 │ 0,25 │

│....................................│....................... │

│ 1:12 │ 2,5-4 │

│ 1:9 │ 4-6,5 │

└────────────────────────────────────┴───────────────────────────────┘

улучшить, иначе будут значительные экономические затраты на наладку;

 - Р 4о 7, 0Рвх и <(2 7\_ 03)S(p), тогда введение статистического контроля

нецелесообразно. Здесь S(p)- среднеквадратическое отклонение доли бра-

ка.