

Министерство образования и науки Российской Федерации
Ярославский государственный университет им. П. Г. Демидова

Е. И. Кротова

Основы конструирования и технологии производства РЭС

Учебное пособие

*Рекомендовано
Научно-методическим советом университета
для студентов, обучающихся по направлению Радиотехника*

Ярославль
ЯрГУ
2013

УДК 621.37(075.8)
ББК 3844я73
К83

*Рекомендовано
Редакционно-издательским советом университета
в качестве учебного издания. План 2013 года*

Рецензенты:

Коршунова Н. И., кандидат физико-математических наук, доцент;
кафедра общей электротехники и промышленной электроники ЯГТУ

Кротова, Елена Ивановна

К83 Основы конструирования и технологии производства
РЭС : учебное пособие / Е. И. Кротова ; Яросл. гос. ун-т
им. П. Г. Демидова. – Ярославль : ЯрГУ, 2013. – 192 с.

ISBN 978-5-8397-0963-8

Пособие содержит материалы, сочетающие традиционные для данной учебной дисциплины основные определения, подходы и методы, изложенные в системах государственных стандартов и необходимые для грамотного составления конструкторской и технологической документации и производства серийной продукции, с методиками, основанными на информационных технологиях.

Предназначено для студентов, обучающихся по направлению 210400.62 Радиотехника (дисциплина «Основы конструирования и технологии производства РЭС», цикл БЗ), очной формы обучения, а также может быть полезно инженерно-техническим и научным работникам, специализирующимся в радиоэлектронике и связи.

УДК 621.37(075.8)
ББК 3844я73

ISBN 978-5-8397-0963-8

© ЯрГУ, 2013

Введение

Потребность в радиоэлектронном средстве, предназначенном для решения конкретной задачи или ряда задач, приводит в действие механизм его создания, в основе которого – деятельность разработчика при участии заказчика, представляющая собой проектирование изделия. Сущность этого процесса – принятие инженерных решений, оказывающих непосредственное влияние на изготовление и использование изделий, а также на действие человека при их эксплуатации.

Вся работа по конструированию нового изделия представляет собой процесс преобразования информации вплоть до реализации изделия в металле.

Конструирование и технология производства являются частями сложного процесса разработки РЭА и не могут выполняться в отдельности, без учета взаимосвязей между собой и с другими этапами разработки, и определяют в конечном итоге общие потребительские свойства изделий.

Рабочие функции РЭА характеризуются набором параметров, номинальные значения которых задаются техническим заданием (ТЗ) на разработку изделия. Реализация этих параметров в эксплуатации зависит как от общего комплекса дестабилизирующих факторов условий эксплуатации (климатических, механических и пр.), так и от качества разработки и технологии производства. Учет этих факторов требует от разработчика РЭА знаний по всем вопросам конструкторско-технологического проектирования, а именно:

- виды и порядок разработки технической документации;
- влияние внешних факторов на работоспособность РЭА;
- методы конструирования элементов, узлов и устройств РЭА и изготовления изделий;
- обеспечение электромагнитной совместимости, механической прочности, нормальных тепловых режимов и надежности изделий;
- общие вопросы организации производства РЭА;

- стандартные и специальные технологические процессы в производстве РЭА;

- методы сборки и монтажа;

- методы регулировки, настройки и испытаний РЭА и т. д.

Развитие информационных технологий и применение их при проектировании изделий дает возможность разработчику РЭА использовать принципиально новые инструменты и подходы для сокращения сроков разработки, улучшения технических и снижения экономических показателей создаваемой РЭА.

Предлагаемый учебный материал изложен на основе принципов системного подхода: от простого к сложному, от общего к частному, от теоретического описания к практическому использованию, – и должен способствовать формированию у студентов представления о круге проблем, с которыми им придется столкнуться в будущей профессиональной деятельности.

В первых трех главах студенты знакомятся с нормативной базой проектирования, основными положениями государственной системы стандартизации, Единой системой конструкторской документации (ЕСКД), Единой системой технологической документации (ЕСТД). Студентам предлагается «живая» модель РЭС, которая имеет свой цикл жизни и основные этапы проектирования конструкций и технологий, формируется представление о конкурентоспособной РЭС как большой функциональной, конструктивной и технологической системе. Излагаются принципы моделирования и основные инструменты проектного исследования качества, надежности и серийнопригодности РЭС. Для студентов, обучающихся в классическом университете, необходимо иметь представление о проведении научно-исследовательских работ и опытно-конструкторских разработках, подготовке производства, т. к. их последующая работа может быть связана с различными формами инновационной и предпринимательской деятельности, поэтому в пособии этим вопросам посвящены три отдельные главы – четвертая, пятая и шестая.

В седьмой и восьмой главах обобщаются знания, полученные в ранее изученных курсах «Инженерно-компьютерная графика» и «Радиоматериалы и радиокомпоненты РЭС», и подробно

рассматриваются все виды конструкторских документов, функциональное и конструктивное разукрупнение РЭС.

Основным методам проектирования посвящена девятая глава. В десятой главе излагаются основы теории надежности РЭС, рассматриваются основные понятия и определения, статистический анализ надежности. В одиннадцатой, двенадцатой, тринадцатой и четырнадцатой главах приведен материал по вопросам защиты РЭС от воздействия различных дестабилизирующих факторов. Типовые задачи и основные алгоритмы автоматизированного проектирования изложены в пятнадцатой главе.

Инженер-разработчик обязан иметь представление о базовых технологических процессах производства РЭС, в этом ему поможет довольно объемная шестнадцатая глава. В семнадцатой главе изложены основы контроля и управления качеством радиоэлектронных изделий, автором предлагается алгоритм контроля качества изделий на основе идентификации статистических распределений основных параметров РЭС. В восемнадцатой главе дается характеристика основным видам испытаний РЭС. В девятнадцатой главе рассматривается эргономическая оценка системы «человек – машина». Без знания основ эргономики и промышленной эстетики инженер не может в полном объеме вести эффективную разработку надежных, безопасных, привлекательных на рынке и удобных в эксплуатации РЭС.

Автор выражает благодарность профессору кафедры ДЭС ЯрГУ им. П. Г. Демидова И. Т. Рожкову, руководству и ведущим специалистам СКБ ОАО «Ярославский радиозавод» за конкретные рекомендации по изложению материала отдельных глав пособия.

Глава 1. Системный подход к конструированию РЭС

1.1. Основные понятия и определения

Основные понятия и определения, которые обязан использовать инженер-разработчик, приводятся в Государственных отраслевых стандартах (ГОСТ): ГОСТЫ на требования к конструкторской документации на изделия ЕСКД – ГОСТ 2.ххх; ГОСТЫ на требования к технологической документации на изделия ЕСТД – ГОСТ 3.ххх; ГОСТЫ на требования к программной документации на изделия ЕСПД – ГОСТ 29.ххх.

Инженер-разработчик должен помнить: ГОСТ – закон, знание его – обязанность, выполнение – стиль жизни.

ИЗДЕЛИЕ (по ГОСТ 2.101) – любой *предмет производства* (или набор предметов), подлежащий *изготовлению на предприятии*.

Изделия основного производства предназначены для поставки (реализации). Изделия вспомогательного производства используются как *составные части* изделий основного производства или используются (например, инструмент) для создания изделий основного производства.

Виды изделий (определение и описание см. самостоятельно в ГОСТ 2.101): деталь, сборочная единица, комплекс, комплект.

Система – это комплекс технических средств, управляемый оператором – человеком (ручной или полуавтоматический режим работы), или контролируемый, или запускаемый оператором (в автоматическом режиме работы). Под радиоэлектронной системой (РЭС) понимают изделие и его составные части, в основу функционирования которых положены принципы *радиотехники* и *электроники*. В состав РЭС включаются дополнительные устройства, обеспечивающие ее функционирование: электромеханические устройства, системы питания, охлаждения [1], [11].

Государственные отраслевые стандарты, регламентирующие разработку документации по радиоэлектронным системам имеют классификацию ГОСТ 34.ххх.

Основной документ на деталь – **чертёж детали** (см. ГОСТ 2.109).

Основной документ на остальные изделия – **спецификация**. В нее записываются и другие дополнительные документы, (ГОСТ 2.109).

Виды проектирования РЭС удобно разделить на четыре основных вида [2]:

- системотехническое проектирование,
- схемотехническое проектирование,
- конструкторское проектирование, или просто конструирование,
- технологическое проектирование.

Конструкция РЭС есть пригодная для повторения в производстве совокупность деталей и материалов с различными физическими свойствами, находящихся в определенной энергетической и пространственной связи, обеспечивающая выполнение заданных функций с необходимой точностью и надежностью под влиянием внешних и внутренних воздействий [11].

Конструкция РЭС отличается рядом особенностей, выделяющих ее в отдельный класс среди других конструкций.

Прежде всего подобные конструкции отличаются [3]:

1. Иерархической структурой, под которой понимается последовательное объединение более простых электронных узлов в более сложные.

2. Доминирующей ролью электрических и электромагнитных связей.

3. Наличием неоднородностей в электрических соединениях, приводящих к искажению и затуханию сигналов, а также паразитных связей, порождающих помехи (наводки).

4. Наличием тепловых связей, что требует принятия мер защиты термочувствительных элементов.

5. Слабой связью внутренней структуры конструкции с ее внешним оформлением.

Конструирование РЭС – это процесс выбора структуры пространственных энергетических связей внутри и вне РЭС, приводящий к установлению норм и правил его изготовления и эксплуата-

ции. Целью конструирования (его результатом) является разработка комплекта проектных и рабочих конструкторских документов (КД) (ГОСТ 2.101-68 и 2.109-68), на основе которых осуществляется технологическая подготовка производства, разработка технологической документации (ТД), изготовление РЭС, его испытания и эксплуатация, **конструирование** – определение формы, материала, покрытий, способа соединений, состава (перечня составных частей).

Конструирование и конструкторская документация определяют, какой объект должен быть изготовлен, его основные функции и параметры, условия эксплуатации.

Технология – совокупность методов, процессов и материалов, используемых в какой-либо отрасли деятельности.

Технологическая документация описывает основные операции для изготовления объекта, описанного в КД на РЭС [11].

1.2. Системный анализ РЭС

Конструкция РЭС является сложной сборочной единицей, отвечающей трем главным условиям системности [11], [3]:

1. Наличие иерархического порядка в структуре.
2. Возможность композиции и декомпозиции (составление структуры из отдельных элементов и разделение конструкции на отдельные элементы).
3. Образование при композиции новых качеств, не равных сумме свойств исходных частей. Иерархия построения РЭС относится к ветвящемуся типу, где структурные уровни располагаются по рангам сложности.

Система любого структурного уровня характеризуется набором параметров. Эти параметры определяются системой верхнего ранга и в свою очередь служат исходными данными для системы, расположенной рангом ниже.

Снизить затраты на разработку, подготовку производства и освоение РЭА, обеспечить совместимость и преемственность аппаратных решений с одновременным улучшением качества, увеличением надежности и срока службы аппаратуры в эксплуатации позволяет модульный принцип конструирования изделий. Наглядное представление данного определения приведено на рис. 1 [3].

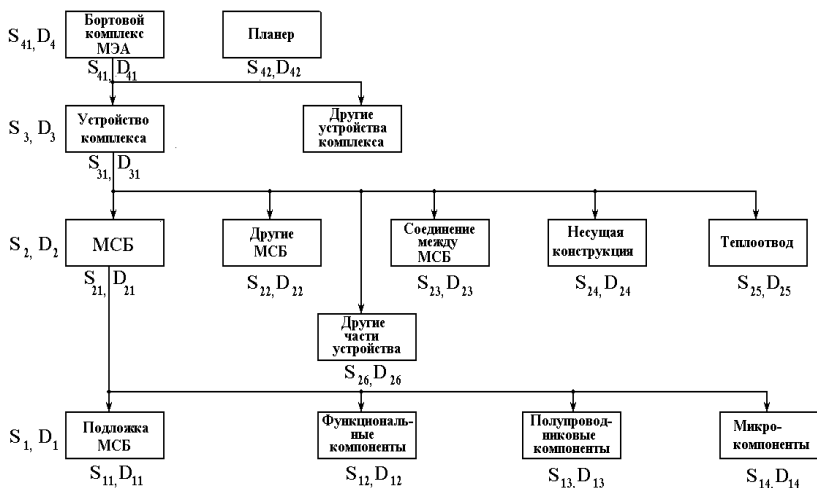


Рис. 1. Ранжирование системных параметров построения РЭС

На рис. 1 S обозначает ранг системы (S состоит из совокупности изделий S_{11}, S_{12}, S_{13}), D – совокупность функциональных и материальных параметров.

Второе и третье условия системности означают, что в результате процесса конструирования (композиции) должно быть найдено и отражено в конструкторской документации (КД) новое структурное образование – конструкция РЭС (или его части), составленное из входящих в него готовых (покупных) и вновь спроектированных частей, причем это структурное образование должно обладать новыми качествами, не равными сумме свойств входящих в него частей (рис. 2).

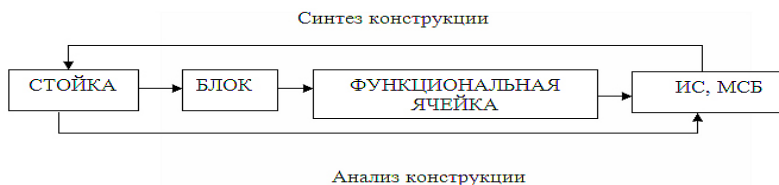


Рис. 2. Принцип системности в процессе конструирования

1.3. Классификация параметров РЭС

Для оценки свойств конструкции ее характеризуют количественными и качественными показателями. Показатели качества изделия принято делить по следующим признакам [4], [6]:

- по отношению к системе и подсистеме: внешние и внутренние,
- по физическому содержанию: функциональные и материальные,
- по числу отраженных свойств в конструкции: абсолютные, относительные и комплексные.

Внешние параметры определяют тактико-технические возможности изделия (что может изделие, какие функции оно выполняет).

Внутренние параметры характеризуют средства, с помощью которых обеспечиваются внешние параметры.

Применительно к радиостанции внешними параметрами являются (дальность действия, масса, надежность), а внутренними параметрами – мощность передатчика, чувствительность, параметры антенны). Приемные устройства характеризуются внешними параметрами (чувствительностью, избирательностью, диапазоном частот, способом перестройки, выходной мощностью) и внутренними параметрами (коэффициентом передачи тракта, характеристиками частотно-избирательных устройств). Внутренние параметры системы верхнего ранга – радиостанции – являются внешними для системы более низкого ранга – передатчика или приемника [5], [7].

К **функциональным** относятся все электрические параметры: чувствительность, избирательность, выходная мощность, дальность и т. п.

К **материальным** параметрам относится масса, габариты, стоимость и производные от этих параметров.

Между функциональными и материальными параметрами существует тесная взаимосвязь. Реализация любой РЭС требует материальных затрат. Чем большие значения имеют материальные параметры, тем выше сложность изделия [3], [8],[9].

Однако всегда нужно находить разумный компромисс между высоким качеством и важностью технического решения и сложностью реализации и себестоимостью.

Контрольные вопросы

1. Перечислите основные понятия конструирования.
2. Дайте определение основных документов и объектов конструирования.
3. Перечислите основные подходы системного анализа РЭС.
4. Какие виды параметров являются системными?
5. Дайте классификацию параметров РЭС.

Глава 2. Этапы системного подхода при проектировании конструкций и технологий РЭС

2.1. Основные принципы системного подхода к проектированию РЭС

Несмотря на то что РЭС – технический объект, в общепсихологическом плане ее рассмотрение невозможно в отрыве от человека – разработчика, оператора. При применении системного подхода в проектировании происходит взаимное влияние разработчика и объекта разработки друг на друга, правильнее сказать, своеобразный «диалог».

В основу системного подхода положены следующие главные принципы [3], [10], [11].

1. Учет всех этапов «жизненного цикла» разрабатываемой РЭС: проектирования, производства, эксплуатации, утилизации.

При несоблюдении этого принципа проекты многих РЭС, в основу которых были заложены прогрессивные принципы их действия, остались нереализованными либо потому, что оказались недостаточно технологичными в производстве, слишком трудоемкими и, следовательно, дорогими и непригодными с точки зрения их производства, либо потому, что эксплуатация таких систем неоправданно сложна и выпуск такой продукции нецелесообразен.

2. Учет истории и перспектив развития РЭС данного и близкого классов.

Историю нужно знать потому, что некоторые РЭС, в прошлом признанные либо негодными, либо устаревшими, в новых

условиях развития науки и техники могут стать хорошими и перспективными.

Учет при проектировании прогноза развития РЭС необходим потому, что в противном случае разрабатываемая система может оказаться морально устаревшей вскоре после разработки или до ее завершения.

3. Учет всестороннего взаимодействия РЭС с внешней средой. Оно включает в себя следующее [11]:

- взаимодействие с природой и обществом в целом (учет экологических, экономических, социальных, политических, военных и других факторов);
- обмен полезной информацией (получение и выдача полезной информации);
- обмен энергией и веществом (распределение ресурсов);
- обмен радиопомехами (т. е. помехами от радиоизлучения);
- внешние воздействия на РЭС температуры, влажности, давления, механических нагрузок, радиации и т. п.;
- взаимодействие с другими РЭС, входящими в систему более высокого иерархического уровня, в процессе решения общей задачи.

4. Учет основных видов взаимодействия внутри РЭС (между ее частями): функционального, информационного, энергетического и др.

5. Учет взаимодействия между элементарной базой и системотехникой. Создание новой элементной базы вызывает развитие системотехники.

Развитие элементной базы приводит к улучшению показателей качества и надежности РЭС. Применение гибридных электронных схем (ГИС), функциональных микросхем, программируемых логических интегральных схем (ПЛИС) и др. способствует значительному снижению энергозатрат, массы и габаритов.

Развитие нанотехнологий требует от разработчика углубленных знаний физики, математики, информационных технологий. Инженер не может отказаться от математического моделирования, а программист, работающий в радиотехнической промышленности, обязан знать физические основы работы электронных устройств.

6. Учет возможности изменения исходных данных и решаемой задаче в процессе проектирования, производства и эксплуатации РЭС. Этот учет выражается в создании более «гибкой» и универсальной РЭС. При этом следует необходимость:

- вариации исходных данных, включая критерии качества, в процессе проектирования РЭС для оценки степени их критичности на работу системы и получения более надежных результатов проектирования;

- обеспечения большей универсальности применения проектируемой РЭС, чтобы при изъятии или добавлении некоторых блоков система была пригодной для решения новых задач [3].

7. Выделение главных показателей качества, которые необходимо улучшать в первую очередь.

Показатели качества должны постоянно проверяться. Для оптимизации этого процесса необходимо взять показатели и, по возможности, стремиться к поддержанию их значений в заданных пределах. Для радиотехнических систем основные показатели качества – помехоустойчивость, конфиденциальность, электромагнитная совместимость, энергопотребление, надежность, масса, объем, стоимость.

8. Сочетание принципов композиции, декомпозиции и иерархичности. Современные РЭС могут содержать сотни, тысячи и миллионы элементов. Оптимизировать все элементы даже с помощью ПЭВМ невозможно. Поэтому их объединяют в сборочные единицы: ячейки, блоки, стойки (шкафы). Далее каждая сборочная единица рассматривается как единое целое, в котором производится композиция элементов. Сложную РЭС разбивают на отдельные ячейки, т. е. проводят декомпозицию.

В результате композиции и декомпозиции РЭС разбивают на ряд иерархических уровней, каждый из которых может содержать ряд частей (сборочных единиц).

Такое сочетание композиции, декомпозиции и иерархичности позволяет упростить проектирование, производство, эксплуатацию и утилизацию РЭС.

При декомпозиции РЭС на подсистемы (сборочные единицы) необходимо уделять особое внимание обоснованию критериев качества каждой подсистемы.

9. Вскрытие основных технических противоречий, препятствующих улучшению качества РЭС и ускорению процесса ее разработки, а также отыскание приемов их преодоления.

10. Правильное сочетание различных методов проектирования. В первую очередь математических, эвристических и экспериментальных. Современные математические методы основаны не только на разработке алгоритмов расчета отдельных параметров, но и на создании имитационных моделей, позволяющих приближенно проверить работу устройства в различных ситуациях [3], [4].

11. Обеспечение должного взаимодействия в процессе проектирования специалистов различных уровней и профилей.

2.2. Порядок и этапы разработки радиоэлектронной аппаратуры

Конструирование РЭС как один из видов инженерной деятельности есть процесс определения, разработки и отражения в конструкторской, технологической и программной документации:

- формы, размеров и состава изделия,
- входящих в него деталей и узлов,
- используемых материалов и комплектующих изделий,
- взаимного расположения частей и связей между ними,
- указаний на технологию изготовления,
- указаний на метрологию поверки и методику эксплуатации изделий [11].

Появление нового технического изделия – сложный и противоречивый процесс. Особенно это касается радиоэлектронных изделий, функционирование которых основано на широком спектре физических, химических и иных явлений. Новая техника, воплощая результаты последних научно-технических достижений, способствует развитию производительных сил общества и удовлетворению его потребностей в продукции более высокого качества. Важнейшим вопросом в сфере производства новой техники является прогнозирование. Определение главных направлений исследований и разработок проводится в ходе научно-исследовательских работ (НИР) и опытно-конструкторских работ (ОКР).

Разработка и организация производства нового изделия требует затрат времени и крупных финансовых вложений. Величина этих расходов зависит от уровня новизны продукции и частоты смены моделей. Затраты на изготовление изделия в первый год его выпуска могут в несколько раз превышать затраты последующих лет. Главными направлениями исследований и разработок занимаются специалисты, участвующие в научно-исследовательских работах (НИР) и опытно-конструкторских работах (ОКР).

Жизненный цикл изделий. Быстрые темпы технического прогресса требуют такого периода смены моделей продукции (жизненного цикла продукции), при котором суммарные затраты на разработку и внедрение новых моделей, а также потери от морального износа были бы минимальны, а уровень экономической эффективности был бы максимальным.

В жизненном цикле изделия можно выделить два периода. Первый – в течение которого осуществляется разработка новой продукции. Второй – в течение которого новая продукция осваивается, производится и реализуется до прекращения выпуска и утилизации.

В первый период жизненного цикла изделия входит полный комплекс работ по созданию новой техники [11]:

1. Научно-исследовательская разработка (НИР). На этой стадии проходят проверку новые идеи и изобретения. Теоретические предпосылки решения научных проблем проверяются в ходе опытно-экспериментальных работ.

2. Опытно-конструкторская разработка (ОКР). На этой стадии идеи и решения, возникающие в процессе НИР, реализуются в технической документации и опытных образцах.

3. Конструкторская подготовка производства (КПП). Осуществляется проектирование нового изделия, разрабатываются рабочие чертежи и техническая документация.

4. Технологическая подготовка производства (ТПП). Разрабатываются и проверяются новые технологические процессы, проектируется и изготавливается технологическая оснастка для производства изделия.

5. Организационная подготовка производства (ОПП). На этой стадии выбираются методы перехода на выпуск новой

продукции, проводятся расчеты потребности в материалах и комплектующих изделиях, определяются продолжительность производственного цикла изготовления изделия, размеры партий и пр.

6. Обработка изделия в опытном производстве (ООП). Осваивается выпуск опытного образца (опытной партии), проводится отладка новых технологических процессов.

Во второй период жизненного цикла включается освоение изделия в серийном производстве (ОСП). На этой стадии возникают и конструкторские изменения, и изменения в технологических процессах, и изменения уровня оснащенности производства специальными видами оснастки и оборудования.

Точное соблюдение технологического процесса – одно из важнейших организационных условий повышения эффективности выпуска нового изделия, включая высокое качество продукции и высокие показатели производства.

Завершающим этапом жизненного цикла является эксплуатация новой продукции, когда продукция используется в соответствии с ее назначением и приносит экономический эффект. Предприятию было бы выгодно продлить второй период жизненного цикла изделия на максимальный срок, однако этот период имеет свой предел. Новая продукция с момента ее появления обеспечивает социально-экономический эффект до определенного времени, после которого она морально стареет, [4].

Контрольные вопросы

1. Перечислите основные принципы системного подхода.
2. В чем заключается принцип композиции?
3. В чем заключается принцип декомпозиции?
4. Приведите порядок разработки радиоэлектронной аппаратуры.
5. Перечислите основные этапы системного подхода при разработке РЭС.
6. Что такое жизненный цикл изделий?

Глава 3. Разработка и постановка в производство РЭС

3.1. Модели работ

В условиях современного серийного производства на разработку аппаратуры РЭС накладываются требования реализуемости процесса проектирования с помощью современных информационных технологий, использования специализированного программного обеспечения и автоматизированных агрегатов при изготовлении, настройке, испытаниях, контроле и приемке заказчиком. Для предприятий, специализирующихся на изготовлении продукции стратегического назначения, встраивание процесса разработки изделий в производственный процесс является актуальным, т. к. предназначается для современного технологического оборудования. Кроме того, общий и непрерывный технологический процесс – от выдачи технического задания до отгрузки серийной продукции – экономит время и финансовые затраты.

Инженер, работающий на современном предприятии, должен руководствоваться стремлением разрабатывать РЭС, обладающие конкурентоспособностью и оригинальностью. Но это не означает, что можно использовать в отечественном производстве зарубежные разработки без всестороннего критического анализа. В условиях планового управления экономикой на государственных предприятиях обеспечивались качественные показатели и требования надежности, но при этом инициативность и оригинальность технических решений была значительно затруднена из-за бюрократических трудностей.

Разумный компромисс в условиях рыночной экономики можно достигнуть строгим выполнением требований Государственных стандартов и правильным, научно обоснованным выбором моделей организации работ [11], [5]:

- 1 – создание продукции по государственным и муниципальным заказам, финансируемым из федерального бюджета и бюджетов субъектов РФ (госзаказ);
- 2 – создание продукции по заказу конкретного потребителя;
- 3 – инициативные разработки продукции.

При создании продукции по госзаказу и заказу конкретного потребителя разрабатывают техническое задание (ТЗ) и заключают договор (контракт) на выполняемые работы. В договоре или ТЗ указывают нормативные документы, регламентирующие порядок выполнения работ, и документы, определяющие обязательные правила и требования к продукции, а также требования, установленные законами и нормативными документами органов государственного надзора.

3.2. Главные этапы работ

В зависимости от назначения изделий данного вида радиоэлектронной аппаратуры (РЭА), технических заделов разработчика, объема финансирования, оснащения и возможностей производства, потребностей рынка и других многочисленных факторов, включая конкретные этапы работ при разработке изделий, их содержание, можно выделить три основные стадии работ для вновь разрабатываемых изделий:

- техническое предложение (аванпроект);
- эскизный проект (ЭП);
- технический проект (ТП).

Каждый инженер-разработчик обязан знать, что основой для разработки является техническое задание. В ТЗ излагаются назначение и область применения разрабатываемой РЭА, технические, конструктивные, эксплуатационные и экономические требования, условия хранения и транспортирования, требования по надежности, правила проведения испытаний и приемки образцов в производстве.

На стадии технических предложений проводится анализ существующих технических решений, патентные исследования, проработка возможных вариантов создания РЭА, выбор оптимального решения, макетирование отдельных узлов РЭА, выработка требований для последующих этапов разработки.

На стадии эскизного проектирования осуществляют проработку выбранного варианта реализации РЭА. Изготавливается действующий образец, проводятся испытания в объеме, достаточном для подтверждения заданных в ТЗ технических и эксплуатационных параметров, организуется разработка необходимой конструкторской документации, которой присваивается литера «Э».

Прорабатываются основные вопросы технологии изготовления, наладки и испытания элементов, узлов, устройств и РЭА в целом.

На стадии технического проекта принимаются окончательные решения о конструктивном оформлении РЭА и составляющих ее узлов, разрабатывается полный комплект конструкторской и технологической документации, которой присваивается литера «Т», изготавливается опытный образец (образцы) РЭА, проводятся испытания на соответствие ТЗ.

Для повышения качественных показателей, основанных на статистических методах, необходимо изготовить опытную партию отдельных элементов РЭА.

По результатам приемки представителями подразделений контроля качества на предприятии осуществляется технологическая подготовка производства, выпуск установочной серии и организация серийного (массового) выпуска РЭА [2].

Стадии разработки ТЗ, технических предложений и ЭП включаются, как правило, в научно-исследовательскую работу, а стадии разработки технического проекта и технологической подготовки производства – в опытно-конструкторскую разработку.

Стадии разработки ТЗ, технических предложений и ЭП включаются в научно-исследовательскую работу, а стадии разработки технического проекта и технологической подготовки производства – в опытно-конструкторскую разработку. Перечисленные стадии могут выполняться как на одном предприятии (ОАО, ЗАО и т. п.), так и на нескольких, например в научно-исследовательских институтах и центрах и в серийных конструкторских бюро (СКБ).

Для изделий, не требующих проведения НИР, разработка и постановка продукции на производство предусматривает [6], [7]:

- 1) разработку ТЗ на опытно-конструкторскую работу;
- 2) проведение ОКР, включающей:
 - разработку конструкторской (КД) и технологической (ТД) документации,
 - изготовление и испытания опытных образцов,
 - приемку результатов ОКР, утверждение разработанной документации и технических условий (ТУ) на изготовление установочной (опытной) партии изделий;

- 3) постановку изделий на производство, включающую:
- подготовку производства,
 - изготовление установочной серии и квалификационные испытания.

При разработке РЭА выпускают большое количество технической документации (конструкторской, технологической, программной), состав которой определяется Государственными стандартами Единой системы конструкторской документации (ЕСКД), Единой системы технологической документации (ЕСТД) и Единой системы программной документации (ЕСПД).

Продукты интеллектуального труда, полученные в процессе создания и постановки продукции на производство и являющиеся объектами охраны интеллектуальной собственности, используют в порядке, установленном законодательством Российской Федерации.

Государственные стандарты устанавливают несколько этапов разработки конструкторской документации с соответствующими требованиями к их содержанию и выполнению. Количество перечисленных этапов зависит от назначения, вида изделий и их сложности, предыстории развития данного направления техники, существующих аналогов, возможностей производства, объема финансирования и т. п.

Немаловажное значение имеет необходимость учета политической ситуации и рыночной конкуренции.

Контрольные вопросы

1. Кто формирует технические требования к разрабатываемой аппаратуре?
2. Назовите основные стадии проектирования РЭС.
3. Перечислите основные модели организации работ .
4. Перечислите основные виды работ для вновь разрабатываемых изделий.
5. Дайте характеристику подготовительным этапам конструирования.
6. Что является основанием для составления ТЗ?
7. Приведите порядок разработки ТЗ.

Глава 4. Научно-исследовательская разработка

4.1. Виды научно-исследовательских работ

Современное производство не может обойтись без внедрения в производство результатов научных исследований.

Порядок выполнения научно-исследовательских работ (НИР) регламентируется ГОСТ Р 15.101.98 «Порядок выполнения научно-исследовательских работ». Приведем основные положения этого стандарта, характеризующие научно-исследовательскую разработку [11].

Научно-исследовательская разработка – это комплекс теоретических и экспериментальных исследований, проводимых с целью получения исходных данных, изыскания принципов и путей создания или модернизации продукции, если таковых не имеется или они недостаточны непосредственно для успешной разработки изделия. Научные исследования в зависимости от содержания и характера получаемых результатов подразделяются на фундаментальные, поисковые и прикладные.

Целью фундаментальных исследований является открытие новых явлений, закономерностей и принципов, которые могут быть использованы при создании новой техники или технологии.

Поисковые научные исследования направлены на изучение конкретных проблем, например возможностей создания новых материалов, техники, технологии, повышения производительности труда и качества продукции и т. п. Результаты поисковых работ оформляются в виде отчетов, технической документации, макетов, экспериментальных образцов изделий.

Прикладные научные исследования направлены на создание новых изделий либо на совершенствование существующих, а также на разработку способов их производства, на разработку средств механизации и автоматизации производства, систем и методов контроля за качеством продукции и т. д. Прикладные НИР являются одной из стадий жизненного цикла изделий.

Порядок выполнения НИР регламентируется ГОСТ Р 15.101.98 «Порядок выполнения научно-исследовательских работ». Стандарт устанавливает общие требования к организации

и выполнению научно-исследовательских работ; порядок выполнения и приемки НИР; этапы выполнения НИР, правила их выполнения и приемки; порядок разработки, согласования и утверждения документов в процессе организации и выполнения НИР; порядок реализации результатов НИР [11].

4.2. Этапы НИР

НИР выполняется по договору с заказчиком по приказу о начале финансирования проекта инициативной научно-исследовательской опытно-конструкторской разработки (НИОКР).

Процесс выполнения НИР в общем случае состоит из следующих этапов [11].

- Разработка ТЗ на НИР. Составление ТЗ является самым ответственным этапом НИР. ТЗ содержит пункты фундаментальных и поисковых исследований, изучение патентной документации, анализ требований заказчика. ТЗ определяет количество исполнителей, для которых подготавливается и выдается техническое задание, проведение патентных исследований.

- Выбор направления исследований. Проводится для определения оптимального варианта направления исследований на основе анализа исследуемой и аналогичных проблем и оценки вариантов возможных решений, способов решения задач, прогноз показателей новой продукции и сопоставление с показателями изделий-аналогов, оценку экономической эффективности новой продукции, разработку общей методики проведения исследований.

- Теоретические и экспериментальные исследования. Проводят с целью получения необходимых и достаточных теоретических и экспериментальных результатов исследований для решения поставленных перед НИР задач.

- Обобщение и оценка результатов исследований в научно-техническом отчете по НИР, выпуск отчетной научно-технической документации (ОНТД).

- Предъявление работы к приемке и ее приемка. Приемка осуществляется представителями заказчика в присутствии исполнителей. Приемка работ осуществляется на соответствие требованиям ТЗ.

4.3. Патентные исследования

Патентные исследования регламентируются в соответствии с ГОСТ Р 15.011-96. «Патентные исследования. Содержание и порядок проведения». Объектами патентной защиты могут быть изделия (схемы, конструкции, технологии изготовления и т. п.) и методы (способы) использования их при эксплуатации (способы измерений, регистрации и обработки информации, и т. п.).

Содержание патентных исследований складывается из нескольких основных частей [11]:

- исследование направлений научно-исследовательской и производственной деятельности организаций и фирм, которые действуют на рынке продукции;
- обоснование требований по совершенствованию и созданию новой продукции и технологии, по обеспечению эффективности применения и конкурентоспособности продукции и услуг;
- обоснование предложений о целесообразности разработки новых объектов промышленной собственности для использования в объектах техники, обеспечивающих достижение технических показателей, предусмотренных в техническом задании;
- выявление технических, художественно-конструкторских, программных и других решений, созданных в процессе выполнения НИР и ОКР, с целью отнесения их к охраноспособным объектам промышленной и интеллектуальной собственности;
- обоснование целесообразности правовой охраны объектов интеллектуальной и промышленной собственности в стране и за рубежом, выбор стран патентования;
- экспертиза объектов техники на патентную чистоту.

Порядок проведения патентных исследований включает: определение задач и разработку задания на проведение патентных исследований; определение требований к поиску патентной и другой документации; поиск и отбор патентной и другой документации и оформление отчета о поиске; систематизацию и анализ отобранной документации, подготовку выводов и рекомендаций; оформление результатов исследований в виде отчета.

Отчет о патентных исследованиях должен содержать общие данные об объекте исследований, аналитическую часть, заключение и приложения.

Аналитическая часть отчета в общем случае включает: технический уровень и тенденции развития объекта; использование объектов промышленной (интеллектуальной) собственности, их правовую охрану; исследование патентной чистоты объекта.

В заключении приводят: обобщенные выводы по результатам проведенных патентных исследований; предложения по использованию результатов патентных исследований для совершенствования научно-технической и производственной продукции.

В приложения к отчету включают: задание на проведение исследований, регламент поиска, отчет о поиске, описания изобретений, аннотации документов и другие справочные материалы, отобранные при проведении поиска [5].

4.4. Выполнение НИР

В процессе выполнения НИР создают макеты, модели, экспериментальные образцы. Прорабатываются вопросы метрологического обеспечения производства и эксплуатации изделий в соответствии с ГОСТ, [6].

По результатам НИР предусматривается разработка проекта технического задания на ОКР, которым устанавливается основное назначение, тактико-технические характеристики, показатели качества и технико-экономические требования, предъявляемые к разрабатываемому изделию.

В отчете по НИР иногда представляется *техническое предложение* (ТП). НИР может дать и отрицательный результат, показывающий, что на современном уровне развития науки и техники реализация поставленной задачи в полном ее объеме невозможна или преждевременна.

Контрольные вопросы

Перечислите виды научно-исследовательских работ.

Кто выступает в качестве заказчика НИР?

Перечислите основные этапы НИР.

Какие типы моделирования используются при проведении НИР?

Как осуществляется приемка результатов НИР?

Глава 5. Опытнo-конструкторская разработка

5.1. Этапы опытнo-конструкторской разработки

Задача ОКР – создание комплекта конструкторской документации для производства изделия. Данный вид работ является продолжением НИР или является самостоятельным. Он заканчивается выпуском полного комплекта технической документации на изделие, изготовлением и испытанием его опытного образца (или опытной партии).

Если имеющиеся в распоряжении разработчика научно-технические материалы не требуют проведения НИР, основанием для выполнения ОКР является ТЗ, утвержденное заказчиком. В случае инициативной разработки ОКР базируются на результатах исследования рынка продукции и патентных исследований. При разработке ТЗ разработчик учитывает информацию об аналогичной продукции в базах данных, созданных в Госстандарте России [5].

В ТЗ рекомендуется указывать технико-экономические требования к продукции, определяющие ее потребительские свойства и эффективность применения, перечень документов, требующих совместного рассмотрения, порядок сдачи и приемки результатов разработки.

На этапе ОКР на первый план выступают экономические задачи, так как именно здесь формируются основные параметры изделия, влияющие как на его стоимость, так и на длительность и стоимость его разработки. Во время выполнения ОКР производится теоретическое и экспериментальное исследование реализованных в изделии идей. ОКР заканчивается выпуском полного комплекта технической документации на изделие, изготовлением и испытанием его опытного образца (или опытной партии) [11].

Проектирование – комплекс мероприятий, обеспечивающих поиск технических решений, удовлетворяющих заданным требованиям, их оптимизацию и реализацию в виде комплекта конструкторских документов и опытного образца (образцов), подвергаемого циклу испытаний на соответствие требованиям технического задания. Существует комплекс определенных этапов ОКР, обеспечивающий глубокую проработку и высокое качество проекти-

рования изделий. При разработке ТЗ на опытно-конструкторскую разработку разработчик учитывает информацию об аналогичной продукции в базах данных, созданных в Госстандарте России, правилами составления необходимой документации и этапами проведения ОКР (ГОСТ 2.103-68, ГОСТ 15.001-88) [5].

По материалам государственных стандартов следует выделить перечень основных этапов ОКР [11].

5.1.1. Этап 1. Подготовительный

Разработчик – инициатор ОКР обязан изучить задачи, для решения которых предназначено данное изделие, и анализ конструкций аналогичных изделий, достижений в областях науки и техники.

На этом этапе выполняется технико-экономическое обоснование (ТЭО) целесообразности создания нового изделия и передачи его в серийное производство. Составляется перечень работ, подлежащих исполнению, уточняется общий объем работ, затраты и сроки исполнения, определяются соисполнители. Определяется ориентировочная стоимость опытного и серийного образцов, сумма затрат на организацию производства и эксплуатацию этой техники, ориентировочный срок начала поставки заказчику. Выполнение первого этапа обычно проводит организация – инициатор ОКР.

5.1.2. Этап 2. Разработка ТЗ и договора на ОКР

В процессе подготовки ТЗ рекомендуется учитывать риски, возникающие на предприятиях, обусловленные переходными процессами в экономике, нестабильностью рынка продукции, инфляционными и иными процессами в финансовой сфере. Для успешного проведения разработок целесообразно составление технических заданий, сначала на конкретные устройства изделия, затем в порядке укрупнения аппаратуры. Такой подход позволит осуществить рациональное финансирование и использование средств, оперативное преодоление трудностей разработки.

Разработка ТЗ при отсутствии предварительной НИР обычно ведется заказчиком совместно с разработчиком [11].

ТЗ должно содержать основное назначение, технические и тактико-технические характеристики изделия, показатели качества и технико-экономические требования, состав конструктор-

торской документации, а также специальные, конструктивные, технологические, эксплуатационные требования, требования по надежности и метрологическому обеспечению при изготовлении и в эксплуатации. Разработка ТЗ в случае отсутствия НИР обычно ведется заказчиком совместно с разработчиком. При предварительном проведении НИР за основу разработки ТЗ принимается проект ТЗ или технические предложения из научно-технического отчета по НИР. Если для разработки изделия в ТЗ предусматривается разработка каких-либо частей, материалов и комплектующих соисполнителями, то на основе главного ТЗ выполняется разработка частных ТЗ для соисполнителей.

В ТЗ указывают предусмотренную законодательством форму подтверждения соответствия продукции обязательным требованиям. Рекомендуется предусматривать учет интересов всех возможных потребителей и следующие положения [11]:

- прогноз развития требований на данную продукцию;
- рекомендуемые этапы развития (модернизации) продукции;
- соответствие требованиям стран предполагаемого экспорта;
- характеристики ремонтпригодности;
- возможность замены запасных частей без применения промышленной технологии.

ТЗ утверждают в порядке, установленном заказчиком и разработчиком. Для подтверждения отдельных требований к продукции, в том числе требований безопасности, охраны здоровья и окружающей среды, а также оценки технического уровня продукции, ТЗ может быть направлено на экспертизу в сторонние организации. По полученным заключениям принимают разработчик и заказчик до утверждения ТЗ.

Этапы ОКР, а также порядок ее приемки должны быть определены в договоре на ее выполнение и приложениях к нему. В договоре определяются взаимные обязательства сторон, их ответственность в случае нарушения отдельных его пунктов, сроки выполнения работ и источники финансирования. К договору прилагают сметную калькуляцию, календарный план выполнения работ, указываются объем и сроки выполнения каждого из этапов работ, за которые разработчик (исполнитель) отчитывается перед заказчиком.

Взаимоотношения разработчика (изготовителя) с органами государственного надзора определяется законодательством РФ. Все спорные вопросы, возникающие между разработчиком и заказчиком, которые не могут быть решены путем совместного диалога сторон, разрешаются Государственной арбитражной комиссией.

Техническое задание проходит несколько процедур до получения его окончательного варианта [11].

Согласование ТЗ. Процесс согласования состоит в том, что исполнитель после получения проекта ТЗ исследует возможность его реализации как с технической точки зрения, так и в указанные заказчиком сроки. В процессе предварительной проработки заказчику от разработчика могут быть выданы замечания по пунктам ТЗ. После принятия соответствующих уточнений договаривающиеся стороны приходят к единому мнению о практической выполнимости требований, сформулированных в ТЗ.

Утверждение ТЗ происходит после его согласования. При утверждении ТЗ подписывают представители и руководители организаций заказчика и разработчика. После подписания ТЗ становится официальным документом, в соответствии с которым выполняется разработка изделия [7].

5.1.3. Этап 3. Аванпроект или техническое предложение

На этом этапе создаются различные варианты конструктивного и схемного построения разрабатываемого изделия, делается сравнительная оценка этих вариантов между собой и с разработанными ранее аналогами, учитываются пожелания потребителей, выбирается элементная база, средства программного обеспечения процесса проектирования.

Конструкторским документам, выпускаемым на стадии технического предложения, присваивается литера «П» [8].

5.1.4. Этап 4. Эскизное проектирование

На этом этапе, который обычно проводится только для достаточно сложных изделий, принимаются принципиальные конструктивные и технические решения с детальной проработкой устройств в соответствии с ТЗ.

На стадии эскизного проектирования проводятся выбор основных технических решений и элементной базы изделия, выбор основных конструктивных элементов, разработка структурных и функциональных схем изделия, разработка специальных схем частного применения (например, для управления запоминающим устройством, устройством ввода – вывода и т. д.), испытание разработанных схем, расчет и проверка рабочих режимов комплектующих элементов, выполняется предварительный расчет надежности как отдельных узлов и блоков, так и изделия в целом. В процессе проработки эскизного проекта, как правило, производится макетирование отдельных наиболее сложных узлов и операционных блоков, а иногда и полностью целых устройств. Выполняется также метрологическая экспертиза проекта.

Всем конструкторским документам, выпускаемым на стадии эскизного проектирования, присваивается литера «Э». По завершении эскизного проектирования разработчик защищает эскизный проект перед заказчиком. По инициативе заказчика или разработчика на защиту могут приглашаться представители других заинтересованных организаций и органов госнадзора.

5.1.5. Этап 5. Техническое проектирование

Проектирование – комплекс мероприятий, обеспечивающих поиск технических решений, удовлетворяющих заданным требованиям, их оптимизацию и реализацию в виде комплекта конструкторских документов и опытного образца (образцов), подвергаемого циклу испытаний на соответствие требованиям технического задания [11].

На этом этапе принимаются принципиальные конструктивные и технические решения с проработкой устройств на соответствие требованиям ТЗ.

При проведении эскизного проектирования проводится выбор основных технических решений, полной элементной базы, основных конструктивных элементов, разработка структурных и функциональных схем.

Разработчик проводит испытание схем, расчет и проверку рабочих режимов комплектующих элементов, выполняет предварительный расчет надежности узлов, блоков и изделия в целом.

На этапе эскизного проекта производится макетирование отдельных узлов, блоков и целых устройств. Выполняется метрологическая экспертиза проекта.

Требования к процедурам контроля и испытаний устанавливаются в соответствии с ГОСТ Р ИСО 9001.

Конструкторской документации присваивается литера «Т». В комплект конструкторской документации входят: сборочные чертежи с пояснительной запиской, комплект электрических схем, инструкции по настройке и эксплуатации, технический отчет, содержащий расчеты, результаты моделирования и испытаний. По результатам технического проектирования может быть проведена совместно с заказчиком корректировка ТЗ.

Рассмотрение и защита технического проекта аналогична эскизному проекту и проводится комиссией, создаваемой заказчиком по согласованию с разработчиком.

5.1.6. Этап 6. Разработка рабочей документации

Разработка рабочей документации для изготовления и испытаний опытных образцов продукции происходит после принятия положительного решения по результатам технического проекта. Разработчик производит окончательную корректировку функциональных и электрических схем, выполняет разработку полного комплекта конструкторской документации, которой присваивается литера «О», проводит проверку конструкторской документации на унификацию и стандартизацию, проводит согласование документации с заказчиком и заводом – изготовителем серийной продукции.

5.1.7. Этап 7. Изготовление и настройка опытных образцов

Для подтверждения соответствия разработанной технической документации исходным требованиям изготавливают опытные образцы (опытные партии) продукции, если продукция предполагается к серийному изготовлению. Для несерийного производства продукции изготавливают головные образцы. При создании единичной продукции головные образцы продукции, как правило, подлежат реализации их заказчику.

5.1.8. Этап 8. Испытания опытных образцов

Для оценки и контроля качества результатов, полученных при ОКР, опытные образцы, опытную партию, головные образцы продукции подвергают контрольным испытаниям по категориям. Порядок и виды испытаний определены системой Государственных стандартов [11].

Разработчик обязан знать основные виды испытаний, кратко перечислим и поясним их.

- Предварительные испытания (организует исполнитель ОКР), проводимые с целью предварительной оценки соответствия опытного образца продукции требованиям ТЗ и готовности опытного образца к приемочным испытаниям. Испытания рекомендуется проводить представителям отдела технического контроля (ОТК) на соответствие проектам технических условий (ТУ). Предварительные испытания могут включать в себя стендовые испытания, испытания на объекте в типичных условиях эксплуатации, испытания на надежность.

- Приемочные испытания, проводимые с целью оценки всех определенных ТЗ характеристик продукции, проверки и подтверждения соответствия опытного образца продукции требованиям ТЗ в условиях, максимально приближенных к условиям реальной эксплуатации продукции, а также для принятия решений о возможности промышленного производства и реализации продукции.

Для продукции, подлежащей сертификации, испытания проводятся в организациях, имеющих аккредитацию в установленном порядке.

Место проведения испытаний опытных образцов продукции в случае, если нет определенных условий проведения испытаний, установленных органами государственного надзора, определяет разработчик совместно с изготовителем продукции [5], [7].

Предварительные и приемочные испытания проводят по соответствующим программам и методикам испытаний. Программы испытаний разрабатывают на основе требований ТЗ и конструкторской документации с использованием типовых программ, стандартизованных методик испытаний и других нормативных документов в части организации и проведения испытаний [6], [11].

В программы испытаний включают: объект испытаний; цель, объем, условия и порядок проведения испытаний; материально-техническое и метрологическое обеспечение испытаний, формы отчетности по испытаниям.

Программа и методика приемочных испытаний опытных образцов продукции должны, кроме того, содержать проверку качества рабочей конструкторской и эксплуатационной документации (включая проект технических условий для производства продукции) для принятия решения о пригодности документации в промышленном производстве.

Методика испытаний включает: оцениваемые характеристики продукции; условия и порядок проведения испытаний; способы обработки, анализа и оценки результатов испытаний; используемые средства испытаний, контроля и измерений.

Методики испытаний, если они не являются типовыми стандартизованными методиками, должны быть аттестованы в установленном порядке и согласованы с соответствующими органами государственного надзора РФ.

По материалам **ГОСТ РВ 15.210.2001** перечислим основные мероприятия по подготовке испытаний, состоящие в следующем:

Перечислим основные мероприятия по подготовке испытаний, состоящие в следующем [11]:

- наличие, годность и готовность на месте проведения испытаний средств материально-технического и метрологического обеспечения в соответствии с программой испытаний;
- обучение и при необходимости аттестацию персонала, допускаемого к испытаниям;
- назначение комиссии либо соответствующих служб (если комиссия не назначается);
- своевременное представление к месту испытаний опытного образца продукции с комплектом конструкторской, нормативной, справочной и другой документации, предусмотренной программой испытаний.

Заданные и фактические данные, полученные при испытаниях, заносятся в протоколы. В условиях современных предприятий радиотехнической и радиоэлектронной промышленности используются

системы автоматизированного проведения испытаний и контроля, о которых будет рассказано подробнее в последующих главах.

Испытания считают законченными, если их результаты оформлены актом, подтверждающим выполнение программы испытаний и содержащим оценку результатов испытаний, отражающую соответствие испытываемого опытного образца продукции требованиям ТЗ.

5.1.9. Этап 9. Приемка результатов ОКР

При создании продукции по госзаказу проводят государственные приемочные испытания. Приемку продукции проводит государственная или приемочная комиссия в процессе проведения приемочных испытаний опытных образцов изделий. При создании продукции по госзаказу проводят государственные приемочные испытания, по договорам с заказчиками и в инициативном порядке – приемочные испытания. Головные образцы несерийной продукции подвергают приемочным испытаниям с целью решения вопроса о допустимости их использования по назначению, а для повторяющейся несерийной продукции – для решения вопроса о целесообразности постановки продукции на несерийное производство.

При наличии заказчика председателем комиссии назначают его представителя. Состав комиссии формирует и утверждает заказчик или, при согласии заказчика, разработчик. В состав комиссий включаются представители разработчика, заказчика, изготовителя опытных образцов, изготовителя будущей серийной продукции и других заинтересованных организаций. В работе комиссии могут участвовать эксперты сторонних организаций. Все органы государственного надзора, определенные действующим законодательством для данной продукции, либо участвуют в приемочных испытаниях, либо дают заключения по результатам испытаний и должны быть информированы о предстоящих испытаниях за один месяц до их начала. При отсутствии представителя органа государственного надзора или его заключения считают, что орган государственного надзора согласен на приемку разработки или не заинтересован в ней.

Государственные приемочные испытания продукции организует государственный заказчик. Приемочные испытания продукции с участием заинтересованных органов и организаций организует разработчик. Для составных частей продукции, разрабатываемых по ТЗ головного исполнителя ОКР, самостоятельные приемочные испытания проводят с участием заинтересованных организаций. По требованию заказчика или в соответствии с правилами оценки соответствия обязательным требованиям технических регламентов проведение испытаний может быть поручено специализированной испытательной организации (испытательному центру) или изготовителю опытных образцов, если это оговорено в ТЗ на выполнение ОКР или в договоре.

Приемочная комиссия проводит приемочные испытания опытных образцов продукции, контролирует полноту, достоверность и объективность результатов испытаний, а также полноту информации, соблюдение сроков испытаний и документальное оформление их результатов. Органы государственного надзора определяют при приемочных испытаниях степень соответствия продукции обязательным требованиям и выдают по результатам испытаний окончательное заключение, что отражается в акте или в отдельном документально оформленном заключении.

Разработчик представляет приемочной комиссии ТЗ на выполнение ОКР, проект технических условий (ТУ) или стандарта технических условий (если их разработка предусмотрена), конструкторские и технологические документы, требующие совместного рассмотрения, отчет о патентных исследованиях, другие технические документы и материалы, требуемые по законодательству, подтверждающие соответствие разработанной продукции ТЗ и договору и удостоверяющие ее технический уровень и конкурентоспособность.

По результатам проведения приемочных испытаний и рассмотрения представленных материалов комиссия составляет акт, в котором указывает, следуя требованиям Государственных стандартов, следующее [5], [11]:

- 1) соответствие образцов продукции заданным в ТЗ требованиям, допустимость ее производства и сдачи потребителю;

- 2) результаты оценки технического уровня и конкурентоспособности продукции, в том числе в патентно-правовом аспекте;
- 3) результаты оценки разработанной технической документации и проекта ТУ;
- 4) рекомендации о возможности дальнейшего использования опытных образцов продукции;
- 5) рекомендации по изготовлению установочной серии и ее объеме (при постановке продукции на производство);
- 6) замечания и предложения по доработке продукции и документации;
- 7) другие рекомендации, замечания и предложения приемочной комиссии.

Акт приемочной комиссии утверждает заказчик. Утверждение акта приемочной комиссии означает окончание разработки, согласование представленных ТУ и технической документации. По результатам государственных или приемочных испытаний проводится окончательная корректировка документации с присвоением литеры «О₁».

5.1.10. Этап 10. Постановка продукции на производство

Техническая документация с литерой «О₁» передается предприятием-разработчиком предприятию-изготовителю для выпуска установочной серии изделий и запуска в серийное производство. При этом результаты приемочных испытаний должны быть признаны органами государственного надзора.

Взаимоотношения между разработчиком и заводом-изготовителем регламентируются договором, который заключается на период освоения изделий в серийном производстве. Разработчик при этом обязуется передать заводу-изготовителю несколько комплектов копий конструкторской и технологической документации, обучить представителей завода процессам наладки и регулировки, новым технологическим процессам и т. д. Изготовитель принимает от разработчика продукции:

- комплект КД и ТД литеры «О₁» или более высокой;
- специальные средства контроля и испытаний;

- опытный образец продукции (при необходимости) в соответствии с условиями использования научно-технической продукции, оговоренными в договоре на ОКР;
- документы о согласовании применения комплектующих изделий в соответствии с ГОСТ 2.124;
- заключения по проведенным экспертизам (в том числе метрологической, экологической и др.);
- копию акта приемочных испытаний;
- документы, подтверждающие соответствие разработанной продукции обязательным требованиям.

Завод-изготовитель должен выполнить работы, обеспечивающие технологическую готовность предприятия к изготовлению продукции в соответствии с требованиями КД и законодательства Российской Федерации, а также следующие основные работы:

- разработку ТД (или корректировку полученной ТД) на изготовление продукции для поставки, контроля и испытаний;
- отработку конструкции на технологичность с учетом стандартов ЕСТД;
- заключение договоров с поставщиками комплектующих изделий и материалов и лицензионных соглашений с правообладателями на использование объектов промышленной и интеллектуальной собственности;
- подготовку и представление в территориальные органы Госстандарта России каталожного листа продукции в установленном порядке.

В период постановки продукции на производство изготовитель проводит все необходимые работы для последующей обязательной по законодательству сертификации продукции.

Подготовку производства считают законченной, когда изготовителем продукции получена вся необходимая документация, разработана (отработана) ТД на изготовление продукции, опробованы и отлажены средства технологического оснащения и технологические процессы, подготовлен персонал, занятый при изготовлении, испытаниях и контроле продукции [9].

Представители разработчика осуществляют курирование основных этапов подготовки производства.

5.1.11. Этап 1. Освоение производства изделий

На этапе освоения производства выполняют следующие виды работ [11]:

- изготовление установленного договором либо иным документом количества единиц продукции установочной серии;
- квалификационные испытания;
- дальнейшую отработку (при необходимости) конструкции на технологичность;
- утверждение КД и ТД с присвоением литеры «А».

Для подтверждения готовности предприятия к выпуску продукции проводят квалификационные испытания по программе, разработанной изготовителем с участием разработчика продукции и согласованной с заказчиком. В программе указывают [11]:

- количество единиц продукции, подвергаемых испытаниям и проверкам, исходя из их сложности, стоимости, надежности и других факторов, необходимых для достоверных оценок;
- все виды испытаний, соответствующих периодическим испытаниям, указанным в ТУ, а также другие испытания и проверки, позволяющие достигнуть цели квалификационных испытаний.

Квалификационные испытания обеспечивает изготовитель продукции. Испытания проводит комиссия, в состав которой входят представители изготовителя, разработчика продукции, разработчиков и поставщиков комплектующих изделий и при необходимости органов государственного надзора и других заинтересованных сторон. Результаты квалификационных испытаний считают положительными, если продукция выдержала испытания по всем пунктам программы испытаний, положительно оценена технологическая оснащенность производства и стабильность технологического процесса изготовления для возможности выпуска продукции в заданных объемах [9].

Продукции установочной серии не является товарной продукцией, а отдел технического контроля (ОТК) осуществляет только их контроль.

После выпуска и положительных испытаний установочной партии изделий (или головного образца единичного производства) освоение производства считается законченным, и разработ-

чик передает все оригиналы технической документации заводу-изготовителю, который при необходимости перевыпускает ее, присваивая литеру «А».

В процессе эксплуатации и ремонта изделий, изготовленных в серийном (массовом) производстве, может возникнуть необходимость в корректировке функциональных, принципиальных, монтажных и других схем, конструкторской и технологической документации, выявленная достаточно долговременной эксплуатацией изделий или изменением поставляемых комплектующих изделий и материалов.

Эти изменения вносятся в КД с помощью Извещения в установленном порядке, по откорректированной документации производится изготовление опытного образца и его испытание в полном объеме. В случае положительных результатов корректируется документация на заводе-изготовителе.

5.1.12. Интегральный технический показатель качества изделия

Оценка качества нового изделия производится путем сравнения его характеристик с соответствующими характеристиками аналога. При замене новым изделием по функциональному назначению нескольких существующих изделий, то в качестве аналога используется их совокупность. Оценка уровня качества новых изделий производится путем сравнения основных групп технико-эксплуатационных параметров: назначения, надежности, технологичности, унификации, эргономичности, патентно-правовых и экологических. Перечень показателей производится разработчиком. Обоснование выбора должно содержаться в отчетных материалах ОКР. Для разных групп радиоэлектронной аппаратуры используют разные показатели функционального назначения [3], [9].

Необходимость подробного описания процесса внедрения НИОКР в промышленность продиктована тенденцией повышения эффективности современного производства за счет его наукоемкости, применения информационных технологий. Как правило, к научным разработкам привлекаются специалисты высших учебных заведений и отраслевых исследовательских институтов и лаборато-

рий. Зачастую в процессе взаимодействия разработчика и заказчика приходится устранять противоречия и трудности. Это обусловлено, с одной стороны, слабой подготовленностью производства к принятию научных разработок, с другой стороны, недостаточной осведомленностью представителей науки о технологических процессах и условиях эксплуатации РЭС. Поэтому необходима совместная работа в заводских подразделениях. Такой подход – гарантия успешного выполнения договорных обязательств.

Контрольные вопросы

1. Назовите и охарактеризуйте основные этапы ОКР.
2. Как составляется договор на ОКР?
3. Что такое эскизное проектирование?
4. Что такое опытный образец?
5. Как осуществляется приемка результатов ОКР?

Глава 6. Подготовка производства на заводе-изготовителе

6.1. Подготовка производства – заключительная часть инновационного процесса

В подготовке производства участвуют все службы завода-изготовителя.

Особая ответственность за освоение новых изделий ложится на серийное конструкторское бюро (СКБ) при предприятии.

Подготовка производства на заводе-изготовителе является заключительной частью инновационного процесса, особенно если вывод товара на рынок подготовлен пробным маркетингом. В подготовке производства участвуют практически все службы завода. Входной информацией для подготовки является наличие полного комплекта конструкторской документации и маркетинговая оценка производственной программы. Подготовка производства проходит по следующим стадиям [11]:

- окончание конструкторской подготовки производства (КПП);
- технологическая подготовка производства (ТПП);
- организационная подготовка производства (ОПП).

Широкое использование информационных и наукоемких технологий на современных предприятиях позволяет включить подготовку серийного производства аппаратуры в перечень задач выполнения НИР и ОКР. Разработчик заинтересован в результатах своего труда, в которых присутствует доля его интеллектуальной и промышленной собственности. При этом заключается договор на оказание необходимой помощи и содействия предприятию-изготовителю с привлечением специалистов разработчика к участию в процессах подготовки производства.

6.2. Пробный маркетинг

После проведения технологических испытаний опытных образцов производители начинают рыночные испытания (пробный маркетинг). Проблема проведения рыночных испытаний новых изделий зависит от многих факторов, главные из которых следующие [5]:

- цели и ресурсы производителя;
- вид изделий, предполагаемый объем выпуска и тип рынка;
- степень достоверности маркетинговой информации и исследований;
- степень уверенности производителя в конкурентном успехе нового товара на рынке.

Рыночные испытания проводят (исходя из условий функционирования производителя и типа изделий) или в опытном, или в серийном производстве.

Цели рыночных испытаний: испытание товара в условиях реального использования, выявление мнений и замечаний потребителей (заказчика) об особенностях использования товара, определение размеров рынка и общего прогноза сбыта. В ходе испытаний уточняется производственная программа выпуска изделий. Такие испытания дают информацию для принятия решения о целесообразности серийного производства изделий.

При развертывании производства предстоят большие расходы на подготовку производства, затраты на капитальное строительство, на каналы распространения и стимулирования сбыта изделий. Производитель должен решить следующие вопросы – когда, где, кому и как продавать новый товар. Поясним подробнее суть этих вопросов.

Своевременность выпуска нового товара определяется отсутствием риска ухудшения сбыта других подобных товаров производителя из-за выпуска нового. Тогда в его конструкцию можно внести дополнительные усовершенствования, иначе выпуск нового товара может быть отложен.

Производитель принимает решение о реализации товара на определенных географических рынках – региональном, федеральном, международном. Если производитель не может быть уверен в успешной реализации продукции, устанавливается временной график последовательного освоения рынков.

Выбираются выгодные рынки сбыта продукции для освоения. Принимаются меры стимулирования сбыта, льготы по реализации.

Разрабатывается план маркетинга нового товара.

Отвечая на эти вопросы, производитель определяет дальнейший ход подготовки производства и промышленного освоения новых изделий. Определяются следующие показатели: производственная мощность фирмы; тип производства; производственная структура; график производства по годам (обычно берется год, три года, пять лет).

6.3. Конструкторская подготовка производства (КПП)

Данная работа предназначена для адаптации конструкторской документации к условиям серийного производства конкретного предприятия-изготовителя.

Состав работ конструкторской подготовки производства предприятия-изготовителя определяется Госстандартами [11]:

1. Получение конструкторской документации от разработчика.
2. Проверка документации на комплектность.
3. Внесение изменений в соответствии с особенностями предприятия-изготовителя.
4. Внесение изменений по результатам отработки конструкции на технологичность.
5. Внесение изменений по результатам технологической подготовки производства.
6. Техническое сопровождение изготовления опытной партии изделий.

7. Внесение изменений в конструкторскую документацию по результатам изготовления опытной партии.

8. Присвоение документации литеры «О₂» для изготовления установочной серии.

9. Техническое сопровождение изготовления установочной серии.

10. Перевод документации в литературу «А» для установившегося серийного производства.

11. Выпуск ремонтной, экспортной и иной документации.

12. Техническое сопровождение серийного производства.

6.4. Технологическая подготовка производства

В стандартах «Единой системы технологической подготовки производства» даны подробные разъяснения основных определений (ЕСТПП).

Технология производства, или технологический процесс (ТП) – основная часть производственного процесса, заключающаяся в выполнении определенных действий в соответствии с технологической документацией, направленных на изменение исходных свойств объекта производства и достижение им определенного состояния, соответствующего конструкторской документации. Конструирование и технология производства не могут выполняться в отдельности, без учета взаимосвязей между собой и другими этапами создания новой продукции.

Конструирование и технология являются этапами общего процесса «разработка – производство – эксплуатация» и определяют общие потребительские свойства РЭА.

В процессе ТПП решаются следующие задачи:

- отработка изделия на технологичность;
- разработка технологических маршрутов и процессов;
- разработка специальной технологической оснастки;
- технологическое оснащение производства;
- техническое сопровождение изготовления опытной партии, установочной серии и установившегося серийного производства [5].

Исходными данными для проведения ТПП являются:

- 1) полный комплект конструкторской документации на новое изделие;

- 2) максимальный годовой объем выпуска продукции с учетом изготовления запасных частей;
- 3) предполагаемый срок выпуска изделий и объем выпуска по годам;
- 4) планируемый режим работы предприятия (количество смен, продолжительность рабочей недели);
- 5) планируемый коэффициент загрузки оборудования основного производства;
- 6) планируемые поставки предприятию деталей, узлов, полуфабрикатов;
- 7) планируемые поставки предприятию стандартных изделий от предприятий-поставщиков;
- 8) предполагаемые рыночные цены новых изделий.

6.5. Отработка изделий на технологичность

Технологическую рациональность характеризуют: трудоемкость изготовления; удельная материалоемкость; коэффициент использования материала; технологическая себестоимость; удельная энергоемкость изготовления изделия; удельная трудоемкость подготовки изделия к функционированию; коэффициент применимости материалов; коэффициент применения групповых и типовых технологических процессов и др.

6.5.1. Выбор оптимального варианта технологического процесса

В различных вариантах технологических процессов изготовления новых изделий могут применяться разнообразные заготовки, оборудование, технологическая оснастка и т. д., что приводит к различным трудоемкости, производительности и использованию рабочих различной квалификации. Основными критериями для выбора оптимального технологического процесса являются себестоимость и производительность.

6.5.2. Организационная подготовка производства

Функции организационной подготовки производства [11]:

- 1) плановые (в том числе, предпроизводственные расчеты хода производства, загрузки оборудования, движения материальных потоков, выпуска на стадии освоения);

2) обеспечивающие (кадрами, оборудованием, материалами, полуфабрикатами, финансовыми средствами);

3) проектные (проектирование участков и цехов, планировка расположения оборудования).

В процессе организационной подготовки производства (ОПП) используются конструкторская, технологическая документация и данные для проведения технологической подготовки производства.

6.6.3. Ускорение организации производства

Подготовка производства – сложный процесс, состоящий из многих стадий и занимающий существенное время. Если завод-изготовитель входит в состав организации, выполняющей НИОКР, то возможно и целесообразно сквозное внутрифирменное планирование всего жизненного цикла изделия с временным перекрытием определенных этапов, хотя это и увеличивает риск возможных экономических потерь в случае неудачи на каком-либо этапе. В случае полной уверенности в НИОКР возможно максимальное запараллеливание процессов разработки и подготовки производства.

6.7. Особенности создания единичных и мелкосерийных изделий

Изделия (партия изделий) единичного и мелкосерийного производства на момент сдачи в эксплуатацию должны удовлетворять требованиям действующих технических регламентов, обеспечивать эффективное функционирование объекта или выполнение технологического процесса, для которого они предназначены, а в случае перспективы экспорта – быть конкурентоспособными на внешнем рынке. Разработка, изготовление и приемка изделия осуществляются как для продукции единичного производства.

Исходным документом для создания изделий является техническое задание. Оценка технического уровня изделия проводится на этапе разработки технического задания или на этапе рассмотрения технического проекта (при его отсутствии – рабочей документации) с участием заинтересованных организаций. Результаты оценки яв-

ляются основанием для присвоения изделию категории качества. Карту технического уровня и качества продукции как самостоятельный документ не оформляют, а необходимые сведения о сравнении показателей с аналогами включают в техническое задание.

Технические условия на изделие не составляют. Изготовление, приемку и поставку этого изделия осуществляют в соответствии с техническим заданием. В случае продолжения производства данных изделий разрабатывают технические условия, которые согласовывают, утверждают и регистрируют в установленном порядке. Для изделий, подлежащих государственной аттестации, дополнительно оформляют карту технического уровня и качества продукции. По согласованию с заказчиком при повторении единичного заказа допускается технические условия не составлять, а изготовление, приемку и поставку осуществлять по ранее разработанному техническому заданию. Патентный формуляр составляют только на изделия, идущие на экспорт.

6.7.1. Техническое задание (ТЗ)

ТЗ на создание изделия разрабатывает заказчик. В ТЗ устанавливают технические и экономические требования к изделию, его разработке, изготовлению, испытаниям и приемочному контролю составных частей, требования к поставке, монтажу, наладке, испытаниям, приемке, техническому обслуживанию и ремонту, а также сроки разработки, изготовления, монтажа и сдачи в эксплуатацию. В ТЗ также должны быть даны ссылки на действующие государственные и отраслевые стандарты, технические условия, нормы, правила и инструкции органов государственного надзора, если установленные в ТЗ требования к изделию или его составным частям подпадают под их действие.

ТЗ согласовывают с разработчиком, если оно выдано заказчиком, а также с изготовителем. Необходимость согласования ТЗ с другими участниками создания продукции и заинтересованными организациями определяет разработчик ТЗ. При необходимости изменения ТЗ оно осуществляется на любом этапе создания изделия оформлением протокола, подписанного заказчиком, разработчиком и изготовителем. Протокол является неотъемлемой частью ТЗ, а на титульном листе ТЗ должна быть запись «Действует со-

вместно с протоколом № ... от». Действие ТЗ распространяется на все этапы создания изделия (партии), включая сдачу его в эксплуатацию и достижение проектных значений показателей [5].

6.7.2. Стадии разработки конструкторской документации

Стадии разработки документации устанавливают в ТЗ. Обязательными стадиями разработки конструкторской документации являются технический проект и рабочая документация. По согласованию с заказчиком допускается разрабатывать только рабочую документацию. Необходимость и порядок разработки технического предложения и эскизного проекта определяет разработчик.

Рассмотрение технического проекта должно проводиться со всеми участниками создания продукции. Необходимость участия в рассмотрении других заинтересованных организаций определяет разработчик. На рассмотрение представляют техническое задание и комплект документов технического проекта или комплект рабочей документации, по которым можно судить об изделии в целом и его основных составных частях. При рассмотрении документации оценивают ее соответствие требованиям ТЗ, требованиям и нормам, содержащимся в других действующих нормативных документах.

По результатам рассмотрения принимают решение об утверждении технического проекта или его доработке. Утвержденный проект является основанием для разработки рабочей документации и изготовления по ней изделия и его составных частей.

Рабочую конструкторскую документацию разрабатывает и утверждает разработчик. Конструкторской документации для изготовления изделия литер не присваивается. По мере готовности рабочая документация передается изготовителю в порядке, определенном разработчиком и согласованном с изготовителем.

Программу и методику испытаний изделий разрабатывает и утверждает разработчик по согласованию с заказчиком. При необходимости, определяемой разработчиком и указанной в ТЗ, их согласовывают с головным разработчиком и утверждают программы и методики испытаний составных частей. Решение о литературе документации, откорректированной по результатам доводки и испытаний изделий, принимает приемочная комиссия.

6.7.3. Изготовление и испытания изделий

Каждая составная часть изделий должна подвергаться у изготовителя приемо-сдаточным испытаниям (приемочному контролю), которые проводит служба технического контроля изготовителя, а также представитель приемки, если она имеется на данном предприятии. При необходимости в испытаниях участвуют представители заказчика и органов госнадзора. Положительные результаты приемочного контроля (приемо-сдаточных испытаний) являются основанием для отгрузки изделия (составной части изделия) заказчику.

Монтаж, наладку изделий, а также приемочные испытания на месте эксплуатации проводит заказчик в соответствии с договорами, заключенными между заинтересованными организациями и предприятиями с привлечением в необходимых случаях специализированных организаций, при авторском надзоре разработчика и шефперсонала изготовителя. Доводку изделия проводит изготовитель с участием разработчика и заказчика [3].

Приемочную комиссию утверждает заказчик по согласованию с разработчиком. В состав комиссии включают представителей заказчика (председатель комиссии), разработчика, изготовителя, головной организации по виду продукции, монтажной, наладочной и ремонтной организаций (при их участии), а также (в зависимости от назначения изделия) представителей государственного надзора.

До начала испытаний приемочная комиссия определяет степень завершенности работ, рассматривает программу и методику испытаний, оценивает возможность воспроизведения заданных режимов испытаний и в случае необходимости вносит изменения в программу и методику испытаний. При изготовлении партии изделий испытаниям подвергают головной образец (образцы). По результатам испытаний головного образца в соответствии с рекомендациями приемочной комиссии доводят остальные экземпляры изделия (если они запущены в производство) с соответствующей корректировкой технической документации.

По результатам приемочных испытаний приемочная комиссия устанавливает соответствие изделия требованиям ТЗ и дает рекомендации по доработке. Комиссия составляет протокол приемочных испытаний изделия и акт приемки изделия приемочной комиссией.

Утвержденный акт приемки изделия является основанием для передачи изделия в промышленную эксплуатацию, а для изделий повторяющегося производства – для продолжения производства [12], [13],

6.8. Постановка на производство продукции по лицензиям

Постановка на производство продукции по технической документации иностранных фирм необходима, когда предприятие получает лицензию на новую продукцию. Этими требованиями можно руководствоваться и при запуске в производство изделий отечественных фирм по их документации. Как правило, данная продукция получается путем сборочных операций из поставляемых частей.

6.8.1. Обоснование приобретения лицензии

Решения о закупке лицензии на производство рекомендуется принимать после проработки следующих вопросов [11].

1. Степень удовлетворения запросов потребителей, сфера и масштабы ее реализации, пригодность к совместному применению с отечественной продукцией.

2. Соответствие продукции требованиям действующих технических регламентов.

3. Возможность получения от фирмы образцов продукции для испытаний.

4. Обеспечение производства продукции производственными мощностями, технологическим оборудованием и средствами метрологического обеспечения (отечественными, требующими разработки и освоения, импортными).

5. Обеспечение материалами, сырьем, комплектующими изделиями для производства и эксплуатации продукции (отечественными, требующими разработки и освоения, импортными).

6. Объем приобретенных прав (право производства, экспорта, использования патентов, товарного знака и т. п.).

7. Форма, состав и объем полученной от фирмы технической документации, сроки и порядок передачи, в каком виде передается документация (в имеющемся у фирмы или специально переработанная для передаваемой страны).

8. Взаимоотношения с фирмой по технической документации (условия, порядок внесения изменений и т. д.).

9. Форма и объем передачи сведений типа «ноу-хау».

10. Возможность испытаний на фирме отечественных комплектующих изделий и материалов для оценки их применимости при изготовлении продукции.

11. Форма и порядок оказания фирмой технической помощи, в том числе в обучении специалистов.

12. Форма и порядок контроля фирмы за качеством выпускаемой по ее документации продукции.

13. Обмен техническими усовершенствованиями и патентами в период действия соглашения.

14. Взаимоотношения сторон после окончания срока действия соглашения.

После испытаний опытной партии изделий предприятию выдается разрешение для производства и применения продукции лицензионной продукции.

Продукцию, представляющую повышенную потенциальную опасность для жизни и здоровья населения и окружающей среды, допускают к производству и применению при наличии разрешения соответствующего органа государственного надзора.

Постановка лицензионной продукции на производство включает подготовку технической документации фирмы для использования на предприятии-изготовителе, подготовку производства и его освоение.

6.8.2. Подготовка технической документации

Подготовка технической документации должна приводиться в объеме, необходимом и достаточном для производства продукции с учетом сохранения условий гарантийных обязательств фирмы, а также соблюдения действующих в стране требований по условиям реализации и эксплуатации продукции. При подготовке технической документации проводят внесение необходимых уточнений в техническую документацию фирмы или ее переоформление под существующее на изготовителе технологическое оборудование, разработку недостающих документов, разработку технической документации на заменяемые материалы и комплектующие изделия с учетом стандартизации и унификации производства.

В зависимости от степени учета в технической документации фирмы требований, действующих в стране, работы по ее уточнению могут включать введение новых документов, приведение документации в соответствие с требованиями действующих в стране (в отрасли) стандартов и норм.

Если конструкторская, технологическая и программная документация фирмы оформлена по правилам, отличным от требований стандартов ЕСКД, ЕСТД и ЕСПД, то необходимость и объем ее переоформления определяет изготовитель с учетом использования документации для дальнейшей собственной разработки продукции, а также с учетом подготовки кадров, степени готовности предприятия к производству продукции и т. п.

Техническая документация, по которой будет изготавливаться продукция, должна иметь двойное обозначение документов, фирмы и предприятия-изготовителя или специальный штамп типа «По лицензии». В составе технической документации на продукцию должен быть нормативно-технический документ (стандарт предприятия или технические условия). Согласование, утверждение и регистрацию нормативно-технического документа проводят в установленном порядке, как правило, до запуска продукции в производство.

Эксплуатационную документацию составляют на основе технической документации фирмы и в соответствии с требованиями отечественных стандартов. Ремонтные документы разрабатывают на основе конструкторской документации фирмы. Возможность замены материалов и комплектующих изделий, указанных в технической документации фирмы, должна проверяться сравнительными испытаниями и подтверждаться фирмой.

Подготовку производства осуществляют в порядке, установленном для продукции, разрабатываемой в стране. При оснащении производства технологическим оборудованием, закупленным у фирмы, необходимо учитывать условия заключенных контрактов. При освоении производства продукции в общем случае проводят специальную подготовку кадров, пуск и опробование средств технологического оснащения, изготовление и квалификационные испытания установочной серии (первой промышленной партии).

При изготовлении установочной серии проводят работы по выявлению возможных дефектов изготовленной продукции, по улучшению технологии производства, вносят изменения в техническую документацию при условии сохранения установленных значений показателей качества продукции. Квалификационные испытания установочной серии являются обязательными. Программой испытаний предусматриваются испытания изготовленных образцов на соответствие требованиям нормативно-технического документа и технической документации, а также сравнение полученных значений показателей с соответствующими показателями образцов фирмы. В квалификационных испытаниях вправе принять участие соответствующие органы госнадзора, которые должны быть заблаговременно информированы о предстоящих испытаниях. Образцы средств измерения из установочной серии подвергают государственным контрольным испытаниям в соответствии с ГОСТами.

Из установочной серии отбирают образцы для утверждения их в качестве эталонов. Порядок утверждения эталонов – по ГОСТ 15.009 или ГОСТ 15.007 с учетом результатов сравнения изготовленных образцов с образцами, полученными от фирмы.

Еще раз отметим, что основным стандартом Российской Федерации по СРПП является ГОСТ Р 15.000-94 «Система разработки и постановки продукции на производство. Основные положения».

Контрольные вопросы

1. Что является заключительной частью инновационного процесса?
2. Что такое пробный маркетинг?
3. Как осуществляется конструкторская подготовка производства?
4. Как осуществляется технологическая подготовка производства?
5. Что такое технологичность изделий?
6. Как осуществляется постановка в производство продукции по лицензии?
7. Как обосновывается приобретение лицензии?

Глава 7. Стандартизация. Документооборот, базы данных

7.1. Государственная стандартизация

В предыдущих главах проводились неоднократные ссылки на материалы государственных стандартов, цитировались основные определения и методики. Примером основополагающих стандартов являются ГОСТ Р 1.0-92, ГОСТ Р 1.4-93, ГОСТ Р 1.5-93 (нормативные документы по организации Государственной системы стандартизации России).

Разработка и постановка продукции на производство регламентируются комплексом стандартов Системы разработки и постановки продукции на производство (СРПП). Основополагающим стандартом является ГОСТ Р 15.000-94 «Система разработки и постановки продукции на производство. Основные положения».

Следует выделить основные определения классификации конструкторской документации [14].

Стандартизация есть метод обеспечения единства качества параметров массовой промышленной продукции, снижения ее разнообразия и трудоемкости изготовления путем установления обязательных норм на параметры изделий или производственные процессы.

Стандарт – нормативно-технический документ по стандартизации, устанавливающий комплекс норм, правил, требований к объекту стандартизации и утвержденный компетентными органами, например ИСО – международная организация по стандартизации.

В настоящее время в России применяются следующие категории стандартов: ГОСТ – государственный стандарт; ОСТ – отраслевой стандарт; РСТ – республиканский стандарт; СТП – стандарт предприятия, СТО – научно-технический стандарт, стандарт инженерных обществ и других общественных объединений.

ГОСТы являются обязательными документами для предприятий, организаций и учреждений России. ГОСТы разрабатываются на продукцию массового и крупносерийного производства, прошедшую государственную аттестацию, а также на нормы, правила, обозначения, проектную, конструкторскую, технологическую и прочую нормативно-техническую документацию межотраслевого и межреспубликанского значения.

ОСТы – для данной отрасли, а также для всех потребителей продукции, выпускаемой по ОСТам. ОСТы разрабатывают на нормы, правила, термины, обозначения, техпроцессы, оснастку и инструменты, сырье, материалы, топливо, узлы, механизмы и конечную продукцию мелкосерийного, ограниченного или отраслевого применения.

СТП действует только в пределах данного предприятия или объединения. СТП разрабатывают на объекты стандартизации, применяемые только на данном предприятии.

Действующие в стране стандарты можно разделить на две группы:

1. Направленные на повышение качества продукции.
2. Устанавливающие оптимальное разнообразие видов, марок и типоразмеров различной продукции.

Стандарт ГОСТ Р 15.201-2000 «Продукция производственно-технического назначения. Порядок разработки и постановки продукции на производство» устанавливает основные положения по разработке технического задания (ТЗ), конструкторской и технологической документации, приемке результатов разработки, подготовке и освоению производства, испытаниям опытных образцов продукции, а также по подтверждению их соответствия обязательным требованиям государственных стандартов. Требования стандарта допускается конкретизировать в методических документах. Рассматриваются следующие стадии и виды работ жизненного цикла продукции [11]:

- стадия «Разработка», вид работ «Опытно-конструкторская работа по разработке продукции»;

- часть стадии «Производство», вид работ «Постановка на производство».

Существует также ГОСТ 15.005-86 «Создание изделий единичного и мелкосерийного производства, собираемых на месте эксплуатации». Стандарт устанавливает порядок разработки, согласования и утверждения технического задания, технической документации, порядок изготовления, контроля, монтажа, приемки и сдачи в эксплуатацию изделий единичного и мелкосерийного производства и их составных частей, окончательная сборка, наладка, испытания и доводка которых могут быть проведены на месте эксплуатации в составе конкретного производственного объекта [5].

ГОСТ 15.311-90 «Постановка на производство продукции по технической документации иностранных фирм» устанавливает основные положения постановки на производство серийной продукции по рабочей технической документации иностранных фирм и распространяется на продукцию, предназначенную целиком или частично к реализации в стране. Продукция должна соответствовать требованиям, обеспечивающим безопасность для жизни и здоровья населения, охрану окружающей среды и быть пригодной к совместному применению с отечественной продукцией.

Из нескольких вариантов конструкции, решающей одинаковые функции, оптимальным является только один, который и должен быть принят к разработке. Он используется в следующих разработках, пока не будет создан новый, более качественный вариант. Такой принцип положен в основу стандартизации и создает благоприятные условия для составляющих стандартизации – преемственности, повторяемости, типизации и унификации элементов конструкции [11].

Преемственность – это объем применения в новом изделии ранее разработанных и освоенных производством деталей и узлов. Снижает сроки разработки конструкции и стоимость подготовки производства (за счет использования имеющегося инструмента).

Повторяемость – характеризуется числом одинаковых узлов и деталей в изделии. Упрощается конструкция и стоимость ее изготовления.

Типизация – это процесс целесообразного сокращения многообразия конструкций за счет создания типовых широко применяемых деталей и узлов. Наивысшая степень типизации – унификация.

Унификация – это процесс сокращения многообразия типовых деталей и узлов или изделий путем объединения их в группы по определенным признакам и функциям. Унифицированные элементы конструкции позволяют создавать различные приборы и устройства на базе исходных моделей с минимальными затратами времени и средств. Это осуществляется путем создания унифицированных рядов функциональных изделий, схожих по форме и отличающихся между собой параметрами либо размерами. Эти ряды образуют соответственно параметрические и размерные ряды.

Параметрические ряды охватывают элементы с вариацией параметров. В таких рядах параметры представляются в виде мощности, емкости, сопротивления, коэффициента усиления, количества определенных возможностей цифрового устройства и т. д.

Степень унификации оценивают коэффициентом унификации:

$$K_y = N_y / N,$$

где N_y – количество унифицированных деталей, N – общее количество деталей.

Нормализация – метод внедрения в пределах предприятия, объединения или ведомства норм, рационально ограничивающих разнообразие типоразмеров конструкции, материалов, полуфабрикатов, обрабатывающего и измерительного инструмента и других норм общей применяемости. Документом, регламентирующим обязательное применение какой-либо из норм, является нормаль. Нормали ограничивают также и общие технические регламенты.

Стандартизация – метод обеспечения единства качества параметров массовой промышленной продукции, снижения трудоемкости ее изготовления путем установления обязательных требований [11].

В России действует Единая система конструкторской документации (ЕСКД). Государственные стандарты, входящие в ЕСКД, устанавливают взаимосвязанные единые правила и положения по порядку разработки, оформления и обращения конструкторской документации на изделия, разрабатываемые и выпускаемые предприятиями всех отраслей промышленности России.

Применение ЕСКД при разработке РЭА обеспечивает:

а) возможность взаимообмена техническими документами между различными предприятиями внутри страны и между государствами без их переоформления;

б) сокращение типов и упрощение форм технических документов и графических изображений, снижающих трудоемкость проектирования;

в) механизацию и автоматизацию обработки технических документов и содержащейся в них информации.

Требования стандартов ЕСКД распространяются на все виды конструкторской документации и научно-техническую лите-

ратуру. Несоблюдение стандартов ЕСКД запрещается законом. ЕСКД – язык конструктора, и его должен знать и умело применять разработчик любого вида изделий.

7.2. Конструкторская документация

Конструкторские документы (КД) бывают графические и текстовые.

Виды конструкторских документов. Государственные стандарты устанавливают виды и комплектность конструкторских документов на изделия всех отраслей промышленности. Конструкторские документы – документы, в отдельности или в совокупности определяющие состав и устройство изделия и содержащие необходимые данные для его разработки и изготовления, контроля, приемки, эксплуатации и ремонта.

7.2.1. Графические конструкторские документы

Это документы, в которых с помощью установленных стандартом символов и правил поясняются устройство, принцип действия, состав и связи между отдельными частями изделия. К ним относят [11]:

чертеж детали – изображение детали и данные, необходимые для ее изготовления и контроля;

сборочный чертеж (СБ) – изображение сборочных единиц и другие детали, необходимые для сборки и контроля;

чертеж общего вида (ВО) – изображение конструкции изделия, дающее представление о взаимодействии его основных частей и принципе работы;

теоретический чертеж (ТЧ) – геометрическая форма изделия и координаты расположения его основных частей;

габаритный чертеж (ГЧ) – контурное (упрощенное) изображение изделия с габаритными, установочными и присоединительными размерами;

монтажный чертеж – контурное (упрощенное) изображение изделия, содержащее данные для его установки (монтажа);

электромонтажный чертеж (ЭМ) – данные для электрического монтажа изделия;

установочный чертеж (УЧ) – данные для установки изделия;

схема – составные части изделия в виде условных изображений или обозначений и связи между ними;

спецификация – состав сборочной единицы, комплекса или комплекта.

7.2.2. Текстовые конструкторские документы

К ним относятся документы, содержащие описание устройства, принципа его действия и эксплуатационные показатели [11]:

ведомость спецификаций (ВС) – перечень всех спецификаций составных частей изделия с указанием их количества и входимости;

ведомость ссылочных документов (ВД) – перечень ссылочных документов, на которые имеются ссылки в конструкторских документах изделия;

ведомость покупных изделий (ВП) – перечень покупных изделий, примененных в составе изделия;

ведомость согласования применения изделий (ВИ) – подтверждение согласования с соответствующими организациями применения определенных покупных изделий;

ведомость держателей подлинников (ДП) – перечень предприятий, на которых хранятся подлинники документов, примененных в данном изделии;

ведомость технического предложения (ВТ) – перечень документов, вошедших в техническое предложение;

ведомость эскизного проекта (ЭП) – перечень документов, вошедших в эскизный проект;

ведомость технического проекта (ТП) – перечень документов, вошедших в технический проект;

пояснительная записка (ПЗ) – описание устройства и принципа действия изделия, а также обоснование принятых при его разработке технико-экономических решений;

технические условия (ТУ) – требования к изделию, его изготовлению, контролю качества, приемке и поставке;

программа и методика испытаний (ПМ) – технические данные, подлежащие проверке при испытании изделия, порядок и методы их контроля;

расчет (РР) – расчеты параметров и величин, например расчет размерных цепей, расчет на прочность, расчет теплового режима и др.;

расчет – расчеты параметров и величин, например расчет размерных цепей электрических режимов и т. д.;

таблица (ТБ) – данные, сведенные в таблицу;

эксплуатационные документы – документы для использования при эксплуатации, обслуживании и ремонте изделия в процессе эксплуатации;

ремонтные документы – данные для проведения ремонтных работ на специализированных предприятиях;

инструкция (И) – указания и правила, используемые при изготовлении изделия (сборке, регулировке, контроле и т. п.);

патентный формуляр (ПФ) – документ, содержащий результаты патентного поиска, осуществленного при разработке изделия.

7.2.3. Классификация КД по способу выполнения и характеру использования

По способу выполнения и характеру использования КД делят на [11]:

оригиналы – документы, выполненные на любом материале и предназначенные для изготовления по ним подлинников;

подлинники – документы, оформленные подлинными подписями и выполненные на любом материале, позволяющем многократное воспроизведение с них копий;

дубликаты – документы, идентичные подлиннику и выполненные на любом материале, позволяющем снятие с них копии;

копии – документы, выполненные способом, обеспечивающим их идентичность с подлинником (дубликатом) и предназначенные для непосредственного использования при разработке, изготовлении, ремонте и эксплуатации изделий;

проектные КД – документы, выполненные на этапах технического предложения, эскизного и технического проектов;

рабочие КД – документы, выполненные на этапе выпуска рабочей документации.

7.2.4. Обозначения (шифры) КД

Современная РЭА, как отдельный класс продукции, потребовала создания некоторых специфических конструкторских документов: схем алгоритмов; диаграмм временных и микропро-

граммной логики; таблиц сигналов, идентификаторов сигналов, проверки параметров.

Существует группа документов КД на программное обеспечение. Правила составления программной документации устанавливается единой системой программной документации (ЕСПД).

Единая система технологической документации (ЕСТД) включает в себя группу стандартов, определяющих правила составления и обращения технологических документов.

Несмотря на то, что сокращенные названия конструкторской документации приводятся в ГОСТ 2.106-96, для запоминания их удобно представить в виде таблицы 1.

Эта информация предназначена для использования знаний и навыков, полученных при изучении компьютерной графики.

Таблица 1

Шифры конструкторских документов

Сборочный чертеж	СБ
Чертеж общего вида	ВО
Теоретический чертеж	ТЧ
Габаритный чертеж	ГЧ
Монтажный чертеж	МЧ
Схема электрическая структурная	Э1
Схема электрическая функциональная	Э2
Схема электрическая принципиальная	Э3
Схема электрическая соединений	Э4
Схема электрическая подключений	Э5
Схема электрическая общая	Э6
Схема электрическая расположения	Э7
Чертеж электромонтажный	МЭ
Спецификация	СП
Таблица соединений	ТБ
Таблица сигналов	ТС
Схема распайки	Д1
Таблицы	ТБ
Расчеты	РР

7.2.5. Требования к выполнению конструкторских графических документов

Правила выполнения ЕСКД устанавливают основные требования к выполнению конструкторских графических документов: выбору формата чертежей и масштабов изображения, правилам простановки размеров и введения обозначений, выполнения чертежей различных видов изделий и построения спецификаций.

Основными форматами приняты 11 – А4 (размеры сторон 297 X 210), 12 – А3 (297 X 420), 22 – А2 (594 X 420), 24 – А1 (594X841) и 44 – А0 (1189X841).

В графических КД определены:

масштабы уменьшения (1:2, 1:2,5; 1:4; 1:5; 1:10; 1:15; 1:20; 1:25; 1:40; 1:50; 1:75; 1:100; 1:200; 1:400; 1:500; 1:800; 1:1000);

масштабы увеличения (2:1; 2,5:1; 4:1; 5:1; 10:1; 20:1; 40:1; 50:1; 100:1).

Стандарты устанавливают правила нанесения размеров для всех встречающихся на практике случаев. Основные правила нанесения размеров и предельных отклонений на чертежах следующие:

а) общее число размеров на чертеже должно быть минимальным, но достаточным для изготовления и контроля изделия;

б) размеры, не обеспечиваемые при изготовлении изделия по данному чертежу и указанные для удобства пользования, называют справочными и отмечают знаком «*» с помещением записи «Размеры для справок»;

в) линейные размеры и их допустимые отклонения указывают на чертежах в миллиметрах без обозначения единицы измерения;

г) при обозначении размеров простые дроби не применяют, за исключением размеров в дюймах;

д) повторение размеров одного и того же элемента изделия на разных видах не допускается;

е) нанесение размеров в виде замкнутой цепи не допускается;

ж) при указании радиуса перед размерным числом помещают прописную букву R, при указании размера диаметра – знак Ø;

з) предельные отклонения размеров указывают непосредственно после номинальных значений [11].

7.2.6. Требования к выполнению текстовых конструкторских документов

Текстовые документы выполняют машинописным, рукописным или типографским способом. Вписывать отдельные слова, формулы, условные знаки, вносить схемы и рисунки необходимо черным цветом.

Для размещения утверждающих и согласовывающих подписей к ТД рекомендуется составлять один или несколько титульных листов.

Содержание ТД разбивают на разделы и подразделы, а при большом объеме – на части. Разделы должны иметь порядковые номера, обозначенные арабскими цифрами в пределах всего документа. Подразделы в пределах каждого раздела должны иметь составные номера, первая часть которых означает номер раздела, а вторая, отделенная от первой точкой, – номер подраздела. В пределах подраздела допускается разбивать текст на пункты и подпункты. Номер пункта должен состоять из номера раздела, подраздела и пункта, разделенных точками.

В документах большого объема содержание рекомендуется располагать в начале, а список литературы и документации, использованной при составлении документа, в конце. Если в документе была принята специфическая терминология, то в нем необходим перечень принятых терминов с пояснениями. Сокращения слов в тексте и под иллюстрациями не допускается [3].

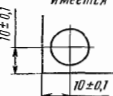
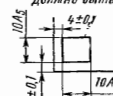
7.2.7. Порядок внесения изменений в конструкторскую документацию

Вносить изменения в конструкторские документы, также аннулировать их можно на основании «Извещения на изменениях», которое должно быть подписано и утверждено определенными должностными лицами (рис. 3).

Изменения в подлинниках производят, как правило, зачеркиванием. При этом изменяемые данные зачеркивают тонкими линиями так, чтобы можно было прочесть зачеркнутое, а рядом пишут новые данные.

При необходимости можно часть графического изображения обвести тонкой замкнутой линией и перечеркнуть, а на свобод-

ном поле чертежа выполнить измененный участок изображения. Зачеркнутый и вновь изображенный участки должны быть обозначены одинаковыми римскими цифрами, над изображением должно быть написано «взамен зачеркнутого».

ИЗВЕЩЕНИЕ		ОБОЗНАЧЕНИЕ		ПРИЧИНА		ЛИСТ	ЛИСТОВ
АБВГ 374		см. ниже		введение конструктивных усовершенствований		2	1
Дата выпуска 12.X.74		Дата изм. 25.X.74		Расширено		Указание о внедрении	
Задел		Использовать				Внедрить с изд. № 45	
Изм.	Содержание изменения						Применяемость
к	АБВГ ХХХ ХХХ 135						АБВГ ХХХ ХХХ 270
							
в	АБВГ ХХХ ХХХ 37В Изменение внести подчисткой Должно быть						
	 						
в	АБВГ ХХХ ХХХ 26З Ввести: 6 Расстояние между печатными проводниками платы не менее 0,5 мм						
Составил		Проверил	Г. контр.	Н. контр.	Утвердил	Заказчик	Приложение
Подлинник исправил		Контр. копию исправил					

Ф. 2.503-1

Рис. 3. Пример «Извещения» на внесение изменения

Обычно изменения каждого документа оформляют отдельным «Извещением». Допускается вносить изменения в несколько документов одним

«Извещением», если изменения взаимосвязаны и имеют общий срок внесения изменений в документы и внедрения в производство. На основном поле извещения показывают содержание изменяемого участка в том виде, в каком оно должно быть после внесения изменения. Если изменение нужно внести подчисткой или если можно понять неоднозначно, то приводят содержание изменяемого участка до и после изменений.

Если «Извещение» оформляют на один чертеж, то в графе «Обозначение» пишут обозначение изменяемого документа, а в графе «Изм.» – порядковый номер изменения в документе в виде строчной буквы русского алфавита (рис. 3).

Если в конструкторском документе обнаружена ошибка, которая может привести к появлению брака, то допускается вносить изменения непосредственно в копии за подписью ответственного лица. Такие изменения также должны быть оформлены «Извещением» [3].

7.3. Схемная документация

Разработчик тогда работает эффективно, когда его идея легко может быть переложена на конструкторский язык. Этот язык – язык схем. Схемная документация является основной при разработке РЭА. Регламентируется разработка схем ГОСТ 2.701-84 «Виды, типы и общие требования к выполнению схем». Приведем основные виды схем [11].

Схема – графическая конструкторская документация, на которой в виде условных изображений или обозначений показаны составные части изделия и связи между ними. Схемы применяют при изучении принципа действия механизма, прибора, аппарата при их изготовлении, наладке и ремонте, для понимания связи между составными частями изделия без уточнения особенностей их конструкции. Схемы являются исходным базисом для последующего конструирования отдельных частей и всего изделия в целом.

7.3.1. Виды и типы схем

По виду элементов, входящих в состав изделия, связей между ними и назначения схемы подразделяют на виды и типы (табл. 2).

Таблица 2

<i>Вид схемы</i>	<i>Обозначение</i>	<i>Тип схемы</i>	<i>Обозначение</i>
Электрические	Э	Структурные	1
Гидравлические	Г	Функциональные	2
Пневматические	П	Принципиальные	3
Газовые	Х	Соединений (монтажные)	4
Кинематические	К		
Вакуумные	В	Подключения	5
Оптические	Л	Общие	6
Энергетические	Р	Расположения	7
Комбинированные	С	Объединенные	0

Структурные схемы (Э1) определяют основной состав изделия и его функциональные части, их назначение и взаимосвязи. Структурные схемы используют как для построения схем других типов, так и для общего ознакомления с изделием.

Функциональные схемы (Э2) поясняют процессы, происходящие в отдельных функциональных узлах и частях изделия или в изделии в целом. Функциональными схемами пользуются для построения принципиальных схем, изучения принципа работы изделия, а также при его наладке, ремонте и эксплуатации.

Принципиальные схемы (Э3) определяют полный состав элементов, связей между ними, дают детальное представление о принципе работы изделия. На основе принципиальных схем разрабатывают такие конструкторские документы, как схемы соединений (монтажные), чертежи конструктивных элементов, узлов, устройств.

Схемы соединений (Э4) показывают соединения составных частей изделия и определяют провода, жгуты, кабели и другие соединительные изделия, а также места их присоединения и ввода. Схемы соединения используют при разработке конструкторских графических и текстовых документов, а также при ремонте и эксплуатации изделия.

Схемы подключений (Э5) показывают внешние подключения изделия. Схемы подключений используют при монтаже изделия на месте эксплуатации, а также при его ремонте.

Общие схемы (Э6) определяют составные части комплекса и соединения их между собой на месте эксплуатации.

Схемы расположения (Э7) устанавливают взаимное расположение отдельных составных частей комплекса, а при необходимости и соединяющих их жгутов, проводов, кабелей и т. д. Схемami расположения пользуются при установке и эксплуатации изделия [11].

7.3.2. Составляющие части схем

Схемы имеют в своем составе следующие объекты:

элемент схемы – составная часть схемы, которая не может быть разделена на части, имеющие самостоятельное значение (микросхема, резистор, трансформатор и др.);

устройство – совокупность элементов, представляющая единую конструкцию (блок, модуль). Устройство может не иметь определенного функционального назначения;

функциональная группа – совокупность элементов, выполняющих определенную функцию и не объединенных в единую конструкцию;

функциональная часть – элемент, устройство или функциональная группа, имеющие строго определенное функциональное назначение;

функциональная цепь – линия, канал на схеме, указывающие на наличие связи между функциональными частями изделия;

линия взаимосвязи – отрезок линии на схеме, указывающий на наличие связи между функциональными частями изделия;

линия электрической связи – линия на схеме, указывающая путь прохождения тока, сигнала и др.

Разработка схем осуществляется по правилам, изложенным в соответствующих стандартах ЕСКД. В них приводятся условные графические обозначения элементов схем, требования к вычерчиванию линий связей между элементами, правила размещений технических данных на условные графические обозначения и т. д.

7.3.3. Правила выполнения электрических схем

Схема электрическая структурная. На схеме электрической структурной (Э1) показывают все функциональные части РЭА и основные взаимосвязи между ними (рис. 4).

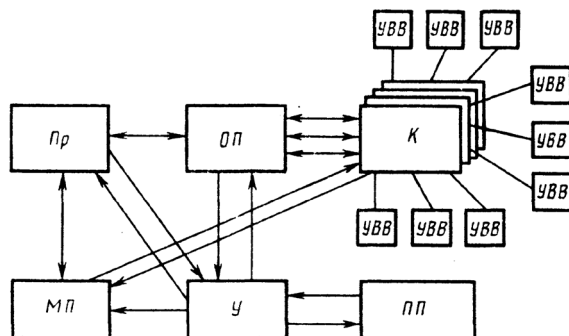


Рис. 4. Пример структурной схемы

Функциональные части можно изображать условно графически или в виде прямоугольников. В последнем случае внутри прямоугольника приводят наименование данной функциональ-

ной части. Линии взаимосвязей рекомендуется обозначать стрелками, показывающими направления хода процесса, движения информации и т. п. При большом числе функциональных частей рекомендуется взамен обозначений, наименований и типов вводить порядковые номера, проставляя их слева направо и сверху вниз. В этом случае расшифровку номеров производят в таблице, помещаемой над основной надписью [4].

Построение структурной схемы поясняется примером схемы электрической структурной (рис. 4, где Пр – процессор; ОП – оперативная память; МП – местная память; ПП – постоянная память; У – управление; К – каналы, УВД – устройство ввода – вывода).

Схема электрическая функциональная. На схеме электрической функциональной (Э2) показывают функциональные части аппаратуры, участвующие в процессе, и связи между этими частями. Функциональные части изображают, как правило, в виде условных графических обозначений, однако допускается применение прямоугольников. На схеме должны быть указаны: для каждой функциональной группы – наименование; для каждого устройства, изображенного прямоугольником, – наименование, обозначение или тип; для каждого устройства, изображенного в виде условного графического обозначения, – обозначение или тип; для каждого элемента – позиционное обозначение, присвоенное ему на принципиальной схеме, или тип. Наименования, обозначения или типы рекомендуется вписывать в прямоугольники. Допускается на схеме помещать поясняющие надписи, диаграммы или таблицы, определяющие последовательность прохождения процессов во времени, а также указывать параметры в характерных точках (форма и величина импульсов, реализуемая логическая функция и т. д.) (рис. 5) [5], [8].

Схема электрическая принципиальная. На схеме электрической принципиальной (Э3) указывают все элементы, необходимые для построения РЭА или ее отдельного узла, связи между элементами и элементы, которыми заканчиваются входные и выходные цепи. Элементы в схеме изображают в виде условных графических обозначений (УГО). Расстояние между двумя соседними линиями условных графических обозначений должно быть не менее 0,8 мм.

Это требование задается для того, чтобы подписи на схемах были разборчивы. Перечислим необходимые условия правильности выполнения принципиальной схемы [15], [16], [17].

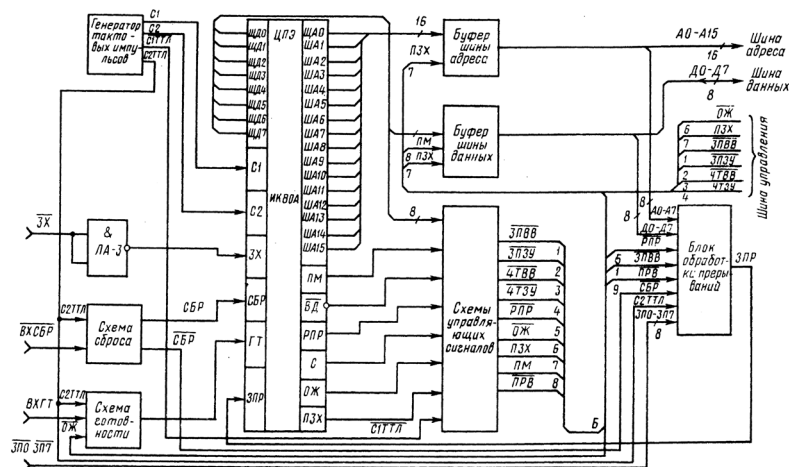


Рис. 5. Пример построения функциональной схемы процессорного блока

Условные графические обозначения на схеме ЭЗ располагают так, чтобы изображения связей между ними были кратчайшими линиями с минимальным числом пересечений. Линии связей должны быть показаны полностью, однако при необходимости их допускается обрывать, заканчивая места обрыва стрелками с обозначением места включения. Для упрощения чертежа схемы можно несколько электрически не связанных линий связи сливать в общую утолщенную линию, но при подходе к контактам каждая линия должна быть изображена отдельно, линии связи при этом необходимо пронумеровать одинаковыми числами на обоих концах (рис. 6) [5].

Каждый элемент, входящий в схему, должен иметь буквенно-цифровое позиционное обозначение, составленное из буквенного индекса и порядкового номера. Порядковые номера элементам присваивают начиная с единицы сверху вниз в направлении слева направо, в пределах группы элементов, которым на схеме дан одинаковый буквенный индекс.

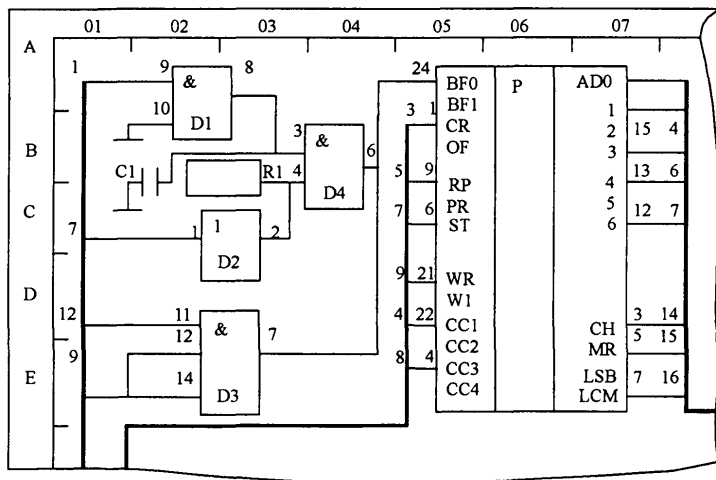


Рис. 6. Схема электрическая принципиальная

Если элемент состоит из нескольких частей, то допускается к его позиционному обозначению добавлять цифры, присваиваемые каждой части элемента (например, Э1-1, Э1-2, Э1-3 означают первую, вторую и третью части элемента D1).

УГО цифровых элементов строится на основе прямоугольника и может содержать основное и два дополнительных поля. Ширина основного поля должна быть не менее 10 мм, дополнительных – не менее 5 мм, расстояние между выводами – 5 мм.

Выводы элементов делятся на входы, выходы и выходы, не несущие информации. Входы изображают слева, выходы справа, остальные выводы – с любой стороны УГО. При необходимости разрешается поворачивать УГО на 90° по часовой стрелке, располагая входы сверху, а выходы снизу.

Функциональное назначение элемента указывают в верхней части основного поля УГО. Его составляют из прописных букв латинского алфавита, арабских цифр и знаков, записываемых без пробела. Обозначения основных функций приведены в табл. 3.

В дополнительных полях условного графического обозначения элементов цифровой техники дается информация о функциональных назначениях выводов, указатели, метки (см. ГОСТ).

Для облегчения усвоения учебного материала приведем таблицу условных обозначений для цифровых схем [14].

Таблица 3

Условные обозначения цифровых схем

<i>Наименование функции</i>	<i>Обозначение</i>	<i>Наименование функции</i>	<i>Обозначение</i>
И	&, И	Регистр	RG
ИЛИ	1	со сдвигом вправо	RG →
Сложение по модулю 2	M2	со сдвигом влево	RG ←
Эквивалентность	=	с реверсным сдвигом	RG ↔
Исключающее ИЛИ	-1	Одновибратор	S
«и, и только и»	-п	Пороговый элемент	TH
Логический порог	≥п	Формирователь сигнала	F
Мажоритарность	≥М	Вычислитель	CP
Дешифратор	DC	Процессор	P
Шифратор	CD	Память	M
Сравнение	- -	Управление	CO
Полусумматор	HC	Перенос	CR
Сумматор	SM	Прерывание	INR
Монтажное И	&, ◇	Передача	TF
Монтажное ИЛИ	1, ◇	Прием	RC
Кодовый преобразователь	X/Y	Ввод-вывод	IO
Триггер	T	Арифметика	A
Триггер двухступенчатый	TT	Мультиплексор	MUX
Счетчик:	CT	Демультимплексор	DMX
двоичный	CT2	Селектор	SL
десятичный	CT10	Дискриминатор	DIC
Задержка	DL	Ключ	SW
Генератор	G	Нелогический элемент	*
Усилитель	▷		
Усилитель мощности	▷▷		

Буквенные коды групп элементов схем приведены в табл. 4.

Таблица 4

Буквенные коды групп элементов

<i>Группа видов элементов</i>	<i>Первая буква кода</i>	<i>Группа видов элементов</i>	<i>Первая буква кода</i>
Схемы интегральные, микросборки	D	Конденсаторы	C
Элементы разные	E	Резисторы	R
Предохранители	F	Приборы электровакуумные	V
Приборы измерительные	P	Катушки индуктивности, дроссели	L
Устройства коммутационные	S	Реле	K
Трансформаторы	T	Устройства индикационные и сигнальные	H
Соединители контактные	X	Генераторы	G

Данные обо всех элементах, включенных в схему, должны быть записаны в перечень. Связь перечня с условными графическими обозначениями элементов осуществляется через позиционные обозначения. В отдельных случаях допускается сведения об элементах располагать на схеме около условных графических обозначений. Перечень элементов к принципиальной схеме носит название ПЭЗ.

7.4. Единая система технологической документации

Государственные стандарты ЕСТД устанавливают единые правила и положения по порядку разработки, оформления и обращения технологической документации, разрабатываемой и применяемой на предприятиях всех отраслей промышленности страны.

Технологические документы (ТД) – текстовые и графические документы, в отдельности или в совокупности определяющие порядок изготовления изделия, проведения процессов и содержащие необходимые данные для контроля и приемки изделий.

Виды и правила проектирования ТД определяются видом производства, на котором будут изготавливаться или ремонтироваться изделия. В машино- и приборостроении в зависимо-

сти от назначения производство можно разделить на основное (товарной продукции), вспомогательное (средств, необходимых для обеспечения основного производства) и опытное (опытных образцов, партий и серий изделий).

По типу производства разделяются на единичное, серийное и массовое. По организации – на поточное, групповое и установившееся. По уровню применяемых средств автоматизации и механизации – на автоматизированное и механизированное.

По виду или признаку применяемого метода для изготовления (ремонта) изделия различают: литейное, прессовое, механообрабатывающее, термическое, сборочное, сварочное, гальваническое, лакокрасочное, полупроводниковое, вакуумное и другие производства.

Виды технологической документации можно представить в виде структурной схемы [5], [11].

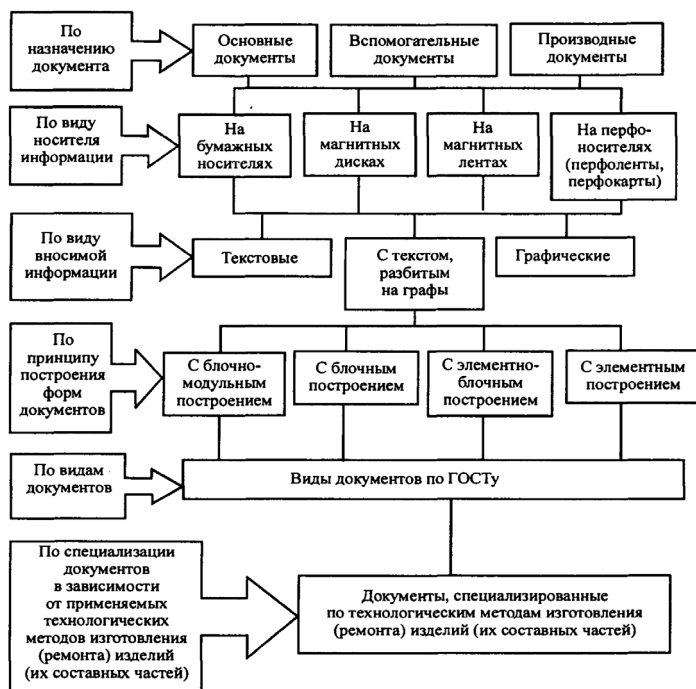


Рис. 7. Виды технологической документации

Стадии разработки технологической документации определяются этапами разработки КД на изделие. На конструкторском этапе «Техническое предложение» ТД не разрабатывается, на этапах «Эскизный проект» и «Технический проект» ТД разрабатывается как «Предварительный проект». В отдельных отраслях промышленности существует «Директивная технологическая документация», предназначенная не для изготовления, а для выполнения предварительных расчетов различного рода задач (инженерно-технических, планово-экономических, организационных) в целях определения возможности размещения соответствующего заказа на том или ином предприятии.

Так как объем ТД при производстве изделий достаточно велик, все виды технологических документов классифицируют по назначению, носителю информации, виду вносимой информации, по принципу построения и специализации (рис. 7). Технологическая документация разрабатывается в технологических отделах. Она предназначена для работы цехов, испытательных участков, отделов технического контроля.

Основные технологические документы содержат различную информацию [11]:

- о комплектующих составных частях изделия и применяемых материалах;
- о действиях, выполняемых исполнителями при проведении технологических процессов и операций;
- о средствах технологического оснащения производства;
- о наладке средств технологического оснащения и применяемых данных по технологическим режимам;
- о расчете трудозатрат, материалов и средств технологического оснащения;
- о технологическом маршруте изготовления и ремонта.

Основные технологические документы используют, как правило, на рабочих местах. Вспомогательные технологические документы разрабатывают с целью улучшения и оптимизации организации работ по технологической подготовке производства. Производные технологические документы применяют для решения задач, связанных с нормированием трудозатрат, выдачей и сдачей материалов, полуфабрикатов и комплектующих изделий.

Различают следующие виды технологических документов [11]:

- ведомость технологических маршрутов (ВТМ) – сводная информация по технологическому маршруту изготовления изделия и его составных частей;

- ведомость материалов (ВМ) – сводные подетальные нормы расхода материалов на изделие;

- ведомость специфицированных норм расхода материалов (ВСН) – сводные данные по специфицированным нормам расхода материалов на изделие;

- ведомость удельных норм расхода материалов (ВУН) – удельные нормы расхода материалов, применяемых при выполнении процессов на покрытия;

- ведомость применяемости деталей (сборочных единиц) в изделии (ВП) – указания о применяемости деталей (сборочных единиц) в изделии;

- ведомость применяемости стандартных, покупных, оригинальных деталей и сборочных единиц (ВП/СОП) – то же, что и ВП;

- ведомость сборки изделия (ВП/ВСИ) – порядок сборки изделия с учетом очередности входимости составных частей и их количества;

- технологическая ведомость (ТВ) – указания по группированию деталей и сборочных единиц по конструкторско-технологическим требованиям;

- ведомость технологических документов (ВТД) – полный состав технологических документов, применяемых при изготовлении изделия;

- ведомость оснастки (ВО) – полный состав технологической оснастки, применяемой при изготовлении (ремонте) изделия;

- ведомость оборудования (ВОБ) – полный состав оборудования, применяемого при изготовлении (ремонте) изделия;

- технологическая инструкция (ТИ) – описание повторяющихся приемов работы, действий по наладке и настройке средств технологического оснащения, приготовлению растворов, электролитов, смесей и др., а также отдельных типовых и групповых технологических процессов (операций);

- маршрутная карта (МК) – сводные данные по составу применяемых операций, оборудованию, технологическим документам и по трудозатратам на технологический процесс;
- операционная карта (ОК) – описание единичных технологических операций;
- паспорт технологический (ТП) – комплекс процедур по выполнению технологических операций исполнителями, технологическому контролю, контролю представителями заказчика или госприемки;
- журнал контроля технологического процесса (ЖКТП) – предназначен для контроля параметров технологических режимов, применяемых при выполнении операций на соответствующем оборудовании, и др. [5].

Контрольные вопросы

1. Дайте определение государственной стандартизации.
2. Перечислите основную конструкторскую документацию.
3. Какая документация называется графической?
4. Что относится к текстовым конструкторским документам?
5. Дайте классификацию КД по способу выполнения и характеру использования.
6. Перечислите шифры КД.
7. Порядок внесения изменений в конструкторскую документацию.
8. Перечислите виды и типы схем.
9. Правила выполнения электрических схем.
10. Дайте определение единой системы технологической документации.

Глава 8. Уровни разукрупнения РЭС, элементная и конструктивная база

8.1. Классификация РЭС

Для эффективной работы специалиста – проектировщика РЭС необходимо представлять, где данная аппаратура будет размещена, в каких условиях эксплуатироваться.

Классификация РЭС приведена в ГОСТ 25467-82 [11].

РЭС различают по классам и группам использования, конструктивному исполнению, функциональному назначению, продолжительности работы, принципу действия, надежности, способу эксплуатации, типу технического обслуживания, элементной базе, типу производства [12], [13], [14].

Классификация РЭС по классам и группам использования и по исполнению приведена на рис. 8.

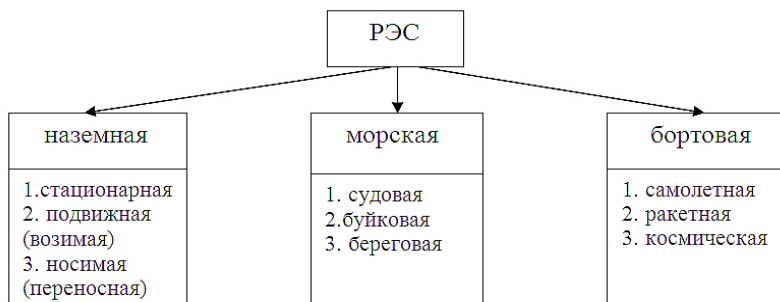


Рис. 8. Классификация РЭС по конструктивному исполнению

Классы подразделяют РЭС по трем зонам использования – наземная, морская, бортовая (воздушное и космическое пространство). Класс наземных РЭС состоит из трех основных групп – стационарной, подвижных объектов, носимой; при этом каждая из них включает подгруппы бытовой и профессиональной РЭС. Класс морской профессиональной РЭС содержит три группы – судовую, береговую и буйковую. Класс бортовых профессиональных РЭС включает три группы – самолетную, ракетную и космическую.

По **функциональному назначению** существуют следующие виды РЭС:

- **бытовая РЭС**: радиовещательные приемники, тюнеры, телевизионные приемники; видеомэгнитофоны, диктофоны, комбинированные устройства;

- **профессиональная РЭС**: системы радиосвязи; контрольно-измерительная аппаратура; медицинская аппаратура; студийная звуко- и видеозаписывающая и воспроизводящая аппаратура; специализированная вычислительная техника для приема, хранения, обработки и выдачи информации.

По **конструктивной сложности** в соответствии с ГОСТ 26632-85 различают четыре структурных уровня разукрупнения: **РЭМ-3, РЭМ-2, РЭМ-1, РЭМ-0**. Радиоэлектронный модуль третьего уровня (РЭМ-3) – функционально законченный радиоэлектронный шкаф, пульт, стойка, выполненные на основе базовой несущей конструкции и функциональной взаимозаменяемости; модуль второго уровня (РЭМ-2) – блок или рама; модуль первого уровня (РЭМ-1) – ячейка, плата. Модуль нулевого уровня (РЭМ-0) конструктивно совместим с модулем первого уровня и реализует преобразование информации или сигналов. Обычно это элементы (ЭРЭ, ИС, элементы функциональной электроники), не имеющие самостоятельного эксплуатационного применения (рис. 9) [5], [15].

По **продолжительности работы** различают четыре категории: РЭС многократного, однократного, непрерывного и общего применения. Аппаратура **однократного** применения используется один раз за период эксплуатации (ракетная), многократного – несколько раз. Аппаратура **непрерывного** применения предназначена для непрерывной эксплуатации (например, радиотрансляционный узел), РЭС **общего** применения работают в смешанном режиме (бытовая РЭС).

По **надежности** различают РЭС восстанавливаемые и невосстанавливаемые, с резервированием и без резервирования.

По **способу эксплуатации** РЭС подразделяют на автоматические полуавтоматические и с ручным управлением. Автоматизация повышает качество и скорость обслуживания, снижает эксплуатационные расходы. Однако автоматизация не всегда оправдана, так как она существенно усложняет РЭС и увеличивает их стоимость.

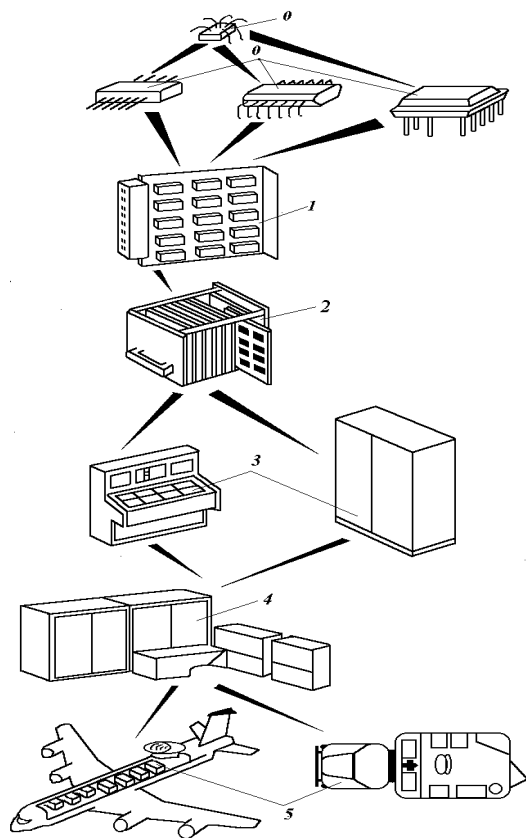


Рис. 9. Конструктивные уровни РЭС

По виду **технического обслуживания** (ТО) различают РЭС с ТО после периодического контроля, с ТО при непрерывном контроле и РЭС с регламентированным ТО, которое проводится независимо от состояния изделия к началу обслуживания. При этом под ТО понимают операцию или комплекс операций по поддержанию работоспособности при исправности изделия.

Классификация по функциональному назначению является доминирующей, так как предопределяет объект установки, а следовательно массу, форму, габариты, энергопотребление, стоимость, надежность, защиту от дестабилизирующих факторов [17].

8.2. Элементная база РЭС и история ее качественного развития

В состав элементов конструкции входят: 1. Электрорадиоэлементы (ЭРЭ). 2. Установочные элементы. 3. Элементы несущих конструкций. 4. Элементы монтажа и др. Первые две группы представляют собой схмотехнические элементы, а третья и четвертая группы – конструктивные элементы.

ЭРЭ применяются в основном в виде готовых, поставляемых предприятиями электронной промышленности радиодеталей и радиокомпонентов. Они составляют основу схмотехнической базы РЭС. В состав ЭРЭ входят микросхемы, микросборки, микроэлектронные узлы в корпусах и без них, устройства функциональной электроники, дискретные транзисторы, диоды, ЭВП, резисторы, постоянные и переменные конденсаторы, трансформаторы, переключатели, соединители, индикаторы.

Микросхема, интегральная схема (ИС) – микроэлектронное изделие, выполняющее определенную функцию преобразования и обработки сигналов и имеющее высокую плотность упаковки электрически соединенных элементов, компонентов и кристаллов. ИС с точки зрения требований к испытаниям, приемке, поставке и эксплуатации рассматривается как единое целое [11].

Элемент ИС – это часть ИС, реализующая функцию какого-либо простого ЭРЭ (транзистора, диода, резистора, конденсатора). Элемент нельзя отделить от кристалла ИС (или ее подложки) как самостоятельное изделие, следовательно, его нельзя испытать, установить и эксплуатировать.

Компонент ИС – это часть ИС, также реализующая функцию какого-либо ЭРЭ, однако компонент перед сборкой ИС был самостоятельным изделием в специальной упаковке (комплектующее изделие). Компонент в принципе может быть отделен от изготовленной ИС для замены при ремонте.

ИС разрабатываются и выпускаются предприятиями-изготовителями электронной промышленности в виде серий. Каждая серия отличается степенью комплектности и содержит несколько ИС, которые, в свою очередь, подразделяются на типоминималы. Под типоминималом ИС понимается ИС, имеющая конкретное функциональное назначение и свое условное обозначение [3].

Микросборка (по ГОСТ 17021-75) – микроэлектронное изделие, выполняющее определенную функцию и состоящее из элементов, компонентов и ИС (корпусированных и бескорпусных), а также других ЭРЭ, находящихся в различных сочетаниях. МСБ не сопровождается ТУ.

Устройства функциональной электроники (УФЭ) основаны на использовании физических принципов и явлений, реализация которых позволяет получить компоненты со сложным функциональным назначением в отличие от технологической интеграции, предусматривающей конструирование ИС на основе функционально простых элементов типа транзисторов, диодов, резисторов и т. д.

Установочные элементы – держатели предохранителей, колпачки, клавиши и т. д.

Конструктивные элементы обеспечивают механическую прочность, защиту от внешних воздействий, дестабилизирующих работу РЭС (влаги, инея, росы и др.), и механическое управление РЭС. Основу конструктивной базы составляют отдельные несущие конструкции и монтажные детали.

Несущие конструкции предназначены для механического закрепления, защиты от внешних воздействий и обеспечения доступности схемотехнических элементов при сборке и эксплуатации РЭС. К конструктивной базе относятся также: механические устройства управления в виде кнопочных и рычажных устройств и ручек, с помощью которых обеспечивается плавное и скачкообразное вращательное или поступательное движение рабочих органов регуляторов (резисторов, конденсаторов и т. п.); механизмы для механического перемещения подвижных рабочих элементов РЭС, таких как отсчетные устройства, облучатели и зеркала антенн, пленочные и другого типа носители информации; электромагнитные элементы; электродвигатели, сельсины, электромагнитные муфты приводов.

Развитие методов проектирования РЭС связано с качественным развитием электронной техники и элементной базы РЭС, определяемой техническим уровнем промышленного производства, применением информационных технологий и новых материалов.

Контрольные вопросы

1. Классификация РЭС.
2. Элементная база РЭС и история ее качественного развития.
3. Какова структура современных РЭС?
4. Перечислите и охарактеризуйте основные задачи конструирования современных РЭС.
5. Назовите основные группы требований к конструкциям РЭС.
6. Назовите варианты климатического исполнения РЭС.
7. Как подразделяются РЭС по размещению на объекте?
8. Дайте понятие категории, класса и группы РЭС.
9. На какие группы разделяется класс наземных РЭС?
10. На какие группы разделяются морские РЭС?
11. Назовите отличительные признаки класса бортовой аппаратуры.

Глава 9. Проектирование конструкций РЭС различного уровня и функционального назначения

9.1. Базовый метод конструирования РЭС

Автоматизация проектирования современных РЭС накладывает определенные требования к организации и проведению конструкторских работ.

В основу конструирования заложен **базовый метод**.

Суть его заключается в принципе деления аппаратуры на конструктивно и функционально законченные части. В связи с этим в пределах базового метода выделяют его разновидности: функционально-узловой, функционально-модульный и функционально-блочный. Деление базового метода на разновидности связано с ограничениями схемной и конструкторской унификации структурных уровней (модулей, функциональных узлов и блоков).

Базовый метод характеризуется следующими достоинствами:

- на этапе разработки позволяет вести работу над многими узлами и блоками, что сокращает сроки проведения разработок; резко упрощает конструирование;

- на этапе производства сокращает сроки освоения серийного производства аппаратуры, снижает стоимость аппаратуры;
- при эксплуатации повышает эксплуатационную надежность РЭС, облегчает обслуживание, улучшает ремонтпригодность.

Выбор метода конструирования производится по результатам сравнительного анализа перечисленных методов с позиций назначения, надежности, технологичности, ремонтпригодности и стоимости РЭС [3], [11].

Функционально-узловой метод заключается в том, что разрабатываемая конструкция расчленяется на функционально законченные узлы, которые могут быть отдельно сконструированы, изготовлены, настроены и испытаны до объединения их в общей конструкции. Это позволяет: свести к минимуму число внешних соединений; ввести параллельное проектирование составных частей изделия и за счет этого значительно выиграть во времени разработки; организовать параллельное производство функциональных узлов; собирать РЭС из относительно небольшого числа крупных сборочных единиц.

Функционально-модульное конструирование является логическим продолжением функционально-узлового метода. Использование модулей позволяет вследствие единообразия и унификации конструкций дополнительно выиграть в плотности монтажа, подготовке производства, эксплуатации и техническом обслуживании.

При модульном конструировании, базирующемся на централизованном производстве модулей, вся тяжесть разработки функционального узла перекладывается на специализированные предприятия, а проектирование систем сводится к проектированию на уровне структурной и компоновочной схем. Такой метод позволяет за счет расширения фронта работ и специализации разработчиков существенно выиграть во времени и качестве разработки.

Функционально-блочный метод конструирования применяют при относительно несложной РЭС, где выигрыш от упрощения (удешевления) конструкции и увеличение надежности за счет уменьшения числа электрических соединений является решающим. Предельным случаем функционально-блочного метода является моноблочная конструкция прибора, усилителя, генератора и т. п.).

Для бытовой и ракетно-космической аппаратуры наиболее характерен функционально-блочный метод, реализуемый на основе в виде моноблока на основе оригинальной конструкции. Для стационарной, подвижной и переносной аппаратуры специального назначения (ЭВМ, радиолокация и т. п.) основным является функционально-узловой метод.

Основой базового метода конструирования является **многоуровневый принцип построения**, то есть деление конструкции на части, которые находятся в **иерархической** подчиненности. Конструкторская иерархия реализуется с помощью уровней разукрупнения РЭС, габаритные размеры которых стандартизованы. Конструкции нижестоящего уровня совместимы с конструкциями вышестоящих уровней. По конструктивной сложности различают следующие уровни разукрупнения РЭС: шкаф (РЭМ-3), блок (РЭМ-2), ячейка (РЭМ-1). Радиокомпоненты и элементы, из которых создают различные конструктивные уровни, представляют собой нулевой уровень в иерархической структуре (РЭМ-0). Если устройства являются не только конструктивно, но и функционально законченными, то они называются модулями (составная часть, кратная целому).

Совокупность уровней разукрупнения РЭС определенного назначения образует конструкционную систему. Известны конструкционные системы РЭС измерительных приборов, электронной вычислительной аппаратуры, телевизионной, связной, авиационной и др. [3], [17].

9.2. Факторы внешней среды и их дестабилизирующее влияние на параметры РЭС

Факторы, воздействующие на работоспособность РЭС, группируются по трем признакам: климатическим, механическим и радиационным. Из этих признаков следует конструктивное исполнение аппаратуры, применение различных радиоматериалов и радиокомпонентов, проведение испытаний, упаковка, хранение и транспортировка. На рис. 10 представлена структурная схема классификации факторов внешней среды.



Рис. 10. Факторы, воздействующие на работоспособность РЭС

При конструировании РЭС должна быть обеспечена стойкость к воздействиям тех факторов внешней среды, которые характерны для условий эксплуатации, хранения и транспортирования объекта.

В зависимости от района предполагаемой эксплуатации РЭС, в соответствии со стандартом ГОСТ 15150-69 «Машины, приборы и другие технические изделия. Исполнение для различных климатических районов. Категории, условия эксплуатации, хранения и транспортирования в части воздействия климатических факторов внешней среды», различают девять основных климатических исполнений изделий:

1. Исполнение У (Умеренная) – для районов с умеренным климатом, характеризующимся сравнительно устойчивой температурой, влажностью и давлением. Температура воздуха изменяется от -45°C до $+40^{\circ}\text{C}$ при относительной влажности воздуха 70...80%. {Европа, Сибирь западная и южная, США, Северная Япония, Юг Африки, Америки}.

2. Исполнение УХЛ (Холодная) – для районов с умеренным и холодным климатом при среднегодовом минимуме температуры ниже -45°C . {Средняя и Восточная Сибирь, Аляска, Антарктида, Арктика}.

3. Исполнение ТВ (Тропическая влажная) – для районов с влажным тропическим климатом, при котором сочетание температуры, равной и выше $+20^{\circ}\text{C}$, и влажности, равной или выше 80%, наблюдается не менее 12 часов в сутки в течение двух и более месяцев в году {Индия, Индокитай, Индонезия}.

4. Исполнение ТС (Тропическая сухая) – для районов с сухим тропическим климатом со среднегодовой температурой, равной или выше $+40^{\circ}\text{C}$, которые не отнесены к районам с влажным тропическим климатом {Турция, Иран, Афганистан, Мексика}.

5. Исполнение М – для районов с умеренно холодным морским климатом, включающих моря, океаны и прибрежные территории, расположенные севернее 30° северной широты или южнее 30° южной широты.

6. Исполнение ТМ – для районов с тропическим морским климатом, включающих моря, океаны и прибрежные территории, расположенные между 30° северной широты и 30° южной широты.

7. Исполнение О – общеклиматическое исполнение для суши (кроме Антарктиды).

8. Исполнение ОМ – общеклиматическое морское исполнение для судов с неограниченным районом плавания.

9. Исполнение В – всеклиматическое исполнение для суши и моря (кроме Антарктиды).

ГОСТ 15150-69 устанавливает категории размещения РЭС на объекте эксплуатации:

- 1) на открытом воздухе;
- 2) под навесом и на объектах, где колебания температуры или влажности несущественно отличаются от условий открытого воздуха;
- 3) в закрытых помещениях с естественной вентиляцией и без кондиционирования;
- 4) в помещениях (объемах) с искусственным климатом, в отапливаемых помещениях;
- 5) в помещениях (объемах) с повышенной влажностью (подвалах, шахтах и трюмах с наличием воды).

Климатические условия в верхних слоях атмосферы характеризуются пониженным атмосферным давлением, повышенным солнечным излучением, сухостью воздуха (влажность 2...3% и ниже), резким перепадом температур.

В качестве нормальных климатических условий принимают: температуру окружающего воздуха – (15...35)°С, относительную влажность воздуха – (45...75)%, атмосферное давление – 86...104 кПа (650...808 мм рт. ст.).

Климатические факторы могут проявлять себя независимо друг от друга, а некоторые – в совместном воздействии с другими факторами той или иной группы.

Существует определенная связь между конкретным видом внешнего воздействия на аппаратуру и ускоряемым с его помощью физико-химическим процессом в конструкции [18].

Повышенная температура приводит к пересыханию защитных покрытий с деформацией или растрескиванием; миграции примесей в полупроводниках; изменению электрических характеристик; деформации сопрягаемых деталей с различными температурными коэффициентами расширения.

Пониженная температура вызывает конденсацию влаги; изменение электрических характеристик; деформацию сопрягаемых деталей.

Тепловой удар (термоудар) вызывает механические напряжения в местах пайки и других подвижных соединениях; растрескивание металлических и неметаллических покрытий.

Повышенная влажность приводит к снижению сопротивления изоляции между гальванически не связанными цепями, к электролизу, коррозии.

Пониженное давление приводит к снижению пробивного напряжения, ухудшению теплоотдачи.

Воздействие плесени, микроорганизмов, насекомых, грызунов может приводить к разложению и уничтожению элементов конструкции из органических материалов.

Воздействие механических и ряда климатических факторов (пыль, песок, тепловые удары) может привести к возникновению механических напряжений, вызывающих механические нарушения в конструкции, следствием которых является потеря работоспособности РЭС.

Влияние невесомости сказывается на изменении свойств смазывающих масел (изменение трения), а также значений начальных механических напряжений в местах крепления крупных блоков,

обусловленных собственным весом блоков. При невесомости нарушается конвекция, следовательно, и условия охлаждения РЭС.

Радиационные факторы (космическая радиация и облучение ядерными частицами) приводят к возникновению процесса ионизации в материалах, следствием чего являются обратимые, полубратимые и необратимые изменения свойств материалов. К необратимым изменениям относятся нарушение структуры полупроводниковых переходов, остаточная ионизация и соответствующее снижение изоляционных свойств диэлектриков.

Поскольку дестабилизирующие факторы внешней среды могут привести к выходу из строя аппаратуры, процесс разработки и конструирования РЭС должен быть направлен на выбор таких ЭРЭ и материалов, схмотехнических и конструкторских решений, которые бы в совокупности обеспечили стойкость аппаратуры к внешним воздействующим факторам заданной интенсивности.

9.3. Общие требования, предъявляемые к конструкциям РЭС

Вновь разрабатываемые РЭС должны отвечать следующим группам требований (рис. 11) [11], [15].

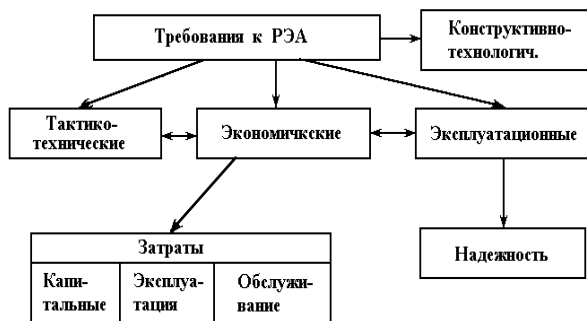


Рис. 11. Требования к РЭА

Тактико-технические требования содержатся в ТЗ на разработку РЭС и включают в себя:

- функциональное назначение (прием, передача, обработка сигналов, индикация, и др.),

- значения параметров, определяющих конструктивное решение (мощность излучаемая, потребляемая, частота, полоса пропускания и др.),

- объект установки,

- климатическое исполнение,

- категорию размещения на объекте,

- массогабаритные характеристики,

- закрепление на объекте (жесткое, быстросъемное, на амортизаторах и др.),

- коммуникационные сети на объекте (сети питания, антенных кабелей, шин заземления и др.),

- электромагнитную защиту на объекте (наличие одновременно работающих РЭС на том же объекте и их влияние, экранирование, устранение наводок).

Конструктивно-технологические требования включают:

- принципы построения конструкции изделия,

- технологичность,

- минимальную номенклатуру комплектующих изделий,

- предусмотрение мер защиты от климатических и механических факторов,

- ремонтпригодность.

Эксплуатационные требования:

- простота управления и обслуживания,

- наличие сигнализации опасных режимов работы (выход из строя, открывание дверей шкафов, обрыв заземления и др.),

- наличие аппаратуры контроля и наладки (стенды, имитаторы и т. д.),

- обеспечение нормальной работы оператора с учетом эргономики.

Конструктор должен руководствоваться информацией стандартов, содержащих требования к надежности, которые включают в себя обеспечение вероятности безотказной работы, наработки на отказ, среднего времени восстановления работоспособности, долговечности, сохраняемости. Для бытовой РЭС основным является показатель безотказности – средняя наработка на отказ Т. Значения Т должны выбираться из ряда: 3400, 3900, 4500, 5500, 6800, 7800, 9150, 11000, 13750, 18000, 27500 часов в соответствии с ГОСТ

21317-87 и ГОСТ 23262-88. Для профессиональных РЭС средняя наработка на отказ устанавливается в зависимости от условий эксплуатации, категории размещения, сложности аппаратуры, типа элементной базы (ГОСТ 14663-83).

Конкретные требования к надежности по различным типам РЭС приведены для приборов электроизмерительных в ГОСТ 22261-82, аппаратуры связи в ГОСТ 14663-83, приборов и средств автоматизации в ГОСТ 12997-84 и ГОСТ 27.003-90, средств вычислительной техники в ГОСТ 21552-84, медицинских приборов в ГОСТ 27.003-90, морской в ГОСТ 25792-85.

К **экономическим** требованиям относят: минимально возможные затраты времени, труда и материальных средств на разработку, изготовление и эксплуатацию РЭС, минимальную стоимость изделия после освоения его в производстве и рыночную цену.

Контрольные вопросы

1. Охарактеризуйте базовый метод конструирования РЭС.
2. Какие базы данных называются конструктивными?
3. Какие объекты входят в элементную базу?
4. Перечислите факторы внешней среды и их дестабилизирующее влияние на РЭС.
5. Перечислите общие требования, предъявляемые к конструкциям РЭС.

Глава 10. Алгоритмы статистического анализа теории надежности

10.1. Основные параметры надежности

Понятие надежности. Радиоэлектронная аппаратура предназначена для длительной работы в самых различных условиях. Поэтому параметр надежность является одним из самых основных. Надежность – зависит от надежности используемой элементной базы, от схемотехнических и конструкторских решений и технологии производства. Надежная работа РЭА – гарантия выполнения технологических процессов, своевременность и достоверность получения информации, обработка данных и эффектив-

ное управление различными объектами. Повышение надежности РЭА при ее проектировании и производстве является важной задачей разработчиков.

Требования и определение надежности регламентируются ГОСТ Э 27.002.2009, ГОСТ 27.003-90 «Состав и правила требований по надежности», ГОСТ 27.310-95 «Анализ видов, последствий и критичности отказов. Основные положения».

Под надежностью понимают свойство изделия выполнять заданные функции, сохраняя свои эксплуатационные показатели в заданных пределах в течение требуемого промежутка времени или требуемой наработки при соблюдении режимов эксплуатации, правил технического обслуживания, хранения и транспортировки. Продолжительность работы РЭА до предельного состояния, установленного в нормативно-технической документации, называют ресурсом изделия.

Надежность – это сложное комплексное понятие, с помощью которого оценивают такие важнейшие характеристики изделий, как работоспособность, долговечность, безотказность, ремонтно-пригодность, восстанавливаемость и др.

В любой момент времени РЭА может находиться в исправном или неисправном состоянии. Если РЭА в данный момент времени удовлетворяет всем требованиям, установленным в отношении как основных параметров, характеризующих нормальное выполнение вычислительных процессов (точность, быстродействие и др.), так и второстепенных, характеризующих внешний вид и удобство эксплуатации, то такое состояние называют исправным состоянием.

Неисправное состояние – это состояние РЭА, при котором она в данный момент времени не удовлетворяет хотя бы одному из этих требований, установленных в отношении как основных, так и второстепенных параметров.

Не каждая неисправность приводит к невыполнению РЭА заданных функций. Различают неисправности основные и второстепенные. Второстепенные неисправности называют дефектами. Например, образование вмятин или ржавчины на корпусе аппаратуры, выход из строя лампочек подсветки не могут препятствовать эксплуатации РЭА.

Основными эксплуатационными свойствами изделий с позиций обеспечения надежной работы являются: безотказность, ремонтоспособность, долговечность и сохраняемость.

Следующим параметром является **наработка** – продолжительность (или объем) работы изделия, измеряемая временем, циклами, периодами и т. п. В процессе эксплуатации или испытания изделия в зависимости от его назначения различают суточную или месячную наработку, наработку на отказ, среднюю наработку до первого отказа, гарантийную наработку и т. п. Суточная и месячная наработки оцениваются временем (циклами, периодами), которое изделие проработало в течение суток или месяца.

Нарботка на отказ – среднее значение наработки ремонтируемого изделия между отказами. Если наработка выражена в единицах времени, то используют термин среднее время безотказной работы. Под средней наработкой до первого отказа понимают среднее значение наработки изделий в партии до первого отказа. Для неремонтируемых изделий этот термин равнозначен понятию средней наработки до отказа.

Гарантийная наработка представляет собой наработку изделия, до завершения которой изготовитель гарантирует и обеспечивает выполнение определенных требований к изделию, при условии соблюдения потребителем правил эксплуатации, в том числе правил хранения и транспортировки. Срок гарантии устанавливается в технической документации или договорах между изготовителем и заказчиком.

Безотказностью называют свойство изделия сохранять свою работоспособность в течение некоторой наработки без вынужденных перерывов. Безотказность измеряется в единицах наработки.

Ремонтоспособность – свойство РЭА, заключающееся в приспособлении к предупреждению, обнаружению и устранению отказов и неисправностей путем проведения технического обслуживания и ремонтов.

Долговечность – свойство РЭА сохранять работоспособность до предельного состояния с необходимыми перерывами для технического обслуживания и ремонтов. Предельное состояние определяется технической непригодностью РЭА из-за

снижения эффективности эксплуатации или требований техники безопасности и оговаривается в технической документации.

Сохраняемость – свойство изделия сохранять эксплуатационные показатели в течение заданного срока хранения и после него.

Интенсивность отказов – зависимость интенсивности отказов от времени (кривая жизни изделия) [11].

Различают три вида отказов: обусловленные скрытыми ошибками в конструкторско-технологической документации и производственными дефектами при изготовлении изделий; обусловленные старением и износом радио- и конструкционных элементов; обусловленные случайными факторами различной природы.

Для оценки надежности систем введены понятия «работоспособность» и «отказ» [5], [11].

Работоспособность и отказы. Работоспособность – это состояние изделия, при котором оно способно выполнять заданные функции с параметрами, установленными требованиями технической документации. **Отказ** – событие, приводящее к полной или частичной утрате работоспособности изделия. По характеру изменения параметров аппаратуры *отказы* подразделяют на внезапные и постепенные.

Внезапные (катастрофические) отказы характеризуются скачкообразным изменением одного или нескольких параметров аппаратуры и возникают в результате внезапного изменения одного или нескольких параметров элементов, из которых построена РЭА (обрыв или короткое замыкание). Устранение внезапного отказа производят заменой отказавшего элемента исправным или его ремонтом.

Постепенные (параметрические) отказы характеризуются изменением одного или нескольких параметров аппаратуры с течением времени. Они возникают в результате постепенного изменения параметров элементов до тех пор, пока значение одного из параметров не выйдет за некоторые пределы, определяющие нормальную работу элементов. Устранение постепенного отказа связано либо с заменой, ремонтом, регулировкой параметров отказавшего элемента, либо с компенсацией за счет изменения параметров других элементов.

По взаимосвязи между собой различают отказы независимые, не связанные с другими отказами, и зависимые. По повторяемости возникновения отказы бывают одноразовые (сбои) и перемежающиеся.

Сбой – однократно возникающий самоустраняющийся отказ, перемежающийся – многократно возникающий сбой одного и того же характера.

По наличию внешних признаков различают отказы явные – имеющие внешние признаки появления, и неявные (скрытые), для обнаружения которых требуется провести определенные действия.

По причине возникновения отказы подразделяют на конструкционные, производственные и эксплуатационные, вызванные нарушением установленных норм и правил при конструировании, производстве и эксплуатации РЭА.

По характеру устранения отказы делятся на устойчивые и самоустраняющиеся. Устойчивый отказ устраняется заменой отказавшего элемента (модуля), а самоустраняющийся исчезает сам, но может повториться. Самоустраняющийся отказ может проявиться в виде сбоя или в форме перемежающегося отказа. Отказ типа сбоя особенно характерен для РЭА. Появление сбоев обуславливается внешними и внутренними факторами.

К внешним факторам относятся колебания напряжения питания, вибрации, температурные колебания. К внутренним факторам относятся флуктуационные колебания параметров элементов, несинхронность работы отдельных устройств, внутренние шумы и наводки [11].

10.2. Количественные характеристики надежности

При разработке РЭА необходимо для создания основной конструкторской документации предварительно оценить численно надежность РЭА. Формулы для основных расчетов приведены в отраслевых стандартах: ГОСТ Э 27.002.2009, ОСТ 4Г 0.12.242-84 «Аппаратура радиоэлектронная. Методы расчета показателей надежности», а также ОСТ 4Г.0.012.045-75, ОСТ 4Г 0.012.035-73, ОСТ 4Г.012.013-84 [5].

Для правильного выбора количественных показателей надежности РЭА проводится математическое и имитационное моделирование, позволяющее сравнивать технические характеристики различных изделий как на этапе проектирования, так и на этапе эксплуатации, определяется выбор радиоматериалов и радиоэлементов.

Возникновение отказов носит случайный характер. Процесс возникновения отказов в РЭА описывается методами статистического анализа. Для оценки надежности РЭА вводят количественные характеристики, основанные на обработке экспериментальных данных.

Безотказность изделий характеризуется вероятностью безотказной работы $P(t)$ (**характеризует скорость снижения надежности во времени**), частотой отказов $F(t)$, **интенсивностью отказов** $\lambda(t)$, средней наработкой на отказ T_{cp} . Можно также надежность РЭА оценивать вероятностью отказа

$$q(t) = 1 - P(t). \quad (1)$$

Приведенные характеристики верны и для ремонтируемых систем, если их рассматривать для случая до первого отказа.

Для испытания рассматривается постановка партия, содержащая N изделий. В процессе испытаний к моменту времени t вышли из строя n изделий, тогда исправными будет:

$$N(t) = N - n. \quad (2)$$

Отношение $Q(t) = n/N$ является оценкой вероятности выхода из строя изделия за время t . При увеличении количества изделий точность оценки увеличивается, т. е.

$$Q(t) = \lim_{N \rightarrow \infty} \frac{n}{N}. \quad (3)$$

Величина $P(t)$, равная

$$P(t) = 1 - Q(t), \quad (4)$$

называется теоретической вероятностью безотказной работы и характеризует вероятность того, что к моменту t не произойдет отказа.

Вероятность безотказной работы изделия может быть определена и для произвольного интервала времени $(t_1; t_2)$ с момента начала эксплуатации. В этом случае говорят об условной вероят-

ности $P(t_1; t_2)$ в период $(t_1; t_2)$ при рабочем состоянии в момент времени t_1 . Условная вероятность $P(t_1; t_2)$ определяется отношением:

$$P(t_1; t_2) = P(t_2) / P(t_1), \quad (5)$$

где $P(t_1)$ и $P(t_2)$ – соответственно значения вероятностей в начале (t_1) и конце (t_2) наработки.

Значение частоты отказов за время t в данном опыте определяется отношением $F(t) = n/Nt = Q(t)/t$. В качестве показателя надежности неремонтируемых систем чаще используют производную по времени от функции отказа $Q(t)$, которая характеризует плотность распределения наработки изделия до отказа $f(t)$:

$$F(t) = dQ(t)/dt = - dP(t)/dt. \quad (6)$$

Величина $f(t)dt$ характеризует вероятность того, что система откажет в интервале времени $(t; t+dt)$ при условии, что в момент времени t она находилась в рабочем состоянии. Как следует из метода идентификации вида распределения случайных величин, предлагаемого в [12], закон распределения может быть любым.

Интенсивность отказов. Интенсивность отказов $\lambda(t)$ представляет условную вероятность возникновения отказа в системе в некоторый момент времени наработки при условии, что до этого момента отказов в системе не было. Величина $\lambda(t)$ определяется отношением

$$\lambda(t) = f(t)/P(t) = (1/P(t)) dQ/dt. \quad (7)$$

Отсюда следует, что величина $\lambda(t)dt$ характеризует условную вероятность того, что система откажет в интервале времени $(t; t+dt)$ при условии, что в момент времени t она находилась в работоспособном состоянии. Этот показатель характеризует надежность РЭА в любой момент времени и для интервала Δt_i может быть вычислен по формуле:

$$\lambda = \Delta n_i / (N_{cp} \Delta t_i), \quad (8)$$

где $\Delta n_i = N_i - N_{i+1}$ – число отказов; $N_{cp} = (N_i + N_{i+1})/2$ – среднее число работоспособных изделий; N_i и N_{i+1} – количество работоспособных изделий в начале и конце промежутка времени Δt_i .

Вероятность безотказной работы связана с величинами $\lambda(t)$ и $f(t)$ следующими выражениями:

$$P(t) = \exp(-\int_0^t \lambda(t) dt), P(t) = \exp(-\int_t^\infty f(t) dt). \quad (9)$$

Зная одну из характеристик надежности $P(t)$, $\lambda(t)$ или $f(t)$, можно найти две другие.

Все характеристики надежности $P(t)$, $\lambda(t)$ или $f(t)$ связаны, зная одну, можно найти две другие.

Условную вероятность можно определить выражением:

$$P(t_1; t_2) = \exp(-\int_{t_1}^{t_2} \lambda(t) dt). \quad (10)$$

Для N последовательно соединенных однотипных элементов, то

$$\lambda_N(t) = N\lambda(t). \quad (11)$$

Средняя наработка на отказ T_{cp} и вероятность безотказной работы $P(t)$ связаны зависимостью

$$T_{cp} = \int_0^\infty P(t) dt. \quad (12)$$

По статистическим данным

$$T_{cp} = \sum_{i=1}^m \Delta n_i t_{cpi}, t_{cpi} = (t_i + t_{i+1})/2, m = t/\Delta t, \quad (13)$$

где Δn_i – количество отказавших изделий за интервал времени t , $\Delta t_{cpi} = (t_{i+1} - t_i)$; t_i, t_{i+1} – соответственно время в начале и конце интервала испытаний ($t_i = 0$); t – интервал времени, за который отказали все изделия; m – число временных интервалов испытаний.

В практике эксплуатации изделий определяются три типа отказов: приработочные, внезапные и отказы из-за износа. Эти отказы отличаются физической природой и появляются в разное время. По материалам [11] и [5] можно дать их определения.

Приработочные отказы наблюдаются в первый период $(0 - t_1)$ эксплуатации РЭА и возникают, когда часть элементов, входящих в состав РЭА, являются бракованными или имеют скрытые дефекты. Физический смысл приработочных отказов может быть объяснен тем, что электрические и механические нагрузки, приходящиеся на компоненты РЭА в приработочный период, превосходят их электрическую и механическую прочность. Поскольку продолжительность периода приработки РЭА определяется в основном интенсивностью отказов входящих в ее состав

некачественных элементов, то продолжительность безотказной работы таких элементов обычно сравнительно низка, поэтому выявить и заменить их удастся за сравнительно короткое время.

Период приработки может продолжаться от нескольких до сотен часов. Для изделий спецназначения продолжительность этого периода значительная. Период приработки составляет обычно доли и единицы процента от времени нормальной эксплуатации РЭА.

Прирабочные отказы могут быть следствием конструкторских (например, неудачная компоновка), технологических (некачественное выполнение сборки) и эксплуатационных (нарушение режимов приработки) ошибок.

Для выявления этих отказов предприятиям рекомендуется проводить **прогон** изделий в течение нескольких десятков часов работы (до 2–5 суток) по специально разработанным методикам, в которых предусматривается работа при влиянии различных дестабилизирующих факторов (циклы непрерывной работы, циклы включений-выключений, изменения температуры, напряжения питания и пр.).

Период нормальной эксплуатации. Внезапные отказы возникают неожиданно вследствие действия ряда случайных факторов, и предупредить их приближение практически не представляется возможным. Однако такие отказы подчиняются определенным закономерностям. В частности, частота их появления в течение достаточно большого промежутка времени одинакова в однотипных классах РЭА.

Физический смысл внезапных отказов может быть объяснен тем, что при быстром количественном изменении какого-либо параметра в компонентах РЭА происходят качественные изменения, в результате которых они утрачивают полностью или частично свои свойства. К внезапным отказам РЭА относят, например, пробой диэлектриков, короткие замыкания проводников, неожиданные механические разрушения элементов конструкции и т. п.

Период нормальной эксплуатации РЭА общетехнического назначения может продолжаться десятки тысяч часов. Он может даже превышать время морального старения аппаратуры.

Период износа. В конце срока службы аппаратуры количество отказов снова начинает нарастать. Они в большинстве случаев являются закономерным следствием постепенного износа и естественного старения используемых в аппаратуре материалов и элементов. Зависят они главным образом от продолжительности эксплуатации и «возраста» РЭА.

Средний срок службы компонента до износа – величина более определенная, чем время возникновения приработочных и внезапных отказов. Их появление можно предвидеть на основании опытных данных, полученных в результате испытаний конкретной аппаратуры.

Физический смысл отказов из-за износов может быть объяснен тем, что в результате постепенного и сравнительно медленного количественного изменения некоторого параметра компонента РЭА этот параметр выходит за пределы установленного допуска, полностью или частично утрачивает свои свойства, необходимые для нормального функционирования. При износе происходит частичное разрушение материалов, при старении – изменение их внутренних физико-химических свойств.

К отказам в результате износа относят потерю чувствительности, точности, механический износ деталей и др. Эксплуатация аппаратуры прекращается, когда интенсивность отказов РЭА приблизится к максимально допустимой для данной конструкции.

Вероятность безотказной работы РЭА. Возникновение отказов в РЭА носит случайный характер. Следовательно, время безотказной работы есть случайная величина, для описания которой используют разные распределения: Вейбулла, экспоненциальный, Пуассона.

Отказы в РЭА, содержащие большое число однотипных неремонтируемых элементов, достаточно хорошо подчиняются распределению Вейбулла. Экспоненциальное распределение основано на предположении постоянной во времени интенсивности отказов и успешно может быть использовано при расчетах надежности аппаратуры одноразового применения, содержащей большое число неремонтируемых компонентов. При длительной работе РЭА для планирования ее ремонта важно знать не вероят-

ность возникновения отказов, а их число за определенный период эксплуатации. В этом случае применяют распределение Пуассона, позволяющее подсчитать вероятность появления любого числа случайных событий за некоторый период времени. Распределение Пуассона применимо для оценки надежности ремонтируемой РЭА с простейшим потоком отказов.

Вероятность отсутствия отказа за время t составляет

$$P_0 = \exp(-\lambda t), \quad (14)$$

а вероятность появления i отказов за то же время

$$P_i = \lambda^i t^i \exp(-\lambda t) / i!, \quad (15)$$

где $i = 0, 1, 2, \dots, n$ – число отказов.

10.3. Расчет надежности РЭА

В ТЗ задается требуемая вероятность безотказной работы аппаратуры, конструктор распределяет эту вероятность по составляющим РЭА модулям, подбирает элементы с необходимыми интенсивностями отказов, выявляет потребность и глубину резервирования, принимает меры по защите аппаратуры от воздействий дестабилизирующих факторов. Расчет надежности РЭА состоит в определении числовых показателей надежности $P(t)$ и T_{cp} по известным интенсивностям отказов комплектующих РЭА элементов. При этом считается, что если выход из строя любого элемента приводит к выходу из строя всей РЭА, то имеет место последовательное включение элементов. Усредненные данные по интенсивностям отказов микросхем, электрорадиоэлементов, узлов и электрическим соединениям известны.

При конструировании необходимы данные об ожидаемых изменениях характеристик элементов в течение всего срока службы РЭА. Поэтому трудно ожидать совпадения реального и рассчитанного поведения системы, но расчеты надежности необходимо выполнять, так как в ТЗ на разработку всегда указываются требуемые показатели надежности.

Вероятность безотказной работы системы обычно вычисляется с использованием выражений:

$$P_c(t) = \exp(-\int_0^t \Lambda(t) dt), \Lambda(t) = \sum_{i=1}^n \lambda_i(t), \quad (16)$$

где $\lambda_i(t)$ – интенсивность отказов i -го модуля, n – число модулей системы.

Модули одного иерархического уровня имеют приблизительно равную надежность. Тогда для системы из K групп модулей одного уровня:

$$P_c(t) = \exp(-\sum_{i=1}^K n_i \int_0^t \lambda_i(t) dt), \Lambda(t) = \sum_{i=1}^K n_i \lambda_i(t), \quad (17)$$

где n_i – число модулей i -го уровня иерархии.

Для экспоненциального закона распределения, когда интенсивность отказов можно считать величиной постоянной: $\Lambda(t) = \Lambda = \text{const}$, $P_c(t) = \exp(-\Lambda t)$.

Надежность конструкции зависит от соотношения прочности и устойчивости к нагрузке, которую приходится выдерживать аппаратуре в процессе эксплуатации. Под прочностью здесь понимается способность аппаратуры выдерживать без разрушений внешние температурные, механические, влажностные и прочие воздействия, под устойчивостью – способность к работе при тех же воздействиях [10].

При применении автоматизированных систем проектирования процедура определения показателей надежности упрощается, т. к. можно использовать большие объемы данных, но без испытаний реальной аппаратуры требуемую надежность обеспечить нельзя.

Контрольные вопросы

1. Количественные характеристики надежности.
2. Расчет надежности РЭА.
3. Основные параметры надежности.
4. Виды отказов.
5. Вероятностный подход к оценке надежности РЭС.

Глава 11. Методы защиты РЭС от воздействия климатических факторов окружающей среды

В предыдущих главах были рассмотрены условия эксплуатации и климатические исполнения РЭА. Аппаратура спецназначения, как правило, эксплуатируется в жестких условиях. От ее безотказной работы зависит жизнь людей и безопасность государства. Поэтому защита аппаратуры является актуальной и важной задачей.

11.1. Влияние климатических факторов на конструкцию

Влияние климатических факторов на конструкционные материалы выражается главным образом в возникновении процессов **коррозии**, потере механических и диэлектрических свойств, изменении электропроводности. Реакция на воздействующий фактор, степень и скорость изменения свойств конструкционного материала в зависимости от его состава различны. Процесс коррозии у металлов имеет химическую или электрохимическую природу, но причина в этих случаях одинакова: переход металла в более стабильное природное состояние. Процесс коррозии связан с отдачей энергии, что указывает на самопроизвольный ход реакции, без затраты энергии извне. Процесс химической коррозии протекает без участия влаги. При электрохимической коррозии растворение металла и возникновение новых соединений происходит с участием электролита, т. е. воды.

Различают три вида коррозии: равномерную, неравномерную и межкристаллическую. При *равномерной* коррозии процесс распространяется постепенно от отдельных корродирующих мест по всей поверхности металла. *Неравномерная* коррозия ограничивается отдельными местами и возникает, например, вследствие нарушения защитного покрытия. Коррозия *межкристаллическая* характеризуется проникновением в глубь металла путем разрыва структуры и распространением вдоль границ кристаллов. Наличие в атмосфере кислот, щелочей, солей ускоряет процессы коррозии [11].

Воздействие агрессивной атмосферы на изоляционные материалы выражается в поглощении ими влаги, ухудшении диэлек-

трических свойств и постепенном разрушении. Изоляционных пластмасс, не поглощающих влаги, не существует. Количество проникшей влаги и время ее проникновения неодинаковы для различных материалов. Проникновение влаги в изоляционные материалы может быть капиллярное и диффузионное.

Капиллярное проникновение имеет место в случае наличия в материале грубых микроскопических пор, трещин и других дефектов. Так как в микроэлектронике применяют только высококачественные изоляционные материалы, то они практически свободны от таких дефектов.

Существенно большее значение имеет процесс *диффузионного* проникновения, который заключается в заполнении промежутков между молекулами материала молекулами воды. При этом перемещение молекул воды происходит в сторону меньшей их концентрации. При повышенной влажности молекулы воды проникают внутрь материала (поглощение влаги), а в сухой теплой атмосфере – из материала (высыхание). Поглощение влаги диэлектриком ведет к уменьшению его сопротивления, увеличению диэлектрических потерь, набуханию, механическим повреждениям [5].

Плесневые грибки как один из сильнейших биологических факторов также могут отрицательно воздействовать на работоспособность аппаратуры. Для развития плесени необходимы большая относительная влажность воздуха (80–100%) и температура 25–37°C. Такие условия естественны для стран с тропическим влажным климатом, однако они могут возникнуть искусственно в помещениях, где эксплуатируется аппаратура.

Среди материалов, применяемых в радиоэлектронной аппаратуре, наибольшее воздействие плесень оказывает на те, которые имеют органическую основу, и, в частности, на изоляционные материалы проводных соединений.

11.2. Защита РЭС

11.2.1. Защитные покрытия

Для защиты поверхности металлических и неметаллических материалов от агрессивной внешней среды применяют различные покрытия, которые по назначению делят на три группы: защитные, защитно-декоративные и специальные [17].

Защитные покрытия предназначены для защиты деталей от коррозии, старения, высыхания, гниения и других процессов, вызывающих выход аппаратуры из строя.

Защитно-декоративные покрытия наряду с обеспечением защиты деталей придают им красивый внешний вид.

Специальные покрытия придают поверхности деталей особые свойства или защищают их от влияния особых сред.

По способу получения все покрытия разделяют на металлические и неметаллические.

Металлические покрытия – покрытия, нанесенные горячим способом, гальванические, диффузионные и металлические на диэлектриках.

Неметаллические покрытия – покрытия лаками, эмалями, грунтовками, а также противокоррозионное покрытие пластмассами.

Выбор того или иного вида покрытия в каждом конкретном случае зависит от материала детали, ее функционального назначения и условий эксплуатации.

Для борьбы с *плесневыми грибами* применяют три способа:

Способ 1 – использование материалов, не склонных к образованию на них плесени (применение этого метода ограничивается возможностями выбора материалов).

Способ 2 – изменение внутреннего климата в аппаратуре, имеющее цель лишить плесневые грибки благоприятной базы для развития (здесь главным образом требуется принимать меры к снижению влажности воздуха, так как саморазогрев как отдельных микросхем, так и полностью всей аппаратуры лишает грибки благоприятной температуры).

Способ 3 – добавление в состав лака или эмали, которыми покрывают поверхность деталей, специальных химических веществ – фунгицидов.

11.2.2. Герметизация элементов, узлов, устройств или всего прибора

При этом способе защиты в зависимости от степени чувствительности тех или иных элементов или узлов к воздействию агрессивной среды и от их конструктивных особенностей применяют различные способы герметизации, отличающиеся как методом исполнения, так и сложностью и стоимостью.

Известны способы герметизации с помощью изоляционных материалов и непроницаемых для газов оболочек.

Защита изделий изоляционными материалами может производиться пропиткой, заливкой, обволакиванием и опрессовкой.

Пропитка изделий состоит в заполнении имеющихся в них каналов электроизоляционным материалом. Одновременно с заполнением каналов при пропитке на всех элементах конструкции образуется тонкий изоляционный слой, защищающий от воздействия агрессивной среды. Одновременно с защитными функциями пропиточный материал повышает электрическую прочность изделия, скрепляет механически его отдельные элементы, во многих случаях улучшает теплопроводность. Пропитку осуществляют погружением изделий в жидкий изоляционный материал. После извлечения изделия материал отвердевает. Процесс отверждения может происходить при нормальной температуре или с внешним подогревом. При использовании полимеризующихся пропиточных материалов необходимо применять специальные ускорители.

При герметизации **заливкой** все свободные полости в изделии, в том числе и пространство между элементами и корпусом, заливают электроизоляционным материалом, который после отверждения образует достаточно толстый защитный слой. Заливку изделия можно производить в его постоянном корпусе или использовать для этого специальные разъемные формы, которые после отверждения материала удаляются.

Герметизация **обволакиванием** по технике исполнения аналогична операции пропитки, однако здесь используют вязкие изоляционные материалы, обладающие хорошей адгезией к элементам изделия. Слой материала, образующегося на поверхности деталей, сравнительно толст (от долей до нескольких миллиметров) и надежно защищает их от воздействия агрессивной среды.

Защита изделий непроницаемыми для газов оболочками – *наиболее совершенный способ защиты узлов и устройств РЭА, так как, кроме эффективной защиты, он может обладать возможностью разгерметизации в производственных условиях и при эксплуатации для выполнения ремонта изделий.*

Условия нормальной работы изделий, защищенных вакуумно-плотной герметизацией, зависят не только от качества

герметизации, но и от защиты от агрессивных компонентов, входящих в материалы и среду защищаемого объема. Выделение свободных молекул воды и других агрессивных веществ в герметизированном объеме изделия может свести к минимуму эффективность вакуумно-плотной герметизации. При разработке герметичных корпусов следует учитывать условия эксплуатации и, прежде всего, изменение барометрического давления, внешние механические воздействия и возможные перепады температуры.

Вакуумно-плотная герметизация может быть выполнена с неразъемными и разъемными швами. Первую используют для защиты малогабаритных узлов и устройств, вторую – для сравнительно больших блоков, требующих профилактической проверки и нуждающихся в смене ее отдельных элементов.

Неразъемные герметичные конструкции делают со швами, выполняемыми пайкой, сваркой, заливкой, склеиванием или замазкой специальными компаундами (герметиками). В разъемных герметичных конструкциях между соединяемыми деталями помещают эластичную прокладку, а в герметизируемый объем – влагопоглотитель, например силикагель. Условие непроницаемости такого герметичного соединения – сохранение во все время его службы контактного давления между прокладкой и соединяемыми поверхностями. Применяют металлические (из свинца, красной меди) и неметаллические (резиновые) прокладки. При стягивании винтами металлические прокладки деформируются при превышении предела текучести. При использовании резиновых прокладок уплотнение достигается действием остаточных упругих деформаций [11].

11.3. Тепловой режим работы аппаратуры

11.3.1. Тепловой режим аппаратного блока

Режим характеризуется совокупностью температур отдельных его точек – *температурным полем*. Температурный режим создается как внешним температурным воздействием окружающей среды, так и тепловой энергией, выделяемой радиоэлементами самой аппаратуры. В зависимости от стабильности во времени тепловой режим может быть *стационарным* или *нестационарным*.

Неизменность температурного поля во времени характеризует *стационарный режим*. Зависимость температурного поля от времени характерна для *нестационарного режима*. Этот режим имеет место в тех случаях, когда собственная теплоемкость аппарата соизмерима с количеством теплоты, выделяемой при работе. Обычно нестационарный режим имеет место при одиночных и кратковременно повторяющихся тепловых нагрузках.

По характеру направленности теплового потока разделяют *термоактивные* и *термопассивные* элементы. *Термоактивные* элементы служат источниками тепловой энергии, а *термопассивные* – ее приемниками.

Микросхемы и радиоэлементы функционируют в ограниченных температурных диапазонах. Отклонение температуры от указанных диапазонов может привести к необратимым изменениям компонентов. Повышенная температура снижает диэлектрические свойства материалов, ускоряет коррозию конструкционных и проводниковых материалов. При пониженной температуре затвердевают и растрескиваются резиновые детали, повышается хрупкость материалов. Различия в коэффициентах линейного расширения материалов могут привести к разрушению залитых компаундами конструкций и, как следствие, нарушению электрических соединений, изменению характера посадок, ослаблению креплений и т. п.

Настоящее и будущее аппаратуры связано с использованием достаточно больших мощностей в сравнительно малых объемах. Это приводит к резкому увеличению плотности мощности рассеяния, а следовательно, и плотности рассеиваемой теплоты. Поэтому при конструировании аппаратуры особое значение приобретает разработка методов отвода теплоты, регулирования и контроля температуры.

Если температура в любой из точек блока не выходит за допускаемые пределы, то такой тепловой режим называется нормальным.

Нормальный тепловой режим – это режим, который при изменении в определенных пределах внешних температурных воздействий обеспечивает изменение параметров и характеристик конструкции, компонентов, материалов в пределах, ука-

занных в технических условиях на них. Высокая надежность и длительный срок службы изделия будут гарантированы, если температура среды внутри РЭА является нормальной и равной 20–25 °С. Изменение температуры относительно нормальной на каждые 10°С в любую сторону уменьшает срок службы аппаратуры приблизительно в 2 раза. Обеспечение нормального теплового режима приводит к усложнению конструкции, увеличению габаритов и массы, введению дополнительного оборудования, затратам электрической энергии.

Работоспособность при низких температурах обеспечивается саморазогревом аппаратуры перед работой или, при необходимости, нагревом электрическими нагревательными элементами, устанавливаемыми для стационарной аппаратуры в помещении (что должно быть оговорено в инструкции по эксплуатации), для транспортируемой – встроенными в конструкцию. При применении нагрева должно обеспечиваться автоматическое выключение нагревателей после прогрева аппаратуры. Следует избегать интенсивного прогрева, так как при этом пары воды внутри прибора конденсируются на поверхностях конструкции до тех пор, пока не осядет избыточная влага в воздухе.

11.3.2. Охлаждение аппаратуры

Чаще конструктор решает задачу удаления избытка теплоты в результате саморазогрева аппаратуры. Как известно, передача теплоты от нагретой аппаратуры в окружающую среду осуществляется кондукцией, конвекцией и излучением.

Кондукция – процесс переноса тепловой энергией между находящимися в соприкосновении телами или частями тел за счет теплопроводности тел.

Конвекция – перенос энергии макрочастицами газа или жидкости.

Перенос теплоты излучением происходит за счет превращения тепловой энергии в энергию излучения (лучистая энергия).

В реальных условиях теплообмен осуществляется одновременно двумя или тремя видами, что делает проблематичным точный расчет температурного поля. Поэтому на практике расчет проводится, как правило, для наиболее эффективного вида

теплообмена, который принимается для данного блока, прибора, системы за основной. Для стационарной аппаратуры используются в основном способы охлаждения теплопроводностью, воздушное естественное и принудительное, а также принудительное воздушное с дополнительным охлаждением жидкостью в трубопроводах. При высоких требованиях к стабильности параметров схем применяют термостатирование узлов и блоков.

Способы охлаждения могут быть охарактеризованы *коэффициентом теплоотдачи*.

Теплоотвод кондукцией. С увеличением плотности компоновки РЭА большая доля теплоты удаляется кондукцией, т. е. передачей тепловой энергии от нагретого элемента к элементу с меньшей температурой. Для улучшения условий отвода теплоты от тепловыделяющих элементов в конструкции применяют тепловые разъемы, теплоотводящие шины, печатные платы на металлической основе и т. д.

Для увеличения эффективности теплообмена путем теплопроводности необходимо увеличивать площадь теплопроводящей поверхности, уменьшать путь передачи теплоты, использовать материалы с высокой теплопроводностью.

Теплоотвод конвекцией. *Естественное и принудительное воздушное охлаждение* наиболее просты и доступны. Теплота от нагретых корпусов радиоэлементов передается окружающей атмосфере за счет *естественной конвекции*. Эффективность естественного воздушного охлаждения тем больше, чем больше разность температур между корпусом и окружающей средой и чем больше площадь поверхности корпуса. Имеет также значение плотность окружающей среды, при уменьшении которой отвод теплоты от поверхности элементов уменьшается.

Принцип охлаждения естественной конвекцией основан на том, что слои воздуха, нагреваясь от выделяющих теплоту элементов и обладая вследствие этого меньшей плотностью, перемещаются вверх и замещаются более холодными слоями. Чем больше объем замещаемого воздуха, тем лучше теплообмен. Эффективность теплообмена зависит от места расположения элементов в объеме аппаратуры. Так, при вертикальном расположении модулей (плат)

воздушному потоку ничего не препятствует и теплые слои воздуха быстро заменяются холодными. При горизонтальном расположении плат смена слоев воздуха затруднена, вследствие чего нагрев элементов происходит в большей степени. В худшем положении находятся элементы в верхней части корпуса, так как здесь замещения теплых слоев холодными практически не происходит.

Качество естественного воздушного охлаждения зависит от мощности, выделяемой аппаратурой во время работы, в виде теплоты, формы и габаритных размеров корпуса и площади его поверхности. Улучшение охлаждения можно получить искусственным увеличением площади поверхности корпуса, например введением специальных ребер – *радиаторов*.

Существенное улучшение теплового режима достигается введением специальных *вентиляционных отверстий* в дне и крышке корпусов аппаратуры. В этом случае в приборы поступают извне холодные слои воздуха, которые вытесняют теплые слои через отверстия в крышке. При необходимости такие отверстия следует предусматривать и в боковых стенках корпусов в виде жалюзи. Суммарная площадь вентиляционных отверстий в дне (крышке) прибора должна составлять 20...30 % сечения конвективных потоков воздуха. Входные вентиляционные отверстия должны располагаться как можно ниже. Чтобы не препятствовать поступлению свободных конвективных потоков воздуха внутрь прибора, между установочной поверхностью и дном должен быть зазор 20–30 мм. С внутренней стороны кожуха вентиляционные отверстия часто закрывают защитными металлическими сетками.

Естественное охлаждение используется с плотностью тепловых потоков от охлаждаемых поверхностей не более $0,05 \text{ Вт/см}^2$. При этом необходимо стремиться к равномерному распределению выделяемой мощности по всему объему изделия. Компоненты и узлы с большими тепловыделениями необходимо располагать в верхней части корпуса или вблизи стенок, критичные к перегреву компоненты – в нижней части и защищать тепловыми экранами. Блестящий экран сокращает лучистый тепловой поток приблизительно вдвое. В целях выравнивания температуры внутри аппаратуры теплонагруженные модули должны иметь высо-

кую степень черноты, внутренние поверхности кожухов и каркасов окрашиваются черными красками или лаками. При компоновке аппаратуры необходимо избегать образования «ловушек тепла», в которых отсутствуют конвективные потоки воздуха.

Принудительное воздушное охлаждение. При принудительном воздушном охлаждении теплоотвод от внутренних полостей корпуса РЭА осуществляется движущимися потоками воздуха, объем и скорость движения которых определяются вентиляторами. Оно широко используется в аппаратуре с тепловыделением не более $0,5 \text{ Вт/см}^2$ и выполняется по схемам подачи воздуха снизу вверх и сверху вниз. Забор воздуха снизу, где имеет место наибольшее количество пыли, приводит к повышенной запыленности аппаратуры, охлаждение сверху вниз – к меньшей запыленности, но требует большего расхода воздуха.

Чем ниже температура охлаждающего воздуха и выше скорость его движения, тем эффективнее принудительное воздушное охлаждение. Применяются приточная, вытяжная и приточно-вытяжная схемы вентиляции. В приточно-вытяжной используются два вентилятора на входе и выходе воздуха из изделия. Работа вентилятора по приточной схеме вентиляции происходит в благоприятных условиях при пониженной температуре, что обеспечивает большую производительность. Вытяжную схему вентиляции можно рекомендовать в аппаратуре с большими аэродинамическими сопротивлениями.

Вентиляторы устанавливаются либо непосредственно в прибор, либо в специальные блоки с креплением на корпусе прибора или каркасе стойки. В блоках обычно размещают вентиляторы, противопыльный фильтр, элементы сигнализации и аварийного отключения.

Появление шума и вибраций в результате работы вентиляторов является недостатком принудительного охлаждения, однако реализуется конструктивно просто и обеспечивает высокую гибкость при перепланировке технических средств.

При выборе способа охлаждения РЭА учитываются ее режим работы, конструктивное исполнение, величина рассеиваемой мощности, объект установки, окружающая среда.

Необходимость разработки системы охлаждения (СО) выявляет тепловой анализ РЭА. Для этого по каждому модулю первого уровня составляется перечень тепловыделяющих компонентов, устанавливаются рассеиваемые мощности и максимально допустимые температуры. На основе этих данных выделяются критичные к перегреву компоненты, а также компоненты, устанавливаемые на теплоотводы. Далее рассчитываются удельные поверхностные и объемные тепловые потоки модулей высших уровней.

11.4. Защита аппаратуры от воздействия влажности

От прямого воздействия влаги стационарная и транспортируемая РЭА, как правило, не защищена и не должна эксплуатироваться в этих условиях. Однако на работающую аппаратуру воздействуют пары влаги окружающего воздуха. Нормальной влажностью считается относительная влажность 60...75 % при температуре 20...25°C.

Выпадение росы (конденсация на холодных поверхностях конструкции) вызывается понижением температуры, которое практически всегда имеет место при отключении и последующем хранении аппаратуры. Например, если в течение дня влажность внутри РЭА составляла 70 %, то точка росы оказывается всего на 5°C ниже температур, которые имели место внутри РЭА.

Интенсивное нагревание переохлажденной аппаратуры перед приведением ее в рабочее состояние также приводит к конденсации влаги на холодных элементах конструкции. Капли конденсата будут стекаться и собираться в местах «ловушек влаги». В результате аппаратура будет находиться под постоянным воздействием влаги.

Длительное воздействие высокой влажности вызывает коррозию металлических конструкций, набухание и гидролиз органических материалов. Продуктом гидролиза являются органические кислоты, разрушающие органические материалы и вызывающие интенсивную коррозию металлических несущих конструкций. Наличие во влажной атмосфере промышленных газов и пыли приводит к прогрессирующей коррозии. В результате создания благоприятных условий для образования плесени воздействие влаги может многократно усиливаться.

Существенно влияние влажности на электрические соединения. При повышенной влажности корродируют проводники, на разъемных контактах появляются налеты, ухудшающие их качество, отказывают паяные соединения, особенно если они загрязнены. С течением времени рыхлая окисная пленка может оказаться в гнездовых контактах соединителей, что приводит к трудно устранимым отказам.

Слоистые диэлектрики, поглощая влагу, меняют параметры и характеристики. Образование на печатных платах водяной пленки приводит к снижению сопротивления изоляции диэлектриков, появлению токов утечки, электрическим пробоям, механическим разрушениям вследствие набухания-высыхания материала. Из-за поглощения влаги значительно уменьшается электрическая прочность, что особенно сказывается на работоспособности высоковольтных узлов. Влажность ускоряет разрушение лакокрасочных покрытий, нарушает герметизацию и целостность заливки элементов влагозащитными материалами. За 3–4 года эксплуатации при относительной влажности ниже 20 % и температуре +30°C полностью высыхает изоляция проводов, в результате чего она становится ломкой, меняет свойства [5].

Защита аппаратуры от воздействия влажности осуществляется соответствующими материалами, покрытиями, применением усиленной вентиляции сухим воздухом, поддержанием внутри изделий более высокой температуры, чем температура окружающей среды, использованием поглотителей влаги, разработкой герметичной аппаратуры.

Коррозия протекает более интенсивно при контактировании материалов с существенно различными электрохимическими потенциалами. Металл с отрицательным потенциалом гальванической пары будет разрушаться тем быстрее, чем больше разница электрохимических потенциалов.

Металлические покрытия образуют с основным материалом детали контактную пару. В зависимости от полярности потенциала различают покрытия анодные (отрицательный потенциал покрытия по отношению к основному металлу) и катодные (положительный потенциал покрытия). При коррозии может раз-

рушаться как основной металл детали, так и покрытие. Разрушение происходит из-за наличия пор в покрытиях, повреждений в виде сколов, царапин, трещин, возникающих в процессе эксплуатации, и будут тем интенсивнее, чем больше разница электрохимических потенциалов между основным металлом и покрытием. При анодном покрытии вследствие коррозии разрушается само покрытие, при катодном – основной металл.

В качестве материалов покрытий наибольшее распространение получили никель, медь, цинк, кадмий, олово и серебро. Толщина покрытия выбирается в зависимости от материала и способа нанесения покрытия. Для улучшения механических и защитных свойств покрытий рекомендуются к применению многослойные покрытия из разнородных материалов. Толщина покрытия обычно равна 1–15 мкм.

Оксидирование – получение окисной пленки на стали, алюминии и его сплавах. Покрытие имеет хороший внешний вид, антикоррозионные свойства, но оно микропористое и непрочное. Последнее свойство покрытия позволяет его использовать как грунт под окраску.

Анодирование – декоративное покрытие алюминия и его сплавов электрохимическим способом. Защитная пленка химически устойчива, обладает высокими электроизоляционными свойствами, надежно защищает от коррозии, может быть окрашена.

Фосфатирование – процесс образования на стали защитной пленки с высокими антикоррозионными и электроизоляционными свойствами, хорошей адгезией. Получаемое покрытие пористо и недостаточно прочно. Фосфатные пленки используются как грунт под окраску.

Лакокрасочные покрытия защищают детали от коррозии. Как недостаток следует отметить низкую механическую прочность и термостойкость. Этот вид покрытия применяется для окрашивания каркасов, кожухов, лицевых панелей приборов и т. п. Качественный внешний вид изделия обеспечивается многослойным окрашиванием. Толщина лакокрасочного покрытия колеблется от 20 до 200 мкм. Различают следующие виды лаковых покрытий для защиты от соответствующих видов внешнего воздействия:

Водостойкие – морская, пресная вода и ее пары.

Специальные – облучение, глубокий холод, открытое пламя, биологическое воздействие и пр.

Маслобензостойкие – минеральные масла и смазки, бензин, керосин.

Химически стойкие – различные химические реагенты, агрессивные газы, пары и жидкости растворы кислот и солей.

Термостойкие – температура выше +60 °С.

Электроизоляционные – электрический ток, коронные и поверхностные разряды.

Недостатком лаковых покрытий является то, что они требуют высокой чистоты производственных процессов и усложняют замену компонентов. При эксплуатации покрытия скалываются, шелушатся и загрязняют контакты электрических соединителей. Пары воды, попадая под покрытия, конденсируются и уменьшают электрическое сопротивление между разобобщенными цепями. При высыхании покрытия образующиеся мосты из лака между рядом расположенными выводами компонентов передают механические напряжения на выводы и паяные соединения, увеличивая вероятность отказа паяных контактов.

11.5. Защита от воздействия пыли

Пыль – смесь твердых частиц малой массы, находящаяся в воздухе во взвешенном состоянии. Различают пыль естественную или природную, всегда присутствующую в воздухе, и техническую, которая является следствием износа оборудования, обработки материалов, сжигания топлива и пр.

При относительной влажности воздуха выше 75 % и нормальной температуре наблюдается рост числа частиц пыли, их коагуляция, увеличивается вероятность притяжения пыли к неподвижным поверхностям. При низкой влажности частицы пыли электрически заряжаются, неметаллические – положительно, металлические – отрицательно. Заряд частиц чаще всего возникает из-за трения.

Загрязненность воздуха пылью снижает надежность работы РЭА. Пыль, попадая в смазочные материалы и прилипая к скользящим поверхностям деталей электромеханических узлов, приводит

к ускоренному их износу. Под воздействием пыли изменяются параметры и характеристики магнитных лент, дискетов, магнитных головок, царапаются и приходит в негодность магнитный слой. Пыль в зазорах контактов препятствует замыканию контактов реле.

Оседающая на поверхности некоторых металлов пыль опасна из-за своей гигроскопичности, поскольку уже при относительно небольшой влажности пыль существенно повышает скорость коррозии. Пыль с поглощенными ею растворами кислот разрушает достаточно быстро даже очень хорошие краски. В тропических странах пыль часто является причиной роста плесени.

Слежавшаяся в процессе длительной эксплуатации на поверхности компонентов пыль снижает сопротивление изоляции, особенно в условиях повышенной влажности, приводит к появлению токов утечек между выводами, что очень опасно для микросхем. Диэлектрическая проницаемость пыли выше диэлектрической проницаемости воздуха, что определяет завышение емкости между выводами компонентов и, как следствие, увеличение емкостных помех. Оседающая пыль снижает эффективность охлаждения изделия, образует на поверхностях печатных плат, не защищенных лаковым покрытием, токопроводящие перемычки между проводниками.

Пыленепроницаемость РЭА или отдельных ее устройств может быть достигнута установкой их в герметичные корпуса. Однако при этом возрастает стоимость РЭА и ухудшается температурный режим работы. Если корпус РЭА выполнен с перфорациями, пыль вместе с воздухом проникнет внутрь РЭА естественным путем либо вместе с воздушными потоками от вентиляторов. Уменьшить попадание пыли внутрь РЭА возможно установкой на вентиляционные отверстия мелкоячеистых сеток и противопыльных фильтров.

11.5.1. Герметизация аппаратуры

Герметизация РЭА является надежным средством защиты от воздействия от пыли, влажности и вредных веществ окружающей среды.

Модули конструкции первого уровня защищают покрытием лаком, заливкой эпоксидной смолой, пропиткой, особенно мо-

точных изделий, опрессовкой герметизирующими компаундами на основе органических (смола, битумов) или неорганических (алюмофосфатов, металлометафосфатов) веществ. Герметизация компаундами улучшает электроизоляционные и механические характеристики модуля. Однако низкая теплопроводность большинства компаундов ухудшает отвод теплоты и делает невозможным ремонт.

Полная герметизация путем помещения изделия в герметичный кожух является самым эффективным способом защиты, но и дорогим. При этом возникает необходимость в разработке специальных корпусов, способов герметизации внешних электрических соединителей, элементов управления и индикации. Стенки герметизируемых изделий должны противостоять значительным усилиям из-за разницы давлений внутри и снаружи изделия. В результате увеличения жесткости конструкции возрастает ее масса и размеры.

Существует большое разнообразие способов герметизации. Широко применяются упругие уплотнительные прокладки для всех элементов конструкции по периметру изделия. Проход воздуха через уплотнения при сжатии прокладки на 25...30 % от ее первоначальной высоты происходит только за счет диффузии. В качестве материала прокладок используют резину, обладающую высокой эластичностью, податливостью и способностью проникать в мельчайшие углубления и неровности. Влага со временем проникает через все органические материалы, поэтому изделия с прокладками из органических материалов обеспечивают защиту от водяных паров лишь на протяжении нескольких недель.

Постоянства относительной влажности в определенных пределах внутри герметичного аппарата можно добиться введением внутрь изделия веществ, активно поглощающих влагу. Подобными веществами являются силикагель, хлористый кальций, фосфорный ангидрид. Они впитывают влагу до определенного предела. Например, силикагель поглощает около 10 % влаги от своей сухой массы.

В особых случаях в качестве материалов прокладок применяют медь и нержавеющей сталь с алюминиевым или индиевым

покрытием. Такие прокладки чаще всего выполняются трубчатыми с внешним диаметром 2–3 мм при толщине стенок 0,1–...0,15 мм. Усилие поджатия при герметизации металлическими прокладками составляет 20...30 кг на 1 см длины прокладки.

При жестких требованиях к герметичности корпуса изделия герметизацию выполняют сваркой или пайкой по всему периметру корпуса. Конструкция корпуса изделия должна допускать неоднократное выполнение операций разгерметизации/герметизации. В углубление корпуса устанавливается прокладка из жаростойкой резины, на которую укладывается стальная луженая проволока, которая припаивается к корпусу, образуя шов. При разгерметизации изделия шов нагревают, и припой вместе с проволокой удаляется.

При герметизации внутренний объем герметизируемой аппаратуры заполняется инертным газом (аргоном или азотом) с небольшим избыточным давлением. Закачка газа внутрь корпуса осуществляется через клапаны-трубки с последующей герметизацией. Продувка азотом обеспечивает очистку полости корпуса от водяных паров.

Элементы управления и индикации герметизируются резиновыми чехлами, мембранами, электрические соединители – установкой на прокладки, заливкой компаундами.

Выбор способа герметизации определяется условиями эксплуатации, применяемыми материалами и покрытиями, требованиями к электрическому монтажу. Окончательное решение о выборе способа герметизации принимается после проведения натурных испытаний РЭА в камерах влажности [15].

Контрольные вопросы

1. Влияние климатических факторов на конструкцию.
2. Перечислите виды защиты РЭС.
3. Тепловой режим работы аппаратуры.
4. Способы защиты от воздействия пыли.
5. Для чего применяется герметизация аппаратуры?

Глава 12. Защита от механических воздействий

12.1. Виды механических воздействий на РЭА

Механические воздействия на РЭА появляются под действием внешних нагрузок (вибрации, удары, ускорения, акустические шумы) и могут возникнуть, как в работающей РЭА, если она установлена на подвижном объекте, так и при ее транспортировке в нерабочем состоянии.

Механические воздействия имеют место в работающей РЭА, если она установлена на подвижном объекте, или только при транспортировке ее в нерабочем состоянии, как в случае стационарной и некоторых видов возимой РЭА. Количество переданной энергии определяет уровень и характер изменения конструкции. Допустимые уровни механического изменения конструкции определяются ее прочностью и устойчивостью к механическим воздействиям.

Под *прочностью* конструкции понимается способность аппаратуры выполнять функции и сохранять параметры после приложения механических воздействий. *Устойчивость* конструкции – способность РЭА сохранять функции и параметры в процессе механических воздействий.

Откликом, или реакцией, конструкции на механические воздействия называют трансформацию и преобразование энергии механического возбуждения. К ним относятся механические напряжения в элементах конструкции, перемещения элементов конструкции и их соударения, деформации и разрушения конструктивных элементов, изменения свойств и параметров конструкции [3].

Механические воздействия могут приводить к взаимным перемещениям деталей и узлов, деформации крепежных, несущих и других элементов конструкций, их соударению. При незначительных механических воздействиях в элементах конструкций возникают упругие деформации, не сказывающиеся на работоспособности аппаратуры. Увеличение нагрузки приводит к появлению остаточной деформации и при определенных условиях разрушению конструкции. Разрушение может наступить и при нагрузках, много меньших предельных значений статической прочности материалов, если конструкция окажется подверженной знакопеременным нагрузкам [10].

Отказы аппаратуры бывают *восстанавливаемыми* после снятия или ослабления механического воздействия (изменение параметров компонентов, возникновение электрических шумов) и *невосстанавливаемыми* (обрывы и замыкания электрических соединений, отслаивание проводников печатных плат, нарушение элементов крепления и разрушение несущих конструкций).

На РЭА, установленную на подвижных объектах, в процессе ее эксплуатации воздействует вибрации, ударные нагрузки и линейные ускорения. *Гармонические вибрации* характеризуются частотой, амплитудой, ускорением. *Ударные нагрузки* характеризуются числом одиночных ударов или их серий (обычно оговаривают максимальное число ударов), длительностью ударного импульса и его формой, мгновенной скоростью при ударе, перемещением соударяющихся тел. *Линейные ускорения* характеризуются ускорением, длительностью, знаком воздействия ускорения. Возникающие при вибрациях, ударах и ускорениях перегрузки оценивают соответствующими коэффициентами. Для уменьшения воздействия вибраций и ударов аппаратуру устанавливают на амортизаторы или применяют демпфирующие материалы.

Воздействие линейных ускорений эквивалентно увеличению массы аппаратуры и при значительной длительности воздействия требует увеличения прочности конструкции.

Как показывает опыт эксплуатации транспортируемой РЭА, наибольшее разрушающее воздействие на конструкцию оказывают вибрации. Как правило, конструкция аппарата, выдержавшая воздействие вибрационных нагрузок в определенном частотном диапазоне, выдерживает ударные нагрузки и линейные ускорения с большими значениями соответствующих параметров (для космической РЭА – до 12g, g – ускорение свободного падения).

12.2. Понятие виброустойчивости и вибропрочности

В отношении конструкции РЭА различают два понятия: вибрационная устойчивость и вибрационная прочность [11].

Вибрационная устойчивость – свойство объекта при заданной вибрации выполнять заданные функции и сохранять значения

своих параметров в пределах нормы. **Вибрационная прочность** – прочность при заданной вибрации и после прекращения ее.

Воздействие транспортной тряски складывается из ударов и вибраций. Введение амортизаторов между РЭА и объектом в качестве среды, уменьшающей амплитуду передаваемых колебаний и ударов, снижает действующие на РЭА механические силы, но не уничтожают их полностью. В некоторых случаях образованная с введением амортизаторов резонансная система влечет за собой возникновение низкочастотного механического резонанса, который приводит к увеличению амплитуды колебаний РЭА.

Понятие жесткости и механической прочности конструкции. При разработке конструкции РЭА необходимо обеспечить требуемую жесткость и механическую прочность ее элементов.

Жесткость конструкции есть отношение действующей силы к деформации конструкции, вызванной этой силой. Под *прочностью конструкции* понимают нагрузку, которую может выдержать конструкция без остаточной деформации или разрушения. Повышение прочности конструкции РЭА связано с усилением ее конструктивной основы, применением ребер жесткости, контровки болтовых соединений и т. д. Особое значение имеет повышение прочности несущих конструкций и входящих в них узлов методами заливки и обволакивания. Заливка пеноматериалом позволяет сделать узел монолитным при незначительном увеличении массы.

Конструкция как колебательная система. Во всех случаях нельзя допускать образования механической колебательной системы. Это касается крепления монтажных проводов, микросхем, экранов и других частей, входящих в РЭА.

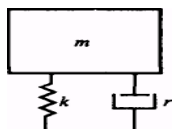


Рис. 12. Колебательная модель механической системы

Основными параметрами любой конструкции с позиций реакции на механические воздействия являются масса, жесткость и механическое сопротивление (демпфирование). При анализе

влияния вибраций на конструкции модулей последние представляют в виде системы с сосредоточенными параметрами, в которой заданы масса изделия m , элемент жесткости в виде пружины и элемент механического сопротивления в виде демпфера, характеризующиеся параметрами k и $г$ соответственно [3], [17].

Когда частота собственных колебаний системы близка к частоте вынужденных, в колебательной системе возникает явление механического резонанса, что может привести к повреждению конструкции.

Амортизация конструкции РЭА. Один из эффективных методов повышения устойчивости конструкции, как транспортируемой, так и стационарной, к воздействию вибраций, а также ударных и линейных нагрузок – использование амортизаторов. Действие амортизаторов основано на демпфировании резонансных частот, т. е. поглощении части колебательной энергии. Аппаратура, установленная на амортизаторах, в общем случае может быть представлена в виде механической колебательной системы с шестью степенями свободы: совокупностью связанных колебаний, состоящих из линейных перемещений, и вращательных колебаний по каждой из трех координатных осей.

Эффективность амортизации характеризуется коэффициентом динамичности или передачи, числовое значение которого зависит от отношения частоты действующих вибраций f к частоте амортизированной системы f_0 .

При разработке схемы амортизации необходимо стремиться к тому, чтобы система имела минимальное число собственных частот и чтобы они были в 2–3 раза ниже наименьшей частоты возмущающей силы.

Для амортизированной аппаратуры следует как можно больше уменьшать собственную частоту, а для неамортизированной, напротив, увеличивать, приближая ее к верхней границе возмущающих воздействий или превышая ее.

Схемы размещения амортизаторов. Конструирование системы амортизации РЭА обычно начинается с выбора типа амортизаторов и схемы их размещения. Выбор амортизаторов производят исходя из допустимой нагрузки и предельных значений

параметров, характеризующих условия эксплуатации. К таким параметрам относятся: температура окружающей среды, влажность, механические нагрузки, присутствие в атмосфере паров масла, дизельного топлива и т. д.

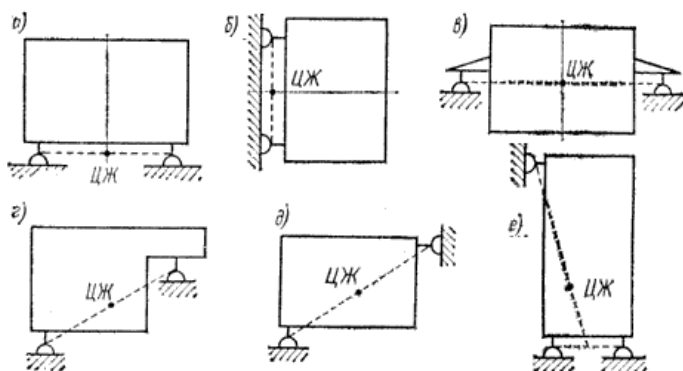


Рис. 13. Схемы расположения амортизаторов

Выбор схемы расположения амортизаторов зависит от расположения аппаратуры на носителе и условий динамического воздействия. На рис. 13 представлены основные схемы расположения амортизаторов [17].

Вариант 'а' довольно часто используется для амортизации сравнительно небольших по габаритам блоков. Такое расположение амортизаторов удобно с позиций общей компоновки блоков на объекте. Однако при этом расположении амортизаторов принципиально невозможно получить совпадение центра тяжести (ЦТ) с центром масс (ЦМ) и не получить рациональной системы. То же можно сказать про вариант размещения 'б'. Вариант размещения 'в' позволяет получить рациональную систему, однако такое расположение амортизаторов не всегда удобно при размещении на объекте. Размещение типа 'г' и 'д' является разновидностью варианта 'в' и используется в том случае, если лицевая панель блока размещается вблизи амортизатора, расположенного снизу. Размещение амортизаторов типа 'е' используется в стоечной аппаратуре, когда высота РЭА значительно больше глубины

и ширины стойки. Чтобы ослабить колебания стойки вокруг осей x и y , ставят дополнительно два амортизатора сверху стойки.

Прочность конструктивных элементов. Механическую прочность элементов конструкции проверяют методами сопротивления материалов и теории упругости для простейших конструкций с распределенной и смешанной нагрузкой. В большинстве практических случаев конструкции деталей РЭА имеют более сложную конфигурацию, затрудняющую определение в них напряжений. При расчетах сложную деталь заменяют ее упрощенной моделью: балкой, пластиной, рамой.

К балкам относят тела призматической формы, длины которых значительно превышают все прочие геометрические размеры конструкции. Концы балок защемляются (сваркой, пайкой), опираются шарнирно-подвижно (установкой в направляющие) или шарнирно-неподвижно (одиночное винтовое соединение). Пластинами считают тела прямоугольной формы, толщина которых мала по сравнению с размерами основания. К подобным конструкциям относят печатные платы, стенки кожухов приборов, стоек, панелей и прочих подобных конструкций. Жесткое закрепление края пластин осуществляется пайкой, сваркой, зажимом, винтовым соединением; шарнирное закрепление – установкой пластин в направляющие, гнездовой соединитель. Рамными конструкциями моделируются многовыводные компоненты: микросхемы, реле, микропроцессоры, ПЛИС [15].

При проектировании конструкции выполняют моделирование, при котором осуществляются:

- проверочные расчеты, когда форма и размеры детали известны (выявлены при конструировании);
- проектные расчеты, когда размеры опасных сечений неизвестны и их определяют на основе выбранных допустимых напряжений;
- расчеты допускаемых нагрузок по известным опасным сечениям и допустимым напряжениям.

При проведении проверочных расчетов на упругие колебания с учетом направления воздействия вибраций выделяют детали и узлы, имеющие наибольшие деформации, выбирают рас-

четные модели, рассчитывают собственные частоты, определяют нагрузки и сравнивают полученные значения с пределами прочности выбранных материалов, при необходимости принимают решение о повышении прочности конструкции.

Для увеличения вибропрочности в конструкции отдельных элементов вводятся дополнительные крепления, ребра и рельефы жесткости, отбортовки, выдавки, используются материалы с высокими демпфирующими свойствами, демпфирующие покрытия.

Внешние вибрационные воздействия часто задаются довольно узким диапазоном частот. В правильно сконструированной аппаратуре собственная частота f_0 конструкции не должна находиться в спектре частот внешних воздействий. Хотя любая конструкция обладает несколькими значениями собственных частот, однако расчет выполняется только для низших значений f_0 , поскольку деформации конструкций в этом случае будут максимальными. Если низшее значение собственной частоты входит в диапазон внешних воздействий, то конструкцию дорабатывают с целью увеличения f_0 и выхода из спектра частот внешних воздействий.

Под жесткостью конструкции понимается способность системы (элемента, детали) противостоять действию внешних нагрузок с деформациями, не допускающими нарушение ее работоспособности. Количественно жесткость оценивается коэффициентом жесткости

$$\lambda = P/\delta, \quad (18)$$

где P – действующая сила; δ – максимальная деформация.

Жесткость конструкции зависит от длины, формы и размеров поперечного сечения балки.

Вибрации, направленные ортогонально к плоскости печатной платы, попеременно изгибают ее и влияют на механическую прочность установленных на ней микросхем и компонентов. Если компоненты считать жесткими, то изгибаться будут их выводы. Большинство отказов компонентов происходит из-за поломки паяных соединений выводов с платой. Наиболее жесткие воздействия имеют место в центре платы, а для прямоугольных плат еще и при ориентации тела элемента вдоль короткой стороны платы. Приклеивание компонентов к плате значительно

улучшает надежность паяных соединений. Защитное лаковое покрытие толщиной 0,1...0,25 мм жестко фиксирует компоненты и увеличивает надежность РЭА.

Механические напряжения на паяные соединения от воздействия вибраций можно уменьшить: увеличением резонансных частот, что позволяет уменьшить прогиб платы; увеличением диаметра контактных площадок, что повышает прочность сцепления контактной площадки с платой; подгибом и укладыванием выводов элементов на контактную площадку, что увеличивает длину и прочность сцепления паяного соединения; уменьшением добротности платы на резонансе ее демпфированием многослойным покрытием лака.

Фиксация крепежных элементов. При воздействии вибраций возможно отвинчивание крепежных элементов, для предотвращения которого вводят фиксаторы, увеличивают силы трения, устанавливают крепеж на краску и пр. При выборе методов фиксации крепежных элементов должны учитываться следующие соображения: обеспечение прочности соединения при заданных нагрузках и климатических воздействий; быстрота выполнения соединения, его стоимость; последствия, к которым приведет отказ соединения; срок службы.

Следует принимать во внимание возможность замены износившихся или поврежденных деталей, использовать вместо винтовых пар быстро сочленяемые элементы: петли, защелки, собачки и пр. Болты должны быть ориентированы головкой вверх, чтобы при отвинчивании гайки болты оказывались на установочном месте. Рекомендуется применять несколько больших крепежных деталей вместо большого числа маленьких. Число оборотов, необходимых для затягивания или отпускания винта, должно быть не менее 10.

Срок службы конструкции. При колебаниях в конструкциях возникают переменные напряжения и конструкции могут разрушаться при нагрузках, значительно меньших предельной статической прочности материалов из-за появления микротрещин, на рост которых влияют особенности кристаллической структуры материалов, концентрации напряжений в углах микротрещин,

условий окружающей среды. По мере развития микротрещин поперечное сечение детали ослабляется и в некоторый момент достигает критической величины – конструкция разрушается.

Если масса изделия не является критическим фактором, то конструкцию упрочняют, используя материалы с запасом, избегают введения отверстий, надсечек, сварных швов, ведут расчеты конструкций методом наихудшего случая.

Защиту от механических воздействий обеспечивает конструкционный материал, который должен удовлетворять заданными механическими и физическими свойствами, обладать легкостью в обработке, коррозионной стойкостью, низкой стоимостью, иметь максимальное отношение прочности к массе и пр. В зависимости от сложности несущую конструкцию выполняют в виде единой детали либо составной, включающей несколько деталей, объединенных в единую конструкцию разъемными или неразъемными соединениями. Основной путь к снижению массы изделий – облегчение несущих конструкций при одновременном обеспечении ими требований прочности и жесткости.

Срок службы конструкции при вибровоздействиях определяется числом циклов до разрушения, которое может выдержать конструкция при заданном уровне механической нагрузки. Усталостные характеристики материалов выявляются на группе образцов при знакопеременной повторяющейся нагрузке.

Решать задачи повышения механической прочности конструкций следует с учетом оптимизации размещения РЭА в отсеках носителей.

Контрольные вопросы

1. Перечислите виды механических воздействий на РЭА.
2. Дайте понятия виброустойчивости и вибропрочности.
3. Понятие жесткости и механической прочности конструкции.
4. Амортизация конструкции РЭА.
5. Перечислите виды амортизаторов.

Глава 13. Защита аппаратуры от воздействия помех

13.1. Природа помех

Надежность и достоверность работы РЭА и систем зависят от их помехозащищенности по отношению к внешним и внутренним, случайным и регулярным помехам. От правильного решения задачи обеспечения помехоустойчивости элементов и узлов РЭА зависят как сроки разработки изготовления и наладки РЭА, так и нормальное ее функционирование в процессе эксплуатации [3], [6].

Помехой для аппаратуры является внешнее или внутреннее воздействие, приводящее к искажению аналоговой или дискретной информации в изделии во время ее хранения, преобразования, обработки или передачи. Помеха – непредусмотренный при проектировании РЭА сигнал, способный нарушить ее функционирование. Так как сигналы в РЭА имеют электрическую природу, то при конструировании необходимо учитывать помехи той же природы, как наиболее вероятные источники искажения информации. Помехами могут быть напряжения, токи, электрические заряды, напряженность поля и др. Источники помех многообразны по физической природе и подразделяются на внутренние и внешние.

Внутренние помехи возникают внутри работающей аппаратуры. Источниками электрических помех являются, в основном, блоки питания и токоразводящие цепи. Источниками магнитных помех являются трансформаторы и дроссели. При наличии пульсаций выходного напряжения вторичных источников электропитания цепи распределения электроэнергии, тактирующие и синхронизирующие цепи следует рассматривать как источники электромагнитных помех. Значительные помехи создают электромагниты, электрические двигатели, реле и электромеханические устройства. Внутренними помехами являются также помехи от рассогласования волновых сопротивлений линий связи с входными и выходными сопротивлениями модулей, которые эти линии соединяют, а также помехи, возникающие по земляным шинам.

Под внешними помехами понимаются помехи сети электропитания, сварочных аппаратов, щеточных двигателей, передающей радиоэлектронной аппаратурой и пр., а также помехи, вызванные разрядами статического электричества и атмосферными явлениями. Действие на аппаратуру внешних помех по физической природе аналогично действию внутренних помех.

Приемниками помех являются высокочувствительные усилители, линии связи, магнитные элементы. Помехи проникают в аппаратуру непосредственно по проводам или проводникам (гальваническая помеха), через электрическое (емкостная помеха), магнитное (индуктивная помеха) или электромагнитное поле. Многочисленные проводники, входящие в состав любой аппаратуры, можно рассматривать как приемопередающие антенные устройства, принимающие или излучающие электромагнитные поля.

Гальваническая связь возникает в результате протекания токов и падения напряжений на электрических соединениях, общих по цепям питания. Поэтому проводники, объединяющие модули в единую систему, должны быть по возможности короткими, а их поперечные сечения возможно большими, что приводит к уменьшению активного сопротивления и индуктивности проводов. Радикальным способом устранения гальванической помехи является устранение цепей, по которым проходят совместные токи питания и земли как чувствительных к помехам схем, так и сравнительно мощных схем.

Борьба с помехами приобретает все большую актуальность по следующим причинам.

1. Энергетический уровень информационных сигналов имеет тенденцию к уменьшению, а энергетический уровень внешних помех непрерывно увеличивается.

2. Увеличение взаимного влияния элементов из-за уменьшения габаритных размеров активных элементов и линий связи между ними, а также увеличение плотности их размещения.

3. Возрастание уровня помех из-за усложнения систем и расширения применения внешних устройств с большим количеством электромеханических узлов.

4. Внедрение РЭА во все сферы человеческой деятельности.

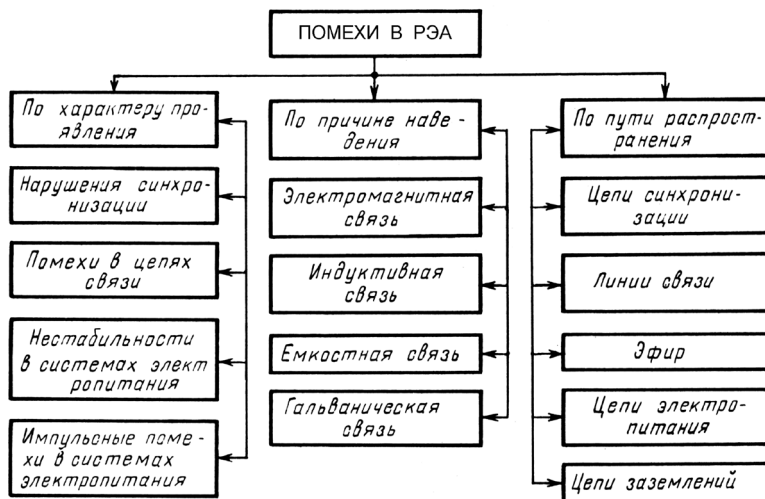


Рис. 14. Классификация помех в РЭА

13.2. Классификация помех

Помехи могут быть классифицированы по причине наведения, характеру проявления и пути распространения [18], [19].

Основные причины, вызывающие искажения сигналов при прохождении их по цепям РЭА, следующие:

- а) отражения от несогласованных нагрузок и от различных неоднородностей в линиях связи;
- б) ухудшение фронтов и задержки, возникающие при включении нагрузок с реактивными составляющими;
- в) задержки в линии, вызванные конечной скоростью распространения сигнала;
- г) перекрестные помехи;
- д) паразитная связь между элементами через цепи питания и заземления;
- е) наводки от внешних электромагнитных полей.

Степень влияния каждого из перечисленных факторов на искажение сигналов зависит от характеристик линий связи, логических элементов и сигналов, а также от конструктивного выполнения всей системы элементов и связей.

13.3. Способы снижения помех

Электрическое объединение логических и других элементов РЭА осуществляют связями двух видов: сигнальными и цепями питания. По сигнальным связям информация передается в виде импульсов напряжения и тока. Шины питания служат для подведения энергии к элементам от низковольтных источников постоянного напряжения.

Помехи в сигнальных проводниках. Связи между элементами РЭА выполняются различными способами: для сравнительно медленных устройств – в виде печатных или навесных проводников; в устройствах с повышенными скоростями работы – в виде печатных полосковых линий, «витых пар» (бифиляров).

При группировке элементов по узлам и блокам между ними образуется большое число электрически «коротких» и электрически «длинных» связей.

Электрически «короткой» называют линию связи, время распространения сигнала в которой много меньше переднего фронта передаваемого по линии импульса. Сигнал, отраженный от несогласованных нагрузок в этой линии связи, достигает источника раньше, чем успеет измениться входной импульс. Свойства такой линии можно описать сосредоточенными сопротивлениями, емкостью и индуктивностью.

Электрически «длинная» линия связи характеризуется временем распространения сигнала, много большим фронта импульса. В этой линии отраженный от конца линии сигнал приходит к ее началу после окончания фронта импульса и искажает его форму. Такие линии следует рассматривать как линии с распределенными параметрами.

В ИС, ячейках и модулях связи, как правило, электрически «короткие» линии. В более крупных конструктивных единицах РЭА в основном электрически «длинные» линии. Доля «длинных» связей с ростом сложности аппаратуры возрастает.

Помехи в «коротких» связях. При анализе процессов передачи сигналов электрически «короткую» линию связи можно представить в виде эквивалентной схемы, содержащей сосредоточенные индуктивность L и емкость C (омическим сопротив-

лением пренебрегают), которые «затягивают» фронты сигналов и тем самым создают задержки срабатывания последующих схем.

В зависимости от геометрических размеров сечений линий, их длины, диэлектрических свойств изоляционных материалов, тот или иной параметр линии может преобладать и оказывать большее воздействие на процессы передачи сигнала, чем все остальные. Для уменьшения задержки в линиях с индуктивным характером связи следует увеличивать входное сопротивление элемента при емкостном характере – уменьшать выходное сопротивление элемента.

С уменьшением геометрических размеров элементов и повышением плотности их размещения между сигнальными проводниками возникают емкостная и индуктивная связи, которые также можно представить как связь через взаимную емкость и взаимную индуктивность. При переключении элементов по сигнальным цепям протекают импульсные токи с крутыми фронтами, которые вследствие наличия паразитных связей наводят на соседних сигнальных проводниках помехи. При этом емкостная наводка изменяет потенциал всей линии связи, а индуктивная создает разность потенциалов между входом и выходом линии. Для снижения взаимных наводок необходимо уменьшать выходное сопротивление элементов, амплитуды токов, длину связей и их сечения, расстояние между линиями связи, применять изоляционные материалы с хорошими диэлектрическими свойствами.

Помехи при соединении элементов «длинными» связями.

Электрически «длинную» линию связи рассматривают как однородную линию с распределенной емкостью C_0 и индуктивностью L_0 . Переходные процессы в таких линиях зависят от характера перепада напряжения $u_{\text{вх}}$ на входе линии и соотношения волнового сопротивления линии z_0 , выходного сопротивления z_r генератора импульсов и входного сопротивления z_n нагруженного на конец линии элемента.

Если линия с волновым сопротивлением z_0 нагружена на сопротивление z_n , и $z_0 = z_n$, то такую линию называют согласованной, если $z_0 \neq z_n$, линию называют несогласованной. При этом волна напряжения, достигнув конца линии, отражается от него. Отраженная волна, достигнув начала линии, затухает при $z_r = z_0$. Если $z_r \neq z_0$, волна вновь отражается от начала линии.

Процесс поочередного отражения волны напряжения от обоих концов линии связи идет с затуханием и продолжается до тех пор, пока амплитуда отраженной волны не уменьшится до нуля. Отраженные волны напряжения накладываются на падающие, и в итоге форма входного напряжения может существенно исказиться. Аналогичные явления происходят и с волной тока. Отражения волн напряжения и тока могут быть не только от несогласованных нагрузок на концах линий, но и от различных неоднородностей в ней самой.

Рассмотренные процессы могут вызывать выбросы напряжения. Для уменьшения влияния выброса на параметры нагруженных схем в качестве нагрузки используют диоды Шоттки как динамические нелинейные сопротивления. По мере возникновения паразитного выброса один из диодов начинает открываться до тех пор, пока его сопротивление не станет приблизительно равным волновому сопротивлению линии. Другой диод смещен в обратном направлении и предназначен для гашения обратного выброса. В результате энергия выбросов поглощается, что ведет к повышению устойчивости работы схем. Особенно эффективно использование диодов Шоттки для длинных (до 1 м) линий связей, обычно выполняемых бифиляром.

Паразитные наводки в «длинных» линиях связи. Если линии связи между элементами не экранированы, то электромагнитные поля, возникающие при прохождении по ним импульсных высокочастотных сигналов, не локализованы и в той или иной степени взаимодействуют между собой. При этом на линиях-приемниках возникают паразитные сигналы, форма и амплитуда которых зависят от характеристик линии-приемника и линии-индуктора, величины их связи между собой, параметров передаваемых сигналов и степени рассогласования самих линий.

Известно, что только при полном согласовании обеих линий импульс наводимого напряжения имеет минимальные амплитуду и длительность. Рассогласование линии-приемника на одном из ее концов приводит к увеличению амплитуды и длительности наводимой помехи.

Методы разводки «длинных» линий связи. В быстродействующих системах, в которых задержка определяется только за-

держками в цепях связей, основную проблему может составить способ разводки линий между отдельными ИС. В настоящее время существует три способа разводки: радиальный, с промежуточными отводами, комбинированный [10].

При радиальном способе разводки каждую ИС-нагрузку подключают к ИС-источнику сигнала индивидуальной связью, при этом ИС-источник сигнала должна иметь выходное сопротивление, равное z_0/n , где n – **число нагруженных на нее ИС**. При большом n потребуется ИС-источник сигнала с недостижимо малым выходным сопротивлением. Другой недостаток радиального способа – необходимость наличия отдельной линии связи для каждой нагрузки. Поэтому радиальный метод рекомендуют только для небольшого количества нагрузок.

При способе разводки с промежуточными отводами ИС-нагрузки подключают к связи-магистральной и далее к ИС-источнику сигнала через короткие проводники, при этом нагрузочные ИС должны иметь высокие входные сопротивления, иначе они будут перегружать линии связи.

Комбинированный способ обеспечивает согласование в любой точке линии связи путем разводки сигналов на нагрузки, размещенные по разным направлениям. При этом число проводников меньше, чем при радиальном способе, а выходное сопротивление источника сигналов допускается сравнительно высоким. Если на линии связи находятся всего две нагрузки, то ИС-источник сигнала можно пометить в любой точке вдоль нее.

Наводки по цепям питания и методы их уменьшения. При использовании одного источника напряжения питание к элементам подводится с помощью двух проводников: прямого и обратного. Часто на элементы необходимо подавать напряжение от нескольких источников с разными номиналами. В этом случае для уменьшения количества шин питания обратные проводники объединяют в одну шину, которую соединяют с корпусом изделия и называют шиной «земля». В статическом состоянии по цепям питания протекают стационарные токи.

При работе блоков и устройств РЭА, когда происходит включение одних элементов и включение других, ток потребления

по шинам питания изменяется, что приводит к нежелательным падениям напряжения и паразитным наводкам. В больших системах изменение тока в шине питания вследствие переключения элементов незначительно, так как в любой момент времени число включенных элементов примерно одинаково.

В шинах питания, подводящих энергию к более мелким устройствам, переключение элементов может приводить к значительному изменению тока потребления от источника напряжения. Так как шины питания имеют паразитную емкостную и индуктивную связь с сигнальными шинами, то при переключении элементов на сигнальных связях наводятся сравнительно большие помехи. При определенных условиях эти помехи могут вызвать ложное срабатывание схем. Кроме того, изменение тока в шине питания приводит к возникновению в ней переходного процесса. Переходный процесс приводит к колебанию напряжения, приложенного к элементам, что может изменять режим его работы и параметры выходных сигналов.

Для уменьшения наводок, связанных с падением напряжения на шинах питания и «земля» и переходными процессами в них, используют различные методы.

Применение индивидуальных сглаживающих конденсаторов (ИСК). ИСК устанавливают между шинами питания и «земля» непосредственно возле точек присоединения электронных устройств к этим шинам. ИСК является как бы индивидуальным источником питания схемы, максимально приближенным к ней физически. В микроэлектронной аппаратуре используются два вида ИСК, устанавливаемые непосредственно у каждой микросхемы и устанавливаемые на группу микросхем в пределах одной ячейки, модуля.

Первый тип ИСК предназначен для сглаживания импульсных помех в момент переключения микросхемы за счет локализации цепи протекания бросков тока в цепи микросхема – ИСК. В качестве таких ИСК используют обычно обладающие малой собственной индуктивностью керамические конденсаторы. Емкость ИСК выбирают, исходя из условия равенства заряда, накапливаемого конденсатором за время переключения микросхемы, заряду, переносимому выбросом тока за время переключения элемента.

Второй тип ИСК, устанавливаемый на группу микросхем, предназначен для компенсации бросков тока в системе электропитания. Это обычно электролитические конденсаторы большой емкости, обеспечивающие исключение резонансных явлений в цепях питания.

Уменьшение общих участков протекания токов элементов по шинам питания. Этот метод заключается в установке дополнительных перемычек в шинах питания и «земля», которые уменьшают длину общих участков протекания токов элементов.

Помехоподавляющие фильтры. Эффективным схемным средством ослабления внешних помех по сетям питания является использование помехоподавляющих фильтров.

Фильтры характеризуются частотой среза и коэффициентом фильтрации, равным отношению сигнала на входе и выходе фильтра. Зная спектр частот полезного сигнала и помехи и задаваясь определенным ослаблением помехи (в идеале – до нуля), проектируют соответствующие схемы фильтров.

Сетевые фильтры предназначены передавать на выход (в прибор) только частоту сетевого напряжения и подавлять помехи от источника электропитания. Для защиты аппаратуры от перенапряжений в схему сетевого фильтра обычно вводят газоразрядники, варисторы, стабилитроны, предохранители.

Использование металлического листа в качестве «земли». Этот метод применим для элементов второго уровня конструктивной иерархии РЭА (субблоков, блоков, панелей) и заключается в установке в эти конструктивные элементы сравнительно толстого металлического листа, к которому припаивают обратные провода от всех закрепленных ячеек или модулей.

Использование сплошных металлических прокладок в качестве шин питания. Этот метод применим в случае использования многослойных печатных плат для устройств сверхбыстродействующих РЭА. В таких платах отдельные слои изготавливают с максимально большой площадью металла и применяют их в качестве шин питания, эти слои размещают внутри многослойной платы. При использовании сплошных металлических слоев значительно уменьшаются собственное индуктивное сопротивление шин питания, общие участки протекания токов различных элементов и увеличивается взаимная емкость между шинами питания.

13.4. Применение экранов в РЭА

При прохождении мощных сигналов по цепям связи последние становятся источниками электромагнитных полей, которые, пересекая другие цепи связи, могут наводить в них дополнительные помехи. Источниками электромагнитных помех могут быть также мощные промышленные установки, транспортные коммуникации, двигатели и т. д. Устройства, чувствительные к статическим магнитным полям (например, магнитные элементы с разомкнутым магнитопроводом), могут неустойчиво работать даже от таких слабых полей, как магнитное поле Земли.

Экраны включаются в конструкцию для ослабления нежелательного возмущающего поля в некотором ограниченном объеме до приемлемого уровня или для локализации, где это возможно, действие источника полей. Возможны два варианта защиты. В первом случае экранируемая аппаратура размещается внутри экрана, а источник помех вне его, во втором – экранируется источник помех, а защищаемая от помех аппаратура располагается вне экрана. Первый вариант обычно используют при защите от внешних помех, второй – внутренних.

В РЭА функции экранов чаще всего выполняют кожухи, панели и крышки приборов блоков и стоек, при выборе материалов и расчете толщины которых кроме соображений эффективности экранирования необходимо учитывать требования обеспечения механической прочности, жесткости, надежности соединения отдельных элементов.

Отверстия и щели в экранах уменьшают эффективность экранирования, поэтому их необходимо исключать или сводить к минимуму. Однако полностью от них избавиться невозможно. Отверстия вводятся в кожух для установки соединителей, элементов управления, индикации, обеспечения нормального теплового режима. Эффективность экрана не ухудшится, если в его конструкции выполнены отверстия, максимальные размеры которых не превышают $1/2$ минимальной длины волны экранируемого сигнала. Чтобы помеха не проникала через вентиляционные отверстия, на внутренних поверхностях кожухов с отверстиями может закрепляться металлическая сетка.

По принципу действия различают электростатическое, магнитостатическое и электромагнитное экранирования.

Электростатическое экранирование применяется при внутренних помехах с одних функциональных модулей аппаратуры на другие. При введении между модулями заземленного экрана высокой проводимости источник помех окажется подсоединенным на землю через паразитную емкость, желательно как можно большую, а входы и выходы схем – на соответствующие паразитные емкости (обычно много меньшие), что должно учитываться схемотехником при оценке параметров и характеристик схемы. Экранирующий эффект заключается в шунтировании на корпус большей части паразитной емкости, имеющейся между источником и приемником наводок.

В качестве экранов могут служить детали шасси и каркасов, обшивки стоек, панелей, субблоков, кассет, специальные листовые металлические прокладки на монтажной стороне плат, блоков, субблоков и т. д.

С целью улучшения экранировки особо чувствительных к помехам цепей (например, для передачи синхроимпульсов) на обеих сторонах печатных плат сигнальные и заземленные экранные проводники чередуют таким образом, чтобы против сигнальной линии, проходящей с одной стороны платы, всегда располагалась заземленная линия с другой стороны платы. При этом каждая сигнальная линия оказывается окруженной тремя заземленными линиями, в результате чего достигается не только эффективная экранировка сигнальной линии от внешних помех, но и для полезного сигнала обеспечивается подобная волноводу цепь от источника до нагрузки.

Экранирование применяется также для проводов входной и выходной линий, при этом чаще всего оказывается достаточным экранировать только входную цепь. Для устранения гальванической помехи по земле экраны проводов необходимо заземлять в одной точке. При выполнении линий передачи печатным способом вводятся экранирующие трассы, коммутируемые с шиной нулевого потенциала и выполняющие функции экранов проводов.

Магнитостатическое экранирование. Задача экранирования сводится к уменьшению или полному устранению индуктив-

ной связи между источником и приемником помехи. Если магнитный поток пересекает контур, образуемый проводником, то в контуре наводится помеха. Для полного устранения или уменьшения напряжения помехи, наводимой в контуре, необходимо:

- поместить контур в экран;
- ориентировать его так, чтобы магнитные силовые линии поля не пересекали контур, а проходили вдоль него;
- уменьшить площадь контура.

Магнитные экраны выполняют как из ферромагнитных, так и немагнитных металлов. Ферромагнитные материалы с большой магнитной проницаемостью обладают малым магнитным сопротивлением, в результате чего линии магнитного поля будут шунтированы материалом экрана, и пространство внутри экрана не будет подвергаться воздействию магнитного поля. Магнитное экранирование тем эффективнее, чем больше магнитная проницаемость экрана и толще экран. При выборе материала экрана необходимо помнить, что магнитная проницаемость с увеличением частоты поля уменьшается, и это сказывается на эффективности экранирования. Ферромагнитные материалы эффективно защищают аппаратуру в диапазоне частот от 0 до 10 кГц.

Действие экрана из немагнитного металла основано на вытеснении внешнего магнитного поля из внутреннего пространства прибора материалом экрана. Внешнее переменное магнитное поле создает индукционные вихревые токи в экране, магнитное поле которых направлено навстречу внешнему полю внутри экрана. У экранов из немагнитных металлов эффективность экранирования повышается с увеличением толщины и проводимости материала экрана. Толщина немагнитного экрана может в несколько раз превысить толщину ферромагнитного, обеспечивающего на фиксированной частоте одинаковое ослабление. Использование ферромагнитного материала позволяет значительно снизить массу экрана. При экранировании магнитного поля заземление экрана не обязательно, поскольку оно не влияет на качество экранирования.

Однако перед тем как конструировать экран, необходимо предусмотреть все меры, чтобы избавиться от помехи более простым и дешевым способом. Например, уменьшение площади

контура, пересекаемого силовыми линиями магнитного поля, получают укладыванием сигнальных проводников непосредственно по заземленным монтажным панелям модулей.

Электромагнитное экранирование охватывает диапазон частот от 1 кГц до 1 ГГц. Действие электромагнитного экрана основано на отражении электромагнитной энергии на границах диэлектрик-экран и ее затухании в толще экрана. Затухание в экране объясняется тепловыми потерями на вихревые токи в материале экрана, отражение – несоответствием волновых параметров материала экрана и окружающей среды. Для нижней границы частотного диапазона первостепенное значение приобретает отражение, для верхней границы – поглощение электромагнитной энергии.

Электромагнитное экранирование выполняется как немагнитными, так и магнитными металлами. Немагнитные металлы высокой проводимости можно эффективно использовать в низкочастотной части спектра, ферромагнитные материалы высокой магнитной проницаемости и электрической проводимости – во всем частотном диапазоне электромагнитного поля. Толщина экрана должна быть по возможности наибольшей. При защите аппаратуры от внешнего поля материал с низкой магнитной проницаемостью помещают наружу, с высокой – внутрь. Если экран защищает источник электромагнитного поля, то материал с низкой магнитной проницаемостью должен быть внутренним слоем, а с высокой – наружным.

В РЭА получили распространение экраны из стали и пермаллоев. Стальные экраны с малой начальной магнитной проницаемостью обеспечивают малое, но постоянное экранирование на частотах как на низких, так и вплоть до десяти килогерц. Экраны из пермаллоев с высокой начальной проницаемостью позволяют получить эффективное экранирование, но в узком диапазоне частот от нуля до нескольких сотен герц. С увеличением частоты возрастают вихревые токи экрана, которые вытесняют магнитное поле из толщи экрана и уменьшают его магнитопроводимость, а это сказывается на эффективности экранирования.

Широкое распространение в технике РЭА нашли также экранированные провода, коаксиальные кабели и «витые» пары проводников (бифиляры).

При широком использовании микропроцессорной техники, ПЛИС и ИС защита от импульсных помех является актуальной и трудоемкой задачей, т.к. стремление к уменьшению габаритов и веса РЭА привело к замене традиционных вторичных источников питания (выпрямителей) импульсными.

В связи с этим возросла вероятность прямого прохождения импульсов малой длительности через шины питания на входные и выходные цепи микросхем. Это приводит к появлению ошибок в кодовых комбинациях управляющих команд, программным ошибкам и системным сбоям.

Ранее перечислялись методы защиты от подобных помех, но хотелось бы отметить необходимость компромиссных решений, наилучшим способом сочетающих требований отсутствия сбоев РЭС, габаритам и энергопотреблению.

Контрольные вопросы

1. Природа помех.
2. Перечислите основные виды помех.
3. Какие способы снижения помех вам известны?
4. Применение экранов в РЭА.
5. Каким способом защищают аппаратуру от наводок по цепям питания?

Глава 14. Воздействие ионизирующих излучений на РЭС, защита от излучений

14.1. Классификация радиоактивных излучений

Эксплуатация РЭА в космическом пространстве, на атомных подводных крейсерах и в боевых условиях накладывает требования особой устойчивости к воздействию ионизирующих излучений, ГОСТ 25467-82, ГОСТ 20397-82, ГОСТ Э 27.002.20009, СТП и ТУ [11].

Радиоактивные излучения подразделяются на корпускулярные и квантовые. Первые представляют собой потоки быстрых элементарных частиц (нейтронов, протонов, ядер атомов химических элементов, бета, альфа и других частиц), вторые – электромагнитные ионизирующие излучения (гамма и рентгеновское).

Количественно радиоактивное излучение характеризуется следующими параметрами:

- поток радиоактивных частиц или квантов Φ (с^{-1}),

$$\Phi = n/t, \quad (19)$$

где n – число частиц или квантов, t – время (с);

- плотность потока частиц или квантов t ($\text{с}^{-1}\text{м}^{-2}$),

$$t = \Phi/S, \quad (20)$$

где S – поверхность (м^2);

- кинетическая энергия излучения E , эВ (электронВольт),

$$E = qU, \quad (21)$$

где q – заряд частиц (Кл), U – разность потенциалов (В);

- поглощенная доза излучения D , Гр (Грей),

$$D = E/m, \quad (22)$$

где m – масса облучаемого вещества, кг;

- мощность поглощенной дозы радиоактивного излучения P , Гр/с,

$$P = DD/Dt, \quad (23)$$

где DD – увеличение поглощенной дозы за время Dt ;

- экспозиционная доза рентгеновского и гамма-излучения (экспозиция) D_x , Кл/кг (Кулон/кг),

$$D_x = Q/m, \quad (24)$$

где Q – сумма электрических зарядов ионов, имеющих одинаковый знак и возникающих в воздухе, когда все электроны, освобожденные с помощью квантов рентгеновского и гамма-излучений в элементарном объеме воздуха, полностью тормозятся; m – масса элемента объема воздуха;

- мощность экспозиционной дозы P_x , А/кг,

$$P_x = DD_x/Dt, \quad (25)$$

где DD_x – увеличение экспозиционной дозы за время Dt .

14.2. Единицы измерений основных характеристик излучений

Для измерения поглощенной дозы радиоактивного излучения применяется специальная единица – грей. Один грей (1 Гр) равен дозе излучения, при которой облученному веществу массой 1 кг передается энергия любого ионизирующего излучения Дж.

Произведение поглощенной дозы на коэффициенты, учитывающие преобразование энергии, принято называть эквивалентной дозой $D_{ед}$:

$$D_{ед} = D * K_k * K_p * K_i,$$

где K_k – коэффициент качества излучения, учитывающий линейное преобразование энергии и позволяющий использовать единую шкалу для всех видов радиоактивных излучений; K_p – коэффициент распределения, учитывающий степень неравномерности поглощения энергии веществом; K_i – коэффициент интенсивности излучения, учитывающий плотность энергии радиоактивного излучения.

Единицей измерения эквивалентной дозы является зиверт. За один зиверт (1 Эв) принимается такая эквивалентная доза любого вида излучения, которая при хроническом облучении вызывает такой же эффект, что и Гр рентгеновского или гамма-излучений.

Эквивалентная и поглощенная дозы отличаются лишь безразмерными коэффициентами. Поглощенная доза зависит от природы материала, конструктивных особенностей и режимов работы оборудования. Поэтому для конкретизации меры количества радиоактивного излучения приняты единицы поглощенной энергии специально выбранными стандартными и образцовыми веществами. Эти единицы называют экспозиционными дозами.

Стандартным веществом для рентгеновского и гамма-излучений в России выбран сухой воздух при нормальных условиях (в США – углерод); для определения экспозиционной дозы протонов и электронов – кристалл иодистого натрия (NaI), активированный талием (TI); для нейтронов – тканеэквивалентный газ, т. е. такая смесь газов, в которой концентрации водорода и азота равны их концентрации в мягкой ткани человека.

В качестве единицы экспозиционной дозы нейтронного излучения применяют нед – нейтронная единица дозы.

14.3. Классификация воздействий излучений на РЭС

Компоненты электронной аппаратуры, подвергнутой воздействию радиоактивных излучений, могут изменять свои параметры. При этом различают необратимые (остаточные) и обратимые (временные) изменения [18], [10].

Необратимые нарушения связаны с изменением структуры применяемых материалов (прежде всего полупроводниковых). К таким нарушениям относятся: перегруппировка атомов в кристаллической решетке; появление вакансий, междоузельных атомов, дислокаций; внедрение инородных атомов.

Обратимые нарушения, например в интегральных схемах, наблюдаются при переходе электронов и дырок в неравновесное состояние, которое из-за большой подвижности носителей заряда быстро восстанавливается после прекращения облучения. Тем не менее и обратимые изменения могут ухудшать параметры РЭС, вызывая увеличение токов утечки и снижение сопротивления изоляционных, полупроводниковых и проводящих материалов.

В зависимости от вида и энергии излучения процессы, приводящие к нарушениям, могут происходить по всему объему материала или только в приповерхностном слое.

Нейтроны и гамма-кванты обладают высокой проникающей способностью, и поэтому вызываемые ими изменения, как правило, носят объемный характер. Естественно, они могут приводить и к поверхностным изменениям.

Альфа-частицы и осколки ядер воздействуют только на поверхность.

Протоны и электроны (бета-излучение) могут приводить к дефектам как в поверхностном слое, так и в объеме материала, поскольку глубина их проникновения зависит от энергии частиц и возникновения в данном материале вторичных ионизирующих излучений.

14.4. Влияние радиоактивных излучений на полупроводники

Влияние радиоактивных излучений на электрические свойства полупроводников связано с появлением новых энергетических уровней в запрещенной зоне. Некоторые из них (центры рекомбинации) могут захватывать носители зарядов, в результате чего уменьшается эффективное время жизни последних и заметно ухудшаются основные параметры полупроводниковых приборов и интегральных схем (ИС).

Интенсивность возникающих при облучении процессов рекомбинации носителей зарядов существенно различна для разных полупроводниковых материалов. Например, на дефектах в кристаллической решетке кремния, облученного нейтронами, рекомбинация в 10 раз активнее, чем на дефектах в облученном германии. Поэтому германий – радиационно более стойкий материал, чем кремний. Как правило, материалы с меньшим удельным электрическим сопротивлением являются радиационно более стойкими.

Наиболее чувствительны к облучению в полупроводниковых приборах р-п переходы и область базы. Транзисторы с узкой базой выдерживают большую дозу облучения, чем транзисторы с широкой базой, так как эффективность работы транзистора тем выше, чем меньше рекомбинирует при прохождении через базу инжектированных в нее неосновных носителей. Следовательно, высокочастотные транзисторы радиационно более стойкие, чем низкочастотные.

Наряду с нарушениями структуры материалов при облучении происходит также их нагрев вследствие преобразования поглощенной энергии радиоактивного излучения в тепловую. В связи с этим в ряде случаев целесообразнее использовать материалы, менее стойкие к облучению, но более стойкие к воздействию повышенных температур. Здесь ситуация с германием и кремнием противоположная.

Максимальный ток в канале полевого транзистора с р-п переходом определяется главным образом концентрацией свободных носителей заряда в канале. Поскольку при облучении быстрыми нейтронами эта концентрация уменьшается, уменьшается и максимальный ток. Стокозатворная и стоковая характеристики этих транзисторов практически не зависят от поверхностных эффектов, что определяет их высокую стойкость к радиоактивным излучениям. Предельная поглощенная доза для них может составлять 107 Гр.

Изменение параметров МДП-транзисторов в результате воздействия радиоактивного излучения обусловлено главным образом радиационными эффектами в диэлектрике затвора и на границе диэлектрик-полупроводник.. При воздействии радиационного излучения на структуру диэлектрик-полупроводник наблюдается увеличение плотности поверхностных состояний и образование

пространственного заряда в объеме диэлектрика. Плотность наведенного облучением заряда определяется поглощенной дозой ионизирующего излучения, значением и полярностью приложенного к затвору напряжения, концентрацией ловушек. В пленке диоксида кремния в результате облучения происходит накопление положительного пространственного заряда. Это приводит к изменению поверхностной концентрации носителей заряда, образованию поверхностных проводящих каналов, появлению поверхностного тока утечки и уменьшению пробивного напряжения [15].

14.5. Влияние излучения на резисторы, конденсаторы и катушки

Стойкость резисторов к радиоактивному излучению зависит от технологии их изготовления и исходных материалов. Пленочные металлические резисторы обладают большей радиационной стойкостью, чем углеродистые. В свою очередь резисторы из чистых металлов имеют большую радиационную стойкость, чем резисторы из сплавов или оксидов металлов.

Степень радиационных нарушений в пленочных углеродистых резисторах зависит от вида защитного покрытия. Резисторы, опрессованные в пластмассу, противостоят облучению лучше резисторов с корпусами из керамики, стекла и эпоксидной смолы, причем стойкость резисторов повышается, если вместо воздуха корпуса заполнены внутри азотом или гелием.

Диффузионные резисторы ИС подвержены резкому влиянию радиации. Их стойкость существенно зависит от изоляции элементов ИС. Наименее чувствительны к радиоактивному излучению резисторы с диэлектрической изоляцией, а наиболее чувствительны – резисторы, изолированные р-п переходом. Это объясняется тем, что обратновключенные р-п переходы оказывают шунтирующее действие, так как обратный ток диодов при радиоактивном облучении значительно возрастает.

Радиационная стойкость конденсаторов определяется технологией их изготовления и применяемыми материалами. Как показывает практика, органические диэлектрики почти на порядок более чувствительны к радиоактивным излучениям, чем неорганические.

Барьерная емкость закрытого р-п перехода, часто используемая в качестве конденсатора ИС, очень чувствительна к облучению. При больших дозах облучения эта емкость существенно увеличивает время переключения логических ИС, а следовательно, снижает их быстродействие.

Тонкопленочные структуры типов МДМ и МДП, также используемые в качестве конденсаторов ИС, радиационно более стойки. Их удельная емкость практически не меняется при поглощенной дозе радиоактивного излучения $10^6 \dots 10^7$ Гр и потоке быстрых нейтронов плотностью до $10^{16} \text{ см}^{-2} \text{ с}^{-1}$. Наиболее чувствительным параметром тонкопленочных конденсаторов является проводимость диэлектрической пленки, которая при облучении в большинстве случаев увеличивается.

У дискретных конденсаторов после 70...100 часов облучения на 2...3 порядка падает сопротивление утечки и на 20–30 % уменьшается емкость. Наиболее стойкими являются керамические конденсаторы, затем слюдяные и фторопластовые. Наименее стойкие – электролитические (в том числе, и танталовые).

Радиационная стойкость катушек индуктивности определяется в основном степенью повреждения материалов. За счет радиационного изменения активного сопротивления катушки индуктивности может незначительно измениться ее добротность. Однако этот эффект не проявляется при облучении потоками плотностью до $10^{18} \text{ см}^{-2} \text{ с}^{-1}$.

Индуктивность пленочных катушек с ферромагнитными пленками при большой дозе облучения (до 10^5 Гр) уменьшается за счет радиационного изменения магнитной проницаемости сердечников.

Значительно меньше подвержены воздействию радиации силовые и низкочастотные трансформаторы и дроссели, реле, электродвигатели [10].

14.6. Защита от ионизирующих излучений

В промышленности применяются следующие меры защиты от излучений:

1. Принцип изоляции защищаемого объекта от воздействия с помощью эффекта поглощения. Для этой цели используется элемент-экран.

2. Повышение собственной радиационной стойкости объекта. Для реализации этого принципа используются следующие приемы:

- уменьшение размеров;
- выбор стойких материалов;
- соответствующая технологическая обработка конструкций

и т.п.

Следует особо выделить применение радиокомпонентов на основе вакуумной электроники. Недостатком современной космической электроники является использование преимущественно полупроводниковых радиоэлементов, которые очень чувствительны к ионизирующим излучениям. Поэтому следует постоянно совершенствовать миниатюрные электронно-вакуумные приборы и вводить их в электрические схемы космической РЭА.

Контрольные вопросы

1. Как классифицируются радиоактивные излучения?
2. Назовите основные характеристики излучений и единицы их измерений.
3. Как классифицируются виды воздействий излучений на параметры РЭС?
4. Как влияют радиационные излучения на параметры транзисторов?
5. Как зависит стойкость транзистора от материала из которого он изготовлен?
6. Как влияют радиоактивные излучения на параметры микросхем?
7. Какие конденсаторы и резисторы наиболее стойки к воздействию излучений?
8. Как меняются параметры моточных изделий под воздействием излучений?
9. Перечислите виды защиты от излучений.

Глава 15. Этапы проектирования конструкций РЭС при использовании систем автоматизированного проектирования

15.1. Причины использования САПР при разработке конструкций РЭС

Типовая схема процесса автоматического проектирования представлена на рис. 15.

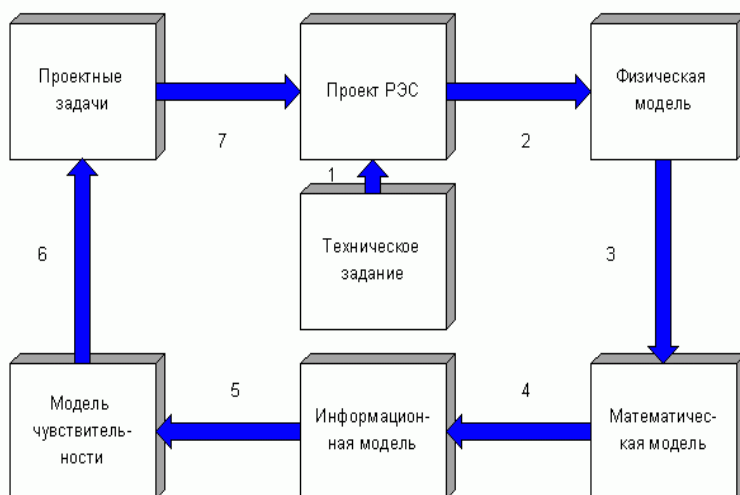


Рис. 15. Схема процесса автоматического проектирования

Перечислим основные причины использования систем автоматического проектирования (САПР) при проектировании РЭС.

1. Возможность создания и редактирование графической части, автоматизация выполнения художественных и дизайнерских работ.

2. Возможность проверки разработанной графической модели на соответствие техническим требованиям к конструкции, анализ на прочность, воздействие температуры, анализ электромагнитной совместимости и пр.

3. Автоматизация проектирования текстовой документации, оформление документации, оформление документации в соответствии с ГОСТ и ЕСКД.

1-й этап – составление технического задания.

Отражаются основные требования к конструкции. В состав основных требований входят:

- значения выходных характеристик и их допустимые разбросы;
- показатели надежности: вероятность безотказной работы, время эксплуатации, срок службы и др.;
- условия эксплуатации: влажность, давление, температура и др.;
- специальные воздействия: вибрация, удары, акустический шум, радиация и др.;
- условия хранения и транспортировки;

2-й этап – разработка проекта РЭС:

- разработка эскиза изделия;
- разработка структурной и функциональной схем РЭС;
- предварительная компоновка и размещение отдельных элементов и узлов в составе изделия;

3-й этап – разработка физической модели схем и конструкции:

- построение двумерной либо трехмерной конструкции изготавливаемого изделия;
- окончательная компоновка и размещение составных частей изделия;

4-й этап – разработка математической модели.

С помощью математической модели создаются основы для расчета выходных характеристик, а также параметров, по которым оценивается фактическое состояние конструкции. Моделирование содержит несколько шагов:

- задание математических моделей для анализа тепловых процессов, анализа воздействия ударов и вибраций, анализа электромагнитной совместимости и пр.;
- задание параметров этих математических моделей (тип материала, его электрические, механические и прочие характеристики);
- проведение соответствующих расчетов;

5-й этап – разработка информационной модели.

Информационная модель устройства включает в себя:

- расчетные значения выходных характеристик;
- требования технического задания;

- информацию из технических условий на элементы схемы и конструкции;
- расчетные значения электрических, тепловых и механических режимов работы элементов;
- показатели определяющие надежность и качество изделия;
- множество внутренних параметров схемы и конструкции, которые могут быть управляемыми;

6-й этап – разработка модели чувствительности.

Путем сопоставления требований ТЗ с расчетными характеристиками, режимов работы элементов с допустимыми режимами, приведенными в технических условиях, выявляются те характеристики и режимы работы элементов, которые необходимо изменить и на этой основе строится модель чувствительности.

В результате расчета модели чувствительности определяются функции, показывающие степень влияния управляемых параметров на выходные характеристики и позволяющие окончательно сформулировать проектные задачи, которые необходимо решить для доработки проекта.

Таким образом, процесс проектирования носит итерационный характер. Исправление недостатков происходит путем повторного выполнения проектных процедур;

7-й этап – формализация и решение проектных задач.

На выходе 7 этапа получают техническую документацию, необходимую для изготовления опытного образца РЭС, оформленную в соответствии с требованиями ГОСТ и ЕСКД.



Рис. 16. Структурная схема заключительного этапа автоматизированного проектирования РЭС

Существует множество всевозможных САПР, позволяющих более эффективно решать задачи проектирования конструкции РЭС.

Все они обладают различной функциональностью в зависимости от их назначения, от простого черчения с использованием компьютера до моделирования сложных электрических, тепловых и механических процессов.

Использование комплексов подобных программных средств, позволяет осуществить сквозное техническое проектирование изделия от формирования технического задания и до оформления рабочей конструкторской документации в соответствии с ГОСТ и ЕСКД [11].

Контрольные вопросы

1. Перечислите основные причины применения САПР.
2. Какие задачи решают САПР?
3. Перечислите основные этапы автоматического проектирования.

Глава 16. Базовые технологические процессы в производстве РЭС и этапы их разработки

Технология – совокупность методов, процессов и материалов, используемых в какой-либо отрасли деятельности, а также описание способов производства. Инженер-разработчик руководствуется в процессе проектирования РЭА Единой системой технологической документации, изложенной в государственных стандартах. Основные определения, структура и виды технологических процессов изложены в ГОСТ 3.1127-93, [11].

16.1. Структура технологических процессов

Технологический процесс должен обеспечить выполнение всех требований, указанных в чертеже и технических условиях, высокую производительность труда и экономическую эффективность.

Исходными данными для проектирования технологического процесса (ТП) являются чертеж детали и общие виды изделий, монтажные схемы, ТУ на наиболее сложные детали, сборочные единицы и изделия, объем производственного задания, данные об оборудовании, инструментах, типовых технологических процессах (ТПП) [17].

Основу ТП изготовления деталей и сборочных единиц РЭС составляют действия по изменению размеров и формы заготовки, а также действия направленного формирования радиотехнических, химических, механических и других свойств исходных материалов заготовки. Структура ТП формируется из операций.

Операция – законченная часть технологического процесса, выполняемая на одном рабочем месте, одним или группой рабочих, а также в условиях безлюдной технологии над одним или несколькими объектами труда. Операция связана с выполнением законченного объема работ и является основным элементом для производственного планирования и учета (штамповка крышки корпуса, герметизация корпуса). Технологическая операция состоит из переходов.

Переход – основная часть операции, включающая обработку определенной части объема детали или площади участков ее поверхности одним и тем же инструментом или одновременно одной группой инструментов при неизменном режиме обработки. Замена вида инструментов или технологической среды означает начало выполнения очередного перехода.

Совокупность всех операций, необходимых для получения готового, соответствующего ТУ (ЧТУ) изделия, составляет структуру ТП его изготовления. Она фиксируется в соответствующих технических документах и, прежде всего, в маршрутной карте.

Структурные схемы ТП изготовления РЭС детально (по операциям) или, чаще, укрупнено (по группам операций) отображают последовательность преобразования исходных материалов, комплектующих изделий и сборочных единиц в готовое изделие. Графически они изображаются последовательно и (или) параллельно соединенными прямоугольниками, в которые вписываются названия операций (групп операций). Иногда используют и другие геометрические фигуры (треугольник, окружность и т. д.) для обозначения функциональных особенностей операций (контрольная, подготовительная и т. д.) [18].

Для компактного представления сложных ТП операции группируют по назначению таким образом, чтобы каждый элемент схемы характеризовал совокупность работ и действий исполни-

телей по получению определенного законченного результата. Критерием для группировки служит использование для данных операций единого технологического оборудования, оснастки, инструмента, типовых процедур физико-химической обработки, сборки, монтажа, контроля, отраженных в ГОСТ, ОСТ, СТП. Рекомендуется в каждом элементе структурной схемы указывать обозначение и номер позиции НТД, на основе которого выполняется операция или группа операций.

Структуру ТП сборочно-монтажных работ принято отражать в виде технологических схем сборки. Технологическая схема сборки представляет собой условное изображение ТП сборки, составленной по сборочному чертежу и спецификации на сборочную единицу. На технологической схеме каждый комплектующий элемент сборочного узла условно обозначается прямоугольником, состоящим из трех различных по длине частей.

Для построения схемы сборки прежде всего определяют базовую деталь. Изделия поступающие на сборку (детали, компоненты и т. д.) указывают ниже основной и примыкающих линий хода ТП. Сверху кратко отмечают содержание (назначение) подготовительных, вспомогательных и основных операций, включая технический контроль. Эти надписи рекомендуется сопровождать указанием НТД, по которым выполняются операции [11].

16.2. Виды технологических процессов

Технологические процессы в зависимости от подробности их разработки, типизации, наличия оборудования и объема выпуска изделий классифицируют в соответствии с госстандартами на следующие виды:

- проектный (начальная стадия, много вариантов);
- рабочий (конкретный, для работы);
- единичный (ТП только на данное изделие, как правило, массовое производство);
- типовой (на конструктивно подобные изделия, например, на изготовление печатных плат);
- групповой (на технологически подобные изделия для мелкосерийного, многономенклатурного производства);

- временный (оперативный), для имеющегося на предприятии оборудования при изготовлении пробных изделий;
- стандартный (обязательный к применению в отрасли, государстве. Например, стандартные методики испытания электронно-вычислительной аппаратуры);
- перспективный (для вновь разрабатываемых производств или модернизации старых предприятий);
- маршрутный;
- операционный;
- маршрутно-операционный.

Маршрутный процесс определяет порядок (маршрут) следования операций, их вид и наименование, оборудование и оснастку для выполнения операций, трудоемкость выполнения операций и квалификацию работников. Для мелкосерийного производства достаточна разработка маршрутной технологии. При этом все параметры разработки заносятся в маршрутные карты.

Для средне- и крупносерийного, а также массового производств после маршрутной технологии следует разработка операционной технологии, при этом каждая операция разрабатывается подробно, устанавливаются оборудование и оснастка, выбираются или рассчитываются технологические режимы. Операция дробится на технологические переходы, вычерчивается эскиз операции с установочными базами и настроечными размерами. Рассчитывается операционное время ($t_{оп}$) и устанавливается норма штучного времени ($T_{шт}$). Данные разработки заносятся в операционные карты [5].

Маршрутно-операционная технология применяется, когда на отдельные наиболее сложные операции маршрутной технологии разрабатывается операционная технология.

Исходными данными для разработки технологических процессов являются:

- конструкторская документация на изделие (сборочные чертежи, рабочие чертежи, электрические схемы, монтажные схемы);
- технические требования на изделие, где указываются дополнительные требования к изделию, например, маркировка, виды контроля и испытаний;
- спецификация на входящие в изделие компоненты;

- объем выпуска продукции;
- сроки выпуска (еженедельно, ежемесячно, ежеквартально);
- наличие технологического оборудования, оснастки;
- справочная, нормативная литература, программы [11].

Типовой ТП (ТТП) характеризуется единством содержания и последовательности большинства технологических операций и переходов для группы изделий с общими конструктивными признаками (например, группа МСБ). Типовой ТП разрабатывается на образец, содержащий все операции и переходы, необходимые для изготовления изделия максимальной сложности. На базе ТТП составляют единичные ТП изготовления конкретных изделий.

ТТП позволяет установить единое содержание и последовательность большинства операций и переходов для изготовления группы радио- изделий с общими конструктивно-технологическими признаками.

Использование ТТП позволяет: уменьшить объем ТД, сократить и упростить технологическую подготовку производства, обеспечивать качество изделия вне зависимости от конкретного изготовителя. ТТП регламентируется ГОСТ, ОСТ и СТП в зависимости от широты его использования в промышленности. В радиопромышленности применяется большое число ТТП при изготовлении тонко- и толстопленочных МСБ, подготовке к монтажу и установке навесных элементов, изготовлению печатных плат, сборке блоков и т. п.

Групповой ТП предназначен для изготовления группы изделий, сходных по конструктивно-технологическим признакам, по выполняемым над ними отдельным операциям. При этом, в отличие от ТТП, не обязательна одна и та же последовательность операций для различных изделий из группы. Групповой ТП характерен для изготовления деталей конструктивной базы РЭС и позволяет уменьшить трудоемкость и стоимость изготовления путем создания и эксплуатации специализированных рабочих мест и сокращения времени на переналадку. В групповом ТП детали последовательно обрабатываются партиями.

Тип производства характеризуется специализацией рабочих мест или загрузенностью одной и той же работой. Различают три основных типа производства: единичное, серийное и массовое.

Единичное производство характеризуется универсальностью рабочих мест, за которыми нет закрепления операций. При единичном производстве изделия производят в небольших количествах. Изготовление изделий может повториться через неопределенное время или не повторяется совсем.

Серийное производство характеризуется широкой специализацией рабочих мест и изготовлением различных изделий партиями, регулярно повторяющимися через определенные промежутки времени. Массовое производство характеризуется узкой специализацией рабочих мест, за каждым из которых закреплено выполнение только одной операции [10], [11].

Тип производства определяется с помощью коэффициента закрепления операций [5]

$$K = K_1 / K_2, \quad (26)$$

где K_1 – количество различных операций ТП, выполняемых за один месяц; K_2 – количество рабочих мест для выполнения этих операций. При массовом производстве $K = 1$; крупносерийном $1 < K < 10$; среднесерийном $10 < K < 20$; мелкосерийном $20 < K < 40$.

При единичном производстве K не регламентируется. Вне зависимости от типа производства задачами технолога являются: разработка и внедрение новых ТП; сопровождение ТП в производстве изделий; профилактика производственного брака.

Следует дополнить этот список пунктом *«Подготовка инженерно-технического персонала»*. Это следует, прежде всего, из перехода экономики на рыночные условия функционирования. В условиях современного высокотехнологического производства, которое основано на применении информационных технологий, важной задачей становится подготовка высококвалифицированных специалистов. Разработка планов подготовки и повышения квалификации персонала, как правило, осуществляется кадровой службой предприятия. Однако без участия технологического отдела эта подготовка будет неэффективной.

Одним из способов повышения технологического уровня инженерно-технических работников является заключение договоров предприятия с ведущими высшими учебными заведениями. Предприятие берет на себя финансирование подготовки

необходимых на данный момент специалистов, осуществляет создание условий для проведения занятий студентов в цехах и подразделениях предприятия, организацию производственных практик и стажировки, выплату повышенной стипендии учащимся, проявившим интерес и способности к будущей профессии, стимулирование работы вузовских преподавателей.

На деле процесс договорной целевой подготовки осложняется недостаточным финансированием предприятий, возникающим из-за несвоевременных поступлений денежных средств от заказчиков продукции; постоянной необходимостью снижения себестоимости продукции (подготовка специалистов включается в ее себестоимость); ограниченной возможностью использования прибыли предприятия. Кроме того, за последние годы резко снизился уровень преподавания естественно-научных дисциплин в средней школе, а также престиж инженерных специальностей в вузах. Это приводит к ухудшению качества подготовки молодых специалистов и ведет к возникновению претензий предприятия-заказчика к эффективности обучения студентов по целевым программам.

Однако скомпенсировать трудности переходной экономики во взаимоотношениях вузов с заказчиками можно путем создания на предприятиях, как практиковалось в условиях плановой экономики, программ адаптации молодых специалистов к условиям и требованиям конкретного производства, расширения возможностей персонала предприятий проходить курсы повышения квалификации и обучения без отрыва от производства на базе высших учебных заведений.

16.3. Виды и содержание технологических документов

Состав и правила выполнения технологической документации определяются ГОСТ 3.1001-81 единой системой технологической документации (ЕСТД). ЕСТД регламентирует во всех организациях и на всех предприятиях единые правила выполнения, оформления, комплектации и обращения технологической документации в зависимости от типа и характера производства.

К технологическим относятся графические и текстовые документы, которые определяют технологический процесс изготовления или ремонта изделия и содержит необходимые данные для организации производства.

Состав документов зависит от стадии разработки ТП, типа и характера производства. В условиях серийного и массового производства используются следующие документы (ГОСТ 3.1102-81):

- карта эскизов (КЭ);
- технологическая инструкция (ТИ);
- маршрутная карта (МК);
- операционная карта (ОК);
- карта технологического процесса (КТП);
- карта типового (группового) технологического процесса (КТТП) и др.

Маршрутная карта содержит описание всех операций ТП, включая контроль в порядке их выполнения. Операционная карта составляется отдельно на каждую операцию и служит дополнением к МК.

Карты эскизов и схем дополняют ОК (являются их приложением). Они содержат эскизы, схемы, таблицы поясняющие выполнение переходов или операций в целом.

16.4. Технологичность конструкций РЭС

Технологичность конструкций – одна из важнейших характеристик изделий. Под технологичностью конструкции понимают совокупность свойств конструкции изделия, определяющих ее приспособленность к достижению оптимальных затрат при производстве, эксплуатации и ремонте для заданных показателей качества, объема выпуска и условий выполнения работ.

Производственная технологичность конструкции изделия проявляется в сокращении затрат средств и времени на конструкторско-технологическую подготовку персонала и процессы изготовления, включая контроль и испытания.

Эксплуатационная технологичность конструкции изделия заключается в сокращении затрат времени и средств на техническое обслуживание и ремонт изделия.

Показатели технологичности включают в себя следующие классы.

Базовые (нормативные) показатели представляют собой исходные значения, относительно которых дается сравнительная оценка технологичности данной конструкции.

Показатели технологичности разрабатываемой продукции (ПТК) оценивают один или несколько признаков (свойств) конструкции, достигнутых при ее разработке.

Уровень технологичности конструкции определяет соотношение конкретного ПТК с базовым. Допустимый для отрасли (предприятия) уровень технологичности конструкции устанавливается в ОСТ и СТП.

Основным показателем, используемым для оценки технологичности конструкции, является комплексный показатель технологичности конструкции изделия [5]:

$$K = \frac{\sum_{i=1}^n K_i \cdot \Psi_i}{\sum_{j=1}^n \Psi_j}, \quad (27)$$

где K_i – значение показателя, определяемого по таблице состава базовых показателей для данного вида изделий, которые занесены в справочные таблицы; Ψ_j – весовой коэффициент показателя; j – порядковый номер показателя.

Уровень технологичности конструкции изделия при известном нормативном показателе оценивается отношением полученного комплексного показателя качества к нормативному показателю: $K/K_n \geq 1$; для условий серийного производства $K_n = 0,5 \dots 0,8$; для опытного производства $K_n = 0,4 \dots 0,7$, где K_n – нормативный показатель технологичности. Технологичность определяется количеством выполнения операций. Для его определения подсчитывают число паяных соединений на платах. Эти данные необходимы для автоматизированных операций на участке сборки печатных плат, рис. 17.



Рис. 17. Участок сборки печатных плат

Контрольные вопросы

1. Что такое технологичность?
2. Дайте определение производственному и технологическому процессам.
3. Какие задачи решает ТПП?
4. Назовите виды технологической документации.
5. Назовите и охарактеризуйте основные виды ТП в производстве РЭС.
6. Какова последовательность проектирования технологических процессов?
7. Что понимается под средствами технологического оснащения?

Глава 17. Методы контроля и управления качеством производства РЭС

17.1. Технологические операции регулировки и настройки

Регулировка и настройка радиоэлектронных изделий является основной операцией радиотехнического производства.

Под регулировочными и настроечными операциями (РНО) понимают комплекс работ по доведению параметров РЭА до величин, соответствующих требованиям технических условий (ТУ), и обеспечить допуск разброса параметров, который гарантирует эффективное функционирование аппаратуры в условиях эксплуатации.

Проведение РНО необходимо, чтобы устранить погрешности изготовления деталей, элементов и сборки узлов, в том числе predetermined заранее. РНО включают настройку различных резонансных систем, сопряжение электрических параметров отдельных узлов и всей аппаратуры в целом, установку определенных режимов блоков и узлов, подгонку некоторых элементов и т. д. РНО – это ряд операций, не изменяющих схему и конструкцию изделия, а лишь компенсирующих неточность изготовления и сборки элементов РЭА собственного производства и комплектующих элементов.

Методы выполнения РНО. Различают эксплуатационную и заводскую регулировку. При опытном производстве процесс регулировки может сопровождаться частичным изменением схемы и конструкции образца. В серийном производстве процесс регулировки разбивают на ряд простых операций с предварительной регулировкой отдельных сборочных единиц, что позволяет сократить трудоемкость работ. При регулировке допускается метод предусмотренного схемой подбора резисторов, конденсаторов и других элементов. Регулировку проводят на специализированных установках по измерительным приборам или сравнением настраиваемого изделия с эталонным образцом (метод электрического копирования).

Технологический процесс регулировки РЭА разбивают на ряд этапов. На первом этапе изделие подвергают тряске на вибрационном стенде для удаления посторонних предметов и выявления имеющихся неплотных соединений. На втором этапе проверяют правильность монтажа. Для этого предварительно составляют карты или таблицы, охватывающие все цепи проверяемого устройства. На третьем этапе проверяют режимы работы микросхем (МС), полупроводниковых приборов. Проверку режимов начинают с источников питания. На четвертом этапе проверяют функционирование устройства в целом и регулировку для получения заданных характеристик по ТУ [11].

Виды и перечень документации, необходимой для проведения регулировочных работ, определяются программой выпуска и сложностью изделия. В единичном производстве регулировку можно проводить по электрической схеме с учетом требований ТУ. Для регулировки сложных изделий и в массовом производстве создают документацию, исключающую ошибки и сокращающую трудоемкость выполняемых работ.

Наиболее часто для регулировочных работ используют технологическую инструкцию, которая содержит перечень измерительной и регулировочной аппаратуры, приспособлений и инструмента, методику процесса регулировки и его последовательность, характерные неисправности и способы их обнаружения и устранения, порядок сдачи отрегулированного узла и указания по технике безопасности. Порядок оформления технологических карт и технологических инструкций определяет стандарт ЕСТД (Правила оформления документов общего назначения) [11].

Сущность регулировочных работ сводится к следующему. Имеется заданная функция, как правило, функция многих переменных $\varepsilon = f(x, y, z, \dots)$. Каждый из выходных параметров изделия представляет собой функцию многих переменных, т. е.

$$\begin{aligned}\varepsilon_1 &= f(x, y, z, \dots); \\ \varepsilon_2 &= f(x, y, z, \dots); \\ \varepsilon_n &= f(x, y, z, \dots);\end{aligned}\tag{28}$$

где x, y, z – параметры входящих в схему деталей, элементов, узлов [5].

Цель регулировки – соблюдение условия по всем параметрам $|\varepsilon_{oi} - |\varepsilon_i|| \leq \varepsilon_{доп}$, где ε_{oi} – номинальное значение выходного параметра по ТУ, ε_i – фактическое значение i -го параметра, полученное в результате регулировки, $\varepsilon_{доп}$ – допустимое значение погрешности i -го параметра.

Рассматривая в качестве объекта регулировки изделие в целом, можно РНО представить как процесс оптимизации, осуществляющий поиск экстремума некоторой обобщенной функции качества Q изделия j , определяемой или совокупностью значений варьируемых параметров $\varepsilon_j \{x_j, y_j, z_j, \dots\}$, или совокупностью частных функций качества q . К совокупности q можно отнести такие показатели, как статистическую погрешность системы, среднеквадратическую погрешность в определенном режиме работы, время переходного процесса и т. д. Если

$$Q = \sum_{i=1}^n q_i, \quad (29)$$

то частные функции качества желательно выбирать так, чтобы они определялись одним-двумя варьируемыми параметрами ε_j :

$$Q = \sum_{j=1}^n q(\varepsilon_j) \rightarrow \text{extr.} \quad (30)$$

Все РНО можно классифицировать по тем признакам, которые применяют в качестве критериев выполнения задач [3].



Рис. 17. Рабочее место регулировщика

Процессы регулировки подразделяются на процессы, оптимизирующие обобщенные, частные или комбинированные функции качества системы. Частные функции являются логической или аналитической зависимостью между фазовыми координатами настраиваемой системы в определенном типовом режиме работы и информационными сигналами. Обобщенные функции качества составляют логическую или аналитическую зависимость между регулируемыми координатами системы для различных режимов работы и информационными сигналами. Комбинированные функции качества являются сочетаниями обобщенных и частных функций качества.

Функции качества РНО разделяются на процессы, использующие принципы поисковой настройки, аналитической настройки или сочетания принципов поисковой и аналитической.

При поисковой настройке изменение варьируемых параметров настраиваемой системы проводится в результате поиска условий экстремума оптимизируемой функции качества. Для пробных изменений параметров системы и последующего анализа результатов этих изменений необходимо вводить пробные (тестовые) сигналы. Поисковые системы регулировки по способу поиска экстремума можно разделить на системы с независимым поиском, когда абсолютные значения скоростей изменения варьируемых параметров не зависят от отклонения текущего значения функции качества от экстремального значения, и системы с зависимым поиском, когда скорости изменения варьируемых параметров являются функциями отклонения текущего значения оптимизируемой функции качества от экстремального значения.

По организации движения к экстремуму поисковые системы регулировки делят на системы с разнесенными пробными и рабочими шагами и системы с совмещенными пробными и рабочими шагами.

В первом случае при пробном шаге определяются направления изменения варьируемых параметров, а при рабочем шаге проводится изменение варьируемых параметров. Во втором случае изменяются варьируемые параметры с одновременной оценкой влияния этих изменений на оптимизируемую функцию качества.

В аналитических (беспоисковых) системах регулировки для получения информации о состоянии системы, как правило, ис-

пользуются стимулирующие сигналы, имитирующие реальные сигналы, поступающие в систему в процессе функционирования, или специальные пробные сигналы. По виду использования дополнительной информации они делятся на системы, использующие информацию о входном воздействии, частотных и временных характеристиках, процессах на границах устойчивости и комбинированную с использованием сочетаний указанных выше видов информации [3], [5], [11].

Критерии оценки качества РНО. Качество выполнения РНО оценивается по определенным критериям: вид функции распределения погрешностей регулировки изделий или вид распределения контролируемых параметров с учетом установленно-го допуска [11], [12], [13].

Установлены некоторые закономерности формирования выходных параметров в зависимости от особенностей электрических схем. Только небольшую часть распределений выходных параметров можно считать нормальными, [12]. Реальные распределения выходных параметров отличаются между собой и от нормальных асимметричностью и островершинностью. Эти качественные характеристики распределений, оцениваемые коэффициентами асимметрии A и эксцесса ε , использованы в качестве критериев при анализе электрических схем и выполнении РНО с учетом получаемых распределений.

Однако для однозначной идентификации вида распределения этих коэффициентов недостаточно. Для повышения точности идентификации вида распределения предлагается комплексный параметр D , являющийся комбинацией контрэксцесса χ , коэффициента асимметрии A и энтропийного коэффициента k [13]:

$$D = k_y / \chi + A, \quad (31)$$

$$k_y = \Delta_y / \sigma, \quad (32)$$

$$\chi = \frac{1}{\sqrt{\varepsilon}}. \quad (33)$$

где σ – среднеквадратичное отклонение параметра (СКО); Δ_y – энтропийное значение погрешности (в расчетах берется погрешность прибора).

В электрических схемах, где РНО осуществляются элементами настройки с плавно изменяющимися параметрами (потенциометры, переменные конденсаторы, подстроечные индуктивности), функции распределения выходных параметров хорошо согласуются с законом нормального распределения. Математическое ожидание таких распределений при отсутствии систематических погрешностей аппаратуры близко к номинальному значению параметра. Разброс выходных параметров настроенных изделий, характеризующийся средним квадратическим отклонением, во многом определяется случайными погрешностями измерений. Значения коэффициентов асимметрии и эксцесса близки к нулю.

При регулировке электрических схем подбором элементов, имеющих дискретные и плавно изменяющиеся параметры, получаемые распределения характеризуются заметными асимметричностью и эксцессом. Еще большую асимметричность и острокоренность могут иметь распределения выходных параметров изделий, в которых РНО осуществляются подбором элементов с дискретными параметрами.

Взаимозависимые РНО выполняют посредством подбора параметров двух или более элементов, один из которых может быть общим для нескольких независимых электрических цепей. В таких схемах перестройка или замена элементов отражается на всех параметрах изделия, зависящих от этих элементов. Эта особенность взаимозависимых регулировочных операций – одна из причин значительного отклонения получаемых распределений от нормальных. Математическое ожидание выходных параметров может сильно отличаться от номинального значения. Асимметричность распределений явно выражена и может быть как право-, так и левосторонней. В большинстве случаев знак асимметрии определяется порядком проведения настройки схемы, который при взаимозависимых РНО строго определен технологическими инструкциями. Эксцесс, как правило, положителен, что может быть объяснено стремлением регулировщика установить параметры схемы как можно ближе к номинальному значению. При взаимозависимых РНО практически исчезает разница между шириной поля допуска и фактическим рассеянием параметров после настройки изделий.

При автоматизированной регулировке можно вести постоянную статистическую обработку регулируемых параметров в реальном времени в компьютерной программе и идентификацию видов распределения по комбинированному параметру идентификации D (31).

Приемка регулировочных работ ОТК может осуществляться автоматически. Используя в качестве характеристики правильности регулировки виды распределения выходных параметров изделий, можно установить основные закономерности этой технологической операции:

- на формирование видов распределений выходных параметров изделий существенное влияние оказывают особенности электрических схем и РНО. Выходные параметры могут быть сгруппированы по принципу подобия получаемых распределений с установлением пределов изменения их численных характеристик;

- при двустороннем ограничении параметров допусковыми значениями получаемые распределения в большинстве своем представляют собой одномодальные усеченные распределения, отличающиеся от нормальных асимметричностью и островершинностью;

- обособленные РНО, осуществляемые элементами с плавно изменяющимися параметрами, характеризуются распределениями, близкими к нормальным, ширина поля рассеяния которых существенно меньше ширины поля установленного допуска на регулируемый параметр.

17.2. Контроль и диагностика радиоэлектронных систем в процессе производства РЭА

Качество РЭА, как совокупность свойств, определяющих способность изделий удовлетворять заданным требованиям потребителя, закладывается в процессе разработки и изготовления продукции, а объективно оценивается в процессе эксплуатации. Однако получаемая при этом информация является, во-первых, недостаточной, поскольку не все параметры РЭА, измеряются

в условиях эксплуатации, а во-вторых, запоздалой, так как на изготовление РЭА уже затрачены большие средства. Современная РЭА изготавливается с применением микропроцессорной техники, ПЛИС и интегральных микросхем, когда целые блоки выполняются в виде интегральных микросхем, которые являются неремонтопригодными.

Одним из методов оценки качества служат теоретические расчеты. Однако расчетные оценки нуждаются в экспериментальном подтверждении, так как исходные данные и модели являются приближенными. С развитием микроминиатюризации и усложнением РЭА создание адекватных моделей становится проблематичным. Информацию о качестве РЭА получают путем контроля их параметров и проведения испытаний на всех этапах, начиная с разработки нормативно-технической документации и кончая анализом рекламаций и заключений потребителя о качестве готовых изделий.

Виды процессов контроля. Согласно ЕСТПП (Виды процессов контроля) устанавливаются следующие виды процессов технологического контроля [5], [11]:

- по унификации (единичный, унифицированный);
- по освоению процесса (рабочий, перспективный);
- по степени регламентации действий, устанавливаемых в документации (маршрутный, операционный, маршрутно-операционный).

Принадлежность процесса к единичному или унифицированному определяется количеством наименований объектов контроля, охватываемых процессом (один или группа однотипных или разнотипных объектов контроля).

Единичный процесс контроля применяют для изделий одного наименования, типоразмера и исполнения, а также для технологических процессов одного содержания.

Унифицированный процесс контроля используют в качестве рабочего процесса контроля при наличии в документации описания всех операций, как информационную основу при разработке рабочего процесса контроля, как базу для разработки стандартов на типовые процессы контроля.

Рабочий процесс контроля используется для конкретных объектов в соответствии с требованиями рабочей технической документации.

Перспективный процесс контроля разрабатывается, как информационная основа для рабочих процессов контроля при переоснащении производства и рассчитан на применение более совершенных методов контроля, более производительных средств контроля.

Применение маршрутного, операционного или маршрутно-операционного процесса контроля устанавливается в отраслевых стандартах или в стандартах предприятия на следующие объекты контроля: материал, полуфабрикат, заготовка, деталь, сборочная единица, комплекс, комплект, технологический процесс.

При контроле материала, полуфабриката, заготовки и детали в состав контролируемых объектов включены: марка материала (кроме объекта деталь), геометрические и физико-химические параметры, внешние и внутренние дефекты, клейма (кроме объекта материал). Для сборочной единицы, комплекса и комплекта предусмотрен контроль геометрических и функциональных параметров, внешних и внутренних дефектов и клейм, а для технологического процесса – контроль качественных и количественных характеристик. Следует также подвергать проверке упаковку, комплектность, консервацию и сопроводительную документацию, если это предусмотрено ТУ.

Контроль технологических процессов производится по параметрам вспомогательных материалов, средств технологического оснащения, в том числе средств контроля, технологической дисциплины, точности и стабильности ТП, характеристики внешних условий. Процессы контроля должны обеспечивать решение задач, установленных для входного, операционного и приемочного контроля, и охватывать весь ТП и его результаты.

Входной контроль решает задачи проверки соответствия качества материалов, полуфабрикатов, заготовок, комплектующих деталей и сборочных единиц требованиям, установленным в стандартах, ТУ, договорах о поставках.

Операционный контроль решает задачи проверки соответствия контролируемых признаков деталей и сборочных единиц

в процессе изготовления предъявляемым к ним требованиям, а также выявляют количественные и качественные характеристики ТП. Операционный контроль осуществляет исполнитель операции (рабочий, бригадир, испытатель), руководитель участка (мастер, старший мастер), контролер или мастер отдела технического контроля.

Приемочный контроль решает задачи проверки соответствия качества готовых изделий требованиям, установленным в нормативно-технической документации, в том числе комплектность, упаковку и консервацию изделий, ее пригодность к транспортированию и использованию. Приемочный контроль осуществляют контролер, мастер ОТК и (при необходимости) представитель заказчика [5], [18].

Процессы контроля подразделяют на четыре категории. По полноте охвата любая категория контроля подразделяется на сплошной и выборочный контроль, а по связи с объектом контроля – на непрерывный, периодический и летучий.

Сплошной контроль применяют в условиях особо высоких требований к уровню качества изделий, у которых недопустим пропуск дефектов в дальнейшее производство или эксплуатацию.

Выборочный контроль применяют для изделий, когда их количество достаточно для получения представительных выборок, при большой трудоемкости контроля, при контроле с разрушением изделий, и на операциях, выполняемых на автоматических и поточных линиях.

Непрерывный контроль применяют для проверки ТП при необходимости постоянного обеспечения определенных количественных и качественных характеристик. Как правило, используют автоматические или полуавтоматические средства контроля.

Периодический контроль (сплошной или выборочный) применяют для проверки изделий и ТП при установившемся производстве и стабильных ТП.

Летучий контроль (только выборочный) применяют для малоответственных изделий и ТП.

Технический контроль. Стандарт ЕСТПП (Правила разработки процессов контроля) устанавливает основные положения и этапы разработки процессов и операций технического контро-

ля, а также задачи на этапах их разработки при технологической подготовке производства [11].

Технический контроль (ТК) является неотъемлемой составной частью ТП изготовления изделия и разрабатывается в виде процесса или операции ТК. Под техническим контролем понимается совокупность технологических операций ТК, выполняемых при изготовлении изделия и его составной части. Процессы ТК разрабатываются для входного контроля материалов, заготовок, полуфабрикатов, а также комплектующих деталей и сборочных единиц; операционного контроля деталей и сборочных единиц; приемочного контроля изделий.

Операции ТК разрабатывают для входного контроля несложных объектов, операционного контроля ТП или обрабатываемой заготовки после завершения определенной технологической операции. Процессы (операции) ТК разрабатывают вместе с ТП изготовления изделия с обеспечением необходимой взаимосвязи и взаимодействия между ними. При разработке процессов (операций) ТК необходимо обеспечить единство конструкторских, технологических и измерительных баз. Операции ТК должны предусматривать получение информации для регулирования ТП, а также обеспечивать предупреждение с заданной вероятностью пропуска дефектных материалов, заготовок, полуфабрикатов, деталей и сборочных единиц для последующего изготовления изделия.

Нормативно-технические документы на ТК в общем случае включают стандарты «Технический контроль. Термины и определения», «Средства контроля. Термины и определения», «Правила разработки процессов (операций) технического контроля», «Правила выбора средств контроля»; классификатор объектов контроля; классификатор технологических операций технического контроля; методику выбора объектов контроля; методику размещения постов контроля по технологическому процессу изготовления и ремонта изделий; методику выбора контролируемых параметров; методику выбора схемы контроля; методику выбора метода контроля; стандарты типовых процессов (операций) технического контроля [5], [11].

17.3. Методы контроля и диагностики

При использовании современной элементной базы, и особенно микропроцессоров, проблемы настройки и регулировки в традиционном понимании практически отсутствуют. Контроль, диагностику и настройку РЭА проводят программными и аппаратными методами. Предприятия разрабатывают специальные инструкции для пользователей и диагностические программы, которые прилагаются к изделиям в виде технического описания, инструкции пользователя, встроенного программного обеспечения или специальных программ на носителях информации. Обычно предусматривается три способа индикации неисправности: звуковые сигналы, сообщения на экран монитора, и шестнадцатеричные коды, посылаемые по адресам портов ввода/вывода.

Специализированные диагностические программы – это наборы тестов для «тотальной» проверки всех компонентов систем и сложных приборов, которые записываются на отдельном диагностическом диске. Диагностические программы изготовителей обычно предусмотрены двух уровней. Первый уровень – это общая диагностика, которая ориентирована на пользователей. Так как процедуры поиска неисправностей в большинстве современных систем достаточно просты, у пользователей обычно не возникает сложностей при работе с программами общей диагностики. Второй уровень – технический, и рассчитан на специалистов. Сообщения об ошибках обычно выводятся в виде кодов, по которым можно определить причину неисправности или сузить круг ее поисков [5], [11], [14].

Контрольные вопросы

1. Обоснуйте необходимость выборочного контроля качества.
2. Что называется случайной выборкой?
3. Как осуществляется контроль параметров при регулировке аппаратуры?
4. Какие методы диагностики РЭС применяются на производстве?
5. Перечислите методы контроля РЭС.

Глава 18. Виды испытаний РЭС

Испытание РЭА является очень важной технологической операцией, которая имитирует условия эксплуатации изделий, выявляет скрытые дефекты, способствует приработке радиокомпонентов, элементов схем и конструкции.

Испытания регламентируются стандартами РФ: ГОСТ 16594-81, ГОСТ 15.210.2001, ГОСТ 25360-82, ГОСТ 25359-82, ГОСТ 24927-81 [11].

18.1. Категории испытаний

Цель испытаний. К основным целям испытания, общим для всех видов РЭА, можно отнести:

- выбор оптимальных конструктивно-технологических решений при создании новых изделий;
- доводку изделий до необходимого уровня качества;
- объективную оценку качества изделий при их постановке на производство, в процессе производства и при техническом обслуживании;
- прогнозирование гарантированного срока службы.

Программа и методы проведения испытаний определяются конкретным видом и назначением РЭА, а также условиями эксплуатации. Для контроля качества и приемки изделий устанавливают основные категории контрольных испытаний, оговоренные в ТУ: приемо-сдаточные, периодические и типовые.

Каждая категория испытаний может включать несколько видов испытаний (электрические, механические, климатические, на надежность и др.) и видов контроля (визуальный, инструментальный и др.). В зависимости от особенностей эксплуатации и назначения изделий, а также специфики их производства некоторые виды испытаний выделяют в отдельные категории испытаний (на надежность – безотказность, долговечность, сохраняемость и др.). Виды испытаний и контроля, последовательность проведения, проверяемые параметры и их значения устанавливаются в нормативных документах (стандартах, программах, методиках и др.).

Во время испытаний применяют сплошной или выборочный контроль. Результаты испытаний считаются отрицательными,

если обнаружено несоответствие изделия хотя бы одному требованию ТУ для проводимой категории испытаний. Применяемые средства испытаний, измерения и контроля, а также методики измерений должны соответствовать требованиям метрологического обеспечения. Средства испытаний должны иметь метрологическую аттестацию [5].

Приемо-сдаточные испытания (ПСИ) проводят для контроля изделия на соответствие требованиям ТУ, установленным для данной категории испытаний. Испытания и приемку проводит представитель заказчика в присутствии представителя отдела технического контроля (ОТК) предприятия-изготовителя в объеме и последовательности, предусмотренными в ТУ на изделие. О готовности изделия к ПСИ предприятие – изготовитель уведомляет представителя заказчика извещением, оформленным в установленном порядке. К извещению прикладываются протоколы технологической тренировки и предъявительских испытаний, выполненных по форме, принятой на предприятии-изготовителе. Представитель заказчика может внести изменения в проведение испытаний.

Принятыми считаются изделия, выдержавшие испытания, укомплектованные и упакованные в соответствии с ТУ.

Периодические испытания проводят с целью периодического контроля стабильности ТП в период между испытаниями и подтверждения возможности продолжения изготовления изделий по действующим конструкторской и технологической документации. Календарные сроки испытаний устанавливаются в графике, составленном предприятием- изготовителем с участием представителя заказчика. Периодическим испытаниям подвергается одно изделие ежегодно. Результаты испытаний оформляются актом, к которому прилагается протокол, выполненный по форме, принятой на предприятии-изготовителе. Состав и последовательность проведения испытаний согласовываются с представителем заказчика. Если изделие выдержало периодические испытания, то его производство продолжается до следующего срока испытаний. Если изделие не выдержало периодических испытаний, то приемку изделий и отгрузку принятых изделий приостанавливают до выявления и устранения причин возникновения дефектов и получения положительных результатов повторных испытаний.

Типовые испытания проводят для единичного и мелкосерийного прерывистого производства для оценки эффективности и целесообразности предлагающихся изменений в изделие или технологию его изготовления. Испытания проводят на изделиях, в которые внесены предлагающиеся изменения, по программе и методике необходимых испытаний из состава приемосдаточных и периодических. Если эффективность и целесообразность предлагаемых изменений подтверждается результатами типовых испытаний, то их вносят в соответствующую документацию на изделие. Перед предъявлением изделий представителю заказчика ОТК проводит предъявительские испытания готовых изделий.

Предъявительские испытания. Перед предъявлением изделий на испытания и приемку представителю заказчика проводит предъявительские испытания изделий. Такие испытания проводятся с целью контроля изделий на соответствие требованиям ТУ и проверки готовности для предъявления заказчику. Как правило, их проводят в объеме не менее приемосдаточных испытаний, но планы контроля и нормы на проверяемые параметры могут усложняться более жесткими. Документация по испытаниям согласуется с заказчиком.

При производстве РЭА существуют *квалификационные* испытания по приемке установочной серии, испытания на *долговечность* и *проверочные* испытания, которые проводят НИИ или лаборатории заказчика.

Программа испытаний. Основным организационно-методическим документом при испытаниях РЭА является программа испытаний. Она регламентирует цели испытаний, объем и методику проводимых исследований; порядок, условия, место и сроки проведения испытаний; ответственность за обеспечение и проведение испытаний; ответственность за оформление протоколов и отчетов [11].

В программе испытаний в краткой форме излагается информация об объекте испытания (срок его изготовления, номер паспорта, особенность конструкции и технологии изготовления и т. п.), а также параметры, подлежащие прямому или косвенному измерению, критерии годности изделия РЭА, требования к внешнему виду и электрические параметры. В программе испытаний

указывают объем и методику испытаний, в которых даются сведения о количестве испытываемых изделий, общая продолжительность испытаний при различных воздействующих факторах, о периодичности, составе и последовательности испытаний, о параметрах испытательных режимов, пределах изменения питающих напряжений и продолжительности работы РЭА при этих напряжениях и т. п. В плане испытаний указывают необходимые работы, такие как изготовление образцов, их приемка ОТК, измерение и определение параметров, подготовка испытательного оборудования, проведение испытаний, оформление результатов, согласование и утверждение протокола испытаний и т. п.

Вторым организационно-методическим документом является методика испытаний РЭА. В ней излагаются: метод, средства и условия испытаний, алгоритмы выполнения операций по определению одной или нескольких взаимосвязанных характеристик свойств объекта, формы представления данных и методы оценивания точности, достоверности результатов, требования техники безопасности и охраны окружающей среды. Основным требованием к методике является обеспечение максимальной эффективности процесса испытаний и минимально возможные погрешности полученных результатов. Она включает требования к методу и условиям испытаний и техническим средствам. Методика испытаний должна содержать описание следующих этапов процесса испытаний: проверку испытательного оборудования, подготовку испытываемых изделий, совместную проверку испытательного оборудования и испытуемого изделия, регистрацию результатов испытаний и данных об условиях их проведения.

Испытание на воздействие внешних факторов предназначено для определения с некоторой долей вероятности способности изделий сохранять работоспособность и параметры в заданных условиях окружающей среды путем имитации реальных условий окружающей среды или путем воспроизведения их воздействий. Испытания РЭА международного использования проводят по методам, указанными в СТ МЭК 68-2.

Испытания характеризуют посредством задания параметров испытательных режимов. Для некоторых испытаний необходи-

мо описать испытательное оборудование. Выбирая метод испытания, разработчик нормативно-технологической документации должен учитывать экономические аспекты, исключая одинаковые виды испытаний. Если при раздельном воздействии двух или более внешних факторов не обеспечивается получение желаемой информации, следует воспользоваться комбинированными или составными испытаниями. Самые важные комбинированные и составные испытания даны в СТ МЭК 68-2. В соответствии с Государственным стандартом механические и климатические испытания проводят с целью проверки соответствия изделий РЭА требованиям, установленным в ТЗ, стандартах и ТУ на изделия конкретных классов и типов. Испытаниям подвергается РЭА или отдельные ее части, число которых устанавливают в ТУ на изделия и в программе испытаний [5].

Все испытания проводят в нормальных климатических условиях:

- температура воздуха 15–35 °С;
- относительная влажность воздуха 45–80 %;
- атмосферное давление 84–106 кПа (630–800 мм рт. ст.).

Испытания последовательно включают в себя начальную стабилизацию (если требуется); начальную проверку и измерения (если требуется); выдержку; конечную стабилизацию (если требуется); заключительные проверки и измерения (если требуется). При механических испытаниях проводится определение прочности и устойчивости конструкции изделия при воздействии вибраций, ударов, линейных ускорений, акустического шума. При климатических испытаниях изделие подвергается воздействию повышенной и пониженной температур, термоциклирования, повышенной и пониженной влажности, давления, инея, росы, соляного тумана и т. п. При испытаниях на соответствие конструктивно-технологическим требованиям изделие подвергают воздействию агрессивных сред, испытанию на герметичность, на способность к пайке, на теплостойкость при пайке, на пожаробезопасность, взрывозащищенность и другие. Диапазон параметров воздействующих факторов, применяемых при испытаниях весьма широк, и зависит от класса аппаратуры и условий ее эксплуатации.

18.2. Испытания на механические воздействия

Механические испытания РЭА проводят в нормальных климатических условиях под электрической нагрузкой или без нее. Изделия, имеющие амортизаторы, должны крепиться на амортизаторах. Если в ТУ предусмотрены различные способы крепления при эксплуатации, то изделие испытывают при наиболее опасном способе крепления. Время выдержки в заданном режиме отсчитывают с момента достижения параметров испытательного режима.

Наибольшее влияние на РЭА оказывает сочетание вибрационных нагрузок и одиночных ударов, испытания на воздействия которых проводят в первую очередь. Испытания по определению резонансных частот конструкции допускается проводить на отдельных типах (типоразмерах, типономиналах) изделий, имеющих одинаковую конструкцию. Испытание на проверку отсутствия резонансных частот конструкции изделия в заданном диапазоне частот не проводят, если оно обеспечивается их конструкцией, о чем должно быть указано в ТУ на изделия.

Испытание на виброустойчивость допускается совмещать с испытанием на вибропрочность, проводя его в начале или в конце испытаний на вибропрочность. При этом скорость изменения частоты вибрации не должна превышать 1 октавы в минуту. Испытание на вибропрочность и виброустойчивость при воздействии синусоидальной вибрации в диапазоне частот ниже 10 Гц и испытание на вибропрочность и виброустойчивость при воздействии широкополосной случайной вибрации в диапазоне частот ниже 20 Гц не проводят, если низшая резонансная частота изделия превышает 25 Гц.

При наличии требований по прочности и (или) устойчивости к воздействию широкополосной случайной вибрации изделия, имеющие четыре или более резонансов в рабочем диапазоне частот, испытывают на воздействие широкополосной случайной вибрации; изделия, имеющие менее четырех резонансов в рабочем диапазоне частот, испытывают на воздействие синусоидальной вибрации.

Испытаниям на ударную прочность не подвергают изделия, у которых низшая резонансная частота превышает 1000 Гц. Ударная прочность и (или) устойчивость таких изделий обеспечивается их конструкцией. Испытание на ударную устойчивость рекомендуется совмещать с испытанием на ударную прочность,

проводя его в конце испытаний на ударную прочность в каждом направлении воздействия. При отсутствии технической возможности проведения испытаний на вибропрочность и ударную прочность на отдельных изделиях допускается проведение испытания изделий в составе конкретного объекта.

Испытание на прочность или устойчивость при воздействии линейного ускорения не проводят, если предусмотрено испытание на воздействие ударов одиночного или многократного действия с ускорением, равным или большим, чем линейное.

Испытанию на воздействие акустического шума не подвергают изделия, удовлетворяющие одному или нескольким из следующих условий:

- в ТЗ или ТУ на изделия указаны уровни воздействующего акустического давления 130 дБ и менее;
- изделия не содержат внутренних полостей (например, трансформаторы, дроссели, модули и микромодули, залитые компаундом, и т. п.);
- низшая резонансная частота конструкции изделия превышает верхнюю частоту диапазона частот испытаний на воздействие акустического шума при условии;
- параметры изделий по конструкции и принципу работы изделий не зависят от воздействия акустического шума, о чем должно быть указано в ТУ на изделия.

Применяемые виды механических испытаний и их последовательность указываются в ПИ и зависят от назначения РЭА, условий эксплуатации, типа производства. Например, в программу определительных испытаний опытного образца и образцов установочной серии обычно включают все виды механических испытаний, а для образцов, изготавливаемых в серийном производстве – только испытания, предусмотренные в ТУ. Надежная работа РЭА обеспечивается за счет конструктивных запасов по вибропрочности, виброустойчивости, резонансной частоте и другим характеристикам.

18.3. Испытание на климатические воздействия

Последовательность операций испытания РЭА на климатические воздействия включает: предварительная выдержка изде-

лий (стабилизация свойств); первоначальные измерения параметров и внешний осмотр; установка изделий в камеры, выдержка их в условиях испытательного режима, измерения параметров; извлечение из камер и выдержка для восстановления свойств изделий (конечная стабилизация свойств); внешний осмотр и заключительные измерения параметров изделий.

Предварительную выдержку в нормальных климатических условиях проводят с целью устранения последствий воздействия на изделия в предыдущих условиях эксплуатации. Продолжительность выдержки определяется временем, достаточным для установления теплового равновесия изделий с окружающей средой. Обычно оно не превышает 2 ч.



Рис. 18. Камеры тепла и холода

При установке изделий в камере климатических испытаний необходимо следить за тем, чтобы между изделиями и стенками камеры, а также между самими изделиями свободно циркулировал воздух. Если при эксплуатации возможно несколько вариантов положения изделия, то следует выбрать вариант, обеспечивающий наибольшую жесткость испытания. Время выдержки в испытательном режиме отсчитывают с момента установления режима в камере. Это время должно быть достаточным для прогрева (охлаждения) изделий по всему объему.

Изделия считаются достигшими температуры окружающей среды (теплового равновесия), если температура самых массивных частей (или других частей, указанных в ТУ) отличается от температуры окружающей среды не более чем на $\pm 3^{\circ}\text{C}$. Время прогрева (охлаждения) изделий по всему объему устанавливают на этапе предварительных испытаний с помощью датчиков для контроля температуры. Как правило, в зависимости от массы изделие необходимо выдерживать: при массе изделия не более 2 кг – 2 ч; 2...10 кг – 3 ч; 10...20 кг – 4 ч; 20...50 кг – 6 ч; 50...100 кг – 8 ч; 100...300 кг – 10 ч.

Воспроизводимость результатов испытания в значительной мере зависит от точности поддержания заданных параметров испытательного режима. Допуски на значения воздействующих факторов выбирают исходя из компромисса между точностью и стоимостью испытания. При испытании на влагуустойчивость допуски на температуру и относительную влажность воздуха в камере устанавливают равными соответственно $\pm 2^{\circ}\text{C}$ и $\pm 3\%$. При определении указанных допусков учитывают неравномерность распределения температуры по объему камеры, погрешность измерения ее приборами, а также изменение температуры во времени. При верхнем значении температуры 40°C и относительной влажности воздуха 90 % изменение температуры на 2°C приводит к изменению относительной влажности на 9 %. При высокой относительной влажности даже незначительное изменение температуры может привести к выпадению росы, что снижает воспроизводимость результатов испытания.

Климатические испытания проводят на стадии проектирования РЭА, в серийном производстве для отбраковки потенциально ненадежных изделий (приемосдаточные испытания) и для контроля стабильности производства (периодические испытания). Режимы и условия испытания РЭА устанавливают в зависимости от степени жесткости, которая, в свою очередь, определяется условиями дальнейшей эксплуатации РЭА. Изделия считают выдержавшими испытание, если они во время и после его проведения удовлетворяют требованиям, заданным в ТУ для данного вида испытаний.

Для повышения информативности и эффективности климатических испытаний при освоении и производстве изделий це-

лесообразно проводить их в последовательности, при которой каждое последующее испытание усиливает воздействие предыдущего, которое могло бы остаться незамеченным. Рекомендуется нормализованная последовательность климатических испытаний, включающая испытание при повышенной температуре, кратковременное испытание на влагоустойчивость в циклическом режиме (первый цикл), испытания на воздействия пониженных температуры и атмосферного давления, испытание на влагоустойчивость в циклическом режиме (остальные циклы). При этом между любыми из указанных испытаний допускается перерыв не более 3 суток, за исключением интервала между испытаниями на влагоустойчивость и на воздействие пониженной температуры, который не должен превышать 2 ч.

Контрольные вопросы

1. Дайте определение цели испытаний.
2. Перечислите категории испытаний.
3. Испытания на механические воздействия.
4. Испытание на климатические воздействия.
5. Перечислите основные виды оборудования для испытаний РЭС.

Глава 19. Эргономические требования к радиоэлектронным системам

19.1 Эргономическая оценка системы «человек – машина»

Вся радиоэлектронная аппаратура должна проходить контроль на соответствие эргономическим требованиям. В период развития плановой экономики разработке продукции, удобной для эксплуатации потребителем, уделялось недостаточное внимание. Отсюда возникала потребность приобретать бытовую аппаратуру иностранного производства, которая была удобнее и эстетичнее продукции отечественного производства.

В настоящее время, чтобы продукция была конкурентоспособной и востребованной рынком, требования эргономики и промышленной

эстетики должны соблюдаться на этапах разработки. Введена в действие система стандартов, регламентирующая эти требования [11].

Эргономическая оценка действующих приборов, систем, пультов управления должна проводиться, чтобы выбрать оптимальные размеры, провести планировку и размещение компонентов средств отображения информации и органов управления.

Эргономическая оценка систем «человек – машина», пультов управления и приборов позволяет определить уровень надежности, пропускной способности и степень точности работы оператора, спрогнозировать поведение РЭС, принять меры для повышения эффективности их труда. Для этого необходимы:

- ознакомление с назначением, целью системы, задачами и основными требованиями к ней;
- построение структурной схемы, которая воспроизводит связи отдельных подсистем и ход регулирования с выделением «человеческой» цепи с обозначением прямых и обратных связей между оператором и машиной и отдельными операторами, при этом отмечается интенсивность связи;
- оценка среды, в которой система функционирует, и ее влияние на систему;
- описание функций системы и ее подсистем для всех режимов работы (включая аварийные ситуации);
- подробная эргономическая оценка рабочего места;
- оценка средств отображения информации и органов управления;
- рассмотрение функций операторов для нормального режима работы и для экстремальных ситуаций;
- оценка совмещения функций оператора во времени.

На основании полученных данных формируется вывод о надежности и эффективности системы и даются рекомендации по модернизации.

19.2. Этапы эргономической экспертизы РЭА

Общее описание и краткая характеристики объекта (назначение, месторасположение), основные и дополнительные параметры регулирования, задачи оператора и последовательность

выполнения операций, каналы информации (зрительный, слуховой), моторные действия (ручное и ножное управления), контингент мер, на который рассчитана РЭА (пол, возраст, страна), возможные аварийные ситуации.

Составление антропометрической характеристики, на основе которой выбирается рациональная конструкция по оценке рабочего места оператора.

Оценка условий труда на рабочем месте. Оценка делается на основании сравнения нормативных требований с характеристиками производственной среды, анализируются неблагоприятные факторы на рабочем месте.

Оценка средств воспроизведения информации.

- Описывается внешний вид информационных полей;
 - производится оценка отдельных приборов, их общее количество, назначение и характеристики;
 - анализируется расположение приборов и индикаторов.
- Важные приборы и индикаторы располагаются в центре поля зрения оператора. Приборы с тесными связями должны находиться рядом.

Оценка органов управления. Назначение и количество органов управления, цвет, число включений, длина плеча рычага тумблеров, ручек, угол поворота. Для ножных педалей – положение оператора (сидя, стоя), затраченное усилие.

Надписи на передней панели или пульте управления располагаются однотипно, над каждым элементом, гравированы слева направо, печатным шрифтом.

Контрольные вопросы

1. Что изучает эргономика?
2. Какие задачи решают специалисты по технической эстетике?
3. Для чего проводится эргономическая оценка РЭС?
4. Перечислите этапы эргономической экспертизы.
5. Как связаны требования надежности и эргономичности?

Задания для контрольной работы

Теоретическая часть

Вариант 1

1. Перечислить объекты-носители и условия эксплуатации РЭС.
2. Уровни разукрупнения РЭС.
3. Виды климатических испытаний.

Вариант 2

1. Перечислить основные документы, входящие в комплект конструкторской документации.
2. Основные виды моделирования при разработке РЭС.
3. Виды механических испытаний.

Вариант 3

1. Перечислить этапы внесения изменений в схему электрическую принципиальную.
2. Основные пакеты прикладных программ автоматического проектирования РЭС.
3. Источники помех в РЭС.

Вариант 4

1. Перечислить базовые технологические процессы производства РЭС.
2. Способы защиты РЭС от воздействия влаги.
3. Надежность и методы ее анализа.

Вариант 5

1. Перечислить этапы системного подхода при проектировании РЭС.
2. Перечислить этапы НИР.
3. Виды отказов РЭС.

Вариант 6

1. Виды стандартов.
2. Этапы ОКР.
3. Назначение регулировочных операций РЭА.

Вариант 7

1. Основные виды технологической документации.
2. Какие задачи решают эргономика и техническая эстетика.
3. Способы защиты РЭС от ионизирующих излучений.

Практическая часть

1. Рассчитать коэффициент технологичности схем (рис. 1, 2, 3).
2. Определить количество активных и пассивных радиокомпонентов (рис. 1, 2, 3).
3. Найти ошибку в условных графических обозначениях (рис. 1, 2, 3).

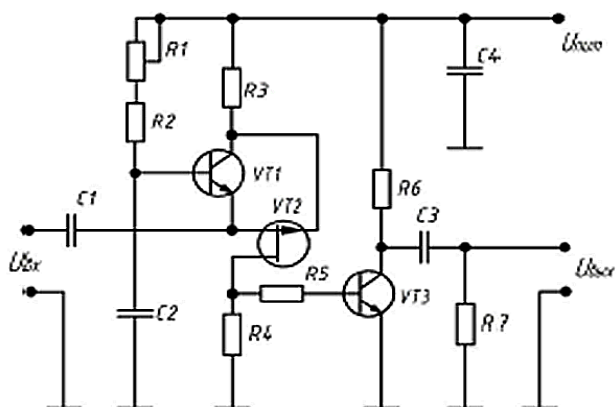


Рис. 1. Принципиальная электрическая схема задержанных импульсов

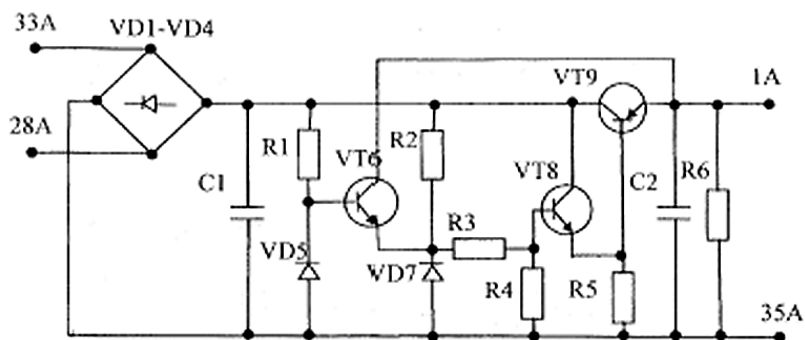


Рис. 2. Принципиальная электрическая схема стабилизатора напряжения

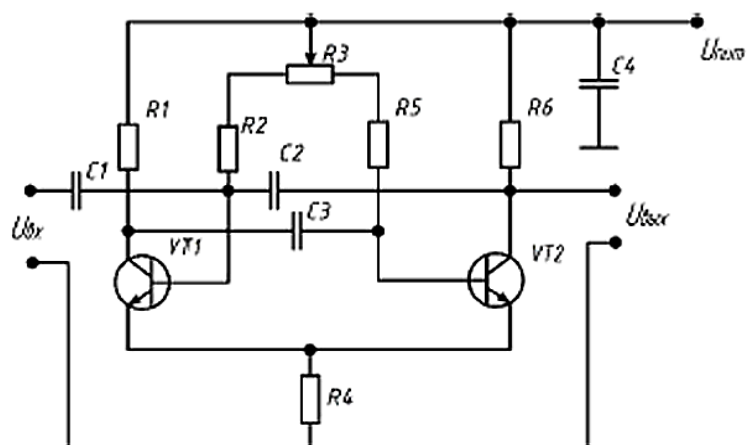


Рис. 3. Принципиальная электрическая схема генератора прямоугольных импульсов

Список использованной литературы

1. Медведев, А. Сборка и монтаж электронных устройств / А. Медведев. – М.: Техносфера, 2007. – 256 с.
2. Фомин, А. В. Инженерные методы обеспечения качества при проектировании / А. В. Фомин, О. Н. Умрихин, М. Ф. Митюшин. – М.: Изд-во МАИ, 2007. – 276 с.
3. Яроцкий, В. Г. Основы проектирования радиоэлектронных средств: учеб. пособие. – Рыбинск: РГАТА, 2000. – 175 с.
4. Медведев, А. Технология производства печатных плат / А. Медведев. – М.: Техносфера, 2005. – 360 с.
5. Конструкторско-технологическое проектирование электронной аппаратуры: учебник для вузов. – М.: Изд. МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2002. – 528 с.
6. Кротова, Е. И. Улучшение качества работы технологических систем в металлообработке / Е. И. Кротова // Материалы Всероссийской научно-технической конференции «Датчик-95», 23–30 мая 1995 г. – Симферополь, 1995. – С. 53.
7. Ненашев, А. П. Конструирование радиоэлектронных средств: учебник для вузов / А. П. Ненашев. – М.: Высш. шк., 1990. – 432 с.
8. Савельев, А. Я. Конструирование ЭВМ и систем: учебник для вузов / А. Я. Савельев, В. А. Овчинников. – М.: Высш. шк., 1989. – 312 с.
9. Технология и автоматизация производства радиоэлектронной аппаратуры: учебник для вузов / под ред. А. П. Достанко, Ш. М. Чабдарова. – М.: Радио и связь, 1989. – 624 с.
10. Ушаков, Н. Н. Технология производства ЭВМ: учебник для вузов / Н. Н. Ушаков. – М.: Высш. шк., 1991. – 416 с.
11. Государственные стандарты СССР, РФ. Открытая база ГОСТов. – URL: <http://www.Standart GOST.ru>
12. Кротова, Е. И. Современный подход к вопросу показателей качества автоматического управления точностью в металлообработке / Е. И. Кротова. – М., 1995. – Деп. в ВИНТИ АН РФ 24.07. 95 № 21-В95. – 18 с.

13. Кротова, Е. И. Контроль точности обработки деталей в продольном сечении / Е. И. Кротова // *Современные методы обработки сигналов в системах измерения, контроля, диагностики и управления: межд. науч.-техн. конф., 18–22 декабря 1995г.* – Минск: БГУ, 1995. – С. 366–369.
14. Александров, К. К. Электротехнические чертежи и схемы / К. К. Александров, Е. Г. Кузьмина. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 88 с.
15. Справочник конструктора РЭА: Компоненты, механизмы, надежность / под ред. Р. Г. Варламова. – М.: Радио и связь, 1985. – 384 с.
16. Преснухин, Л. Н. Проектирование электронных вычислительных машин и систем / Л. Н. Преснухин, В. А. Шахнов. – М.: Высш. шк. 1986. – 512 с.
17. Конструирование РЭС: учеб. пособие по курсовому и дипломному проектированию / авт.-сост. В. Ф. Борисов и др. – М.: МАИ, 1991.- 96 с.
18. Князев, А. Д. Конструирование радиоэлектронной и электронно-вычислительной аппаратуры с учетом ЭМС / А. Д. Князев, Л. Н. Кечиев, Б. В. Петров. – М.: Радио и связь, 1986. – 224 с.
19. Фрумкин, Г. Д. Расчет и конструирование радиоэлектронной аппаратуры / Г. Д. Фрумкин. – М.: Высш. шк., 1989. – 463 с.

Оглавление

Введение.....	3
Глава 1. Системный подход к конструированию РЭС.....	6
1.1. Основные понятия и определения.....	6
1.2. Системный анализ РЭС.....	8
1.3. Классификация параметров РЭС.....	10
Глава 2. Этапы системного подхода при проектировании конструкций и технологий РЭС.....	11
2.1. Основные принципы системного подхода к проектированию РЭС.....	11
2.2. Порядок и этапы разработки радиоэлектронной аппаратуры.....	14
Глава 3. Разработка и постановка в производство РЭС.....	17
3.1. Модели работ.....	17
3.2. Главные этапы работ.....	18
Глава 4. Научно-исследовательская разработка.....	21
4.1. Виды научно-исследовательских работ.....	21
4.2. Этапы НИР.....	22
4.3. Патентные исследования.....	23
4.4. Выполнение НИР.....	24
Глава 5. Опытно-конструкторская разработка.....	25
5.1. Этапы опытно-конструкторской разработки.....	25
Глава 6. Подготовка производства на заводе-изготовителе.....	39
6.1. Подготовка производства – заключительная часть инновационного процесса.....	39
6.2. Пробный маркетинг.....	40
6.3. Конструкторская подготовка производства (КПП).....	41
6.4. Технологическая подготовка производства.....	42
6.5. Отработка изделий на технологичность.....	43
6.7. Особенности создания единичных и мелкосерийных изделий.....	44
6.8. Постановка на производство продукции по лицензиям.....	48
Глава 7. Стандартизация. Документооборот, базы данных.....	52
7.1. Государственная стандартизация.....	52
7.2. Конструкторская документация.....	56

7.4. Единая система технологической документации.....	70
Глава 8. Уровни разукрупнения РЭС, элементная и конструктивная база.....	75
8.1. Классификация РЭС.....	75
8.2. Элементная база РЭС и история ее качественного развития.....	78
Глава 9. Проектирование конструкций РЭС различного уровня и функционального назначения.....	80
9.1. Базовый метод конструирования РЭС.....	80
9.2. Факторы внешней среды и их дестабилизирующее влияние на параметры РЭС.....	82
9.3. Общие требования, предъявляемые к конструкциям РЭС...	86
Глава 10. Алгоритмы статистического анализа теории надежности.....	88
10.1. Основные параметры надежности.....	88
10.2. Количественные характеристики надежности.....	92
10.3. Расчет надежности РЭА.....	98
Глава 11. Методы защиты РЭС от воздействия климатических факторов окружающей среды.....	100
11.1. Влияние климатических факторов на конструкцию.....	100
11.2. Защита РЭС	101
11.3. Тепловой режим работы аппаратуры.....	104
11.4. Защита аппаратуры от воздействия влажности.....	110
11.5. Защита от воздействия пыли	113
Глава 12. Защита от механических воздействий.....	117
12.1. Виды механических воздействий на РЭА.....	117
12.2. Понятие виброустойчивости и вибропрочности	118
Глава 13. Защита аппаратуры от воздействия помех.....	126
13.1. Природа помех.....	126
13.2. Классификация помех	128
13.3. Способы снижения помех	129
13.4. Применение экранов в РЭА	135
Глава 14. Воздействие ионизирующих излучений на РЭС, защита от излучений.....	139
14.1. Классификация радиоактивных излучений.....	139

14.2. Единицы измерений основных характеристик излучений	140
14.3. Классификация воздействий излучений на РЭС	141
14.4. Влияние радиоактивных излучений на полупроводники	142
14.5. Влияние излучения на резисторы, конденсаторы и катушки.....	144
14.6. Защита от ионизирующих излучений.....	145
Глава 15. Этапы проектирования конструкций РЭС при использовании систем автоматизированного проектирования.....	147
15.1. Причины использования САПР при разработке конструкций РЭС.....	147
Глава 16. Базовые технологические процессы в производстве РЭС и этапы их разработки.....	150
16.1. Структура технологических процессов.....	150
16.2. Виды технологических процессов.....	152
16.3. Виды и содержание технологических документов.....	156
16.4. Технологичность конструкций РЭС	157
Глава 17. Методы контроля и управления качеством производства РЭС.....	160
17.1. Технологические операции регулировки и настройки.....	160
17.2. Контроль и диагностика радиоэлектронных систем в процессе производства РЭА.....	166
Глава 18. Виды испытаний РЭС.....	172
18.1. Категории испытаний.....	172
18.2. Испытания на механические воздействия	177
18.3. Испытание на климатические воздействия	178
Глава 19. Эргономические требования к радиоэлектронным системам.....	181
19.1 Эргономическая оценка системы «человек – машина».....	181
19.2. Этапы эргономической экспертизы РЭА.....	182
Задания для контрольной работы.....	184
Список использованной литературы.....	187

Учебное издание

Кротова Елена Ивановна

**Основы конструирования
и технологии
производства РЭС**

Учебное пособие

Редактор, корректор М. В. Никулина
Правка, верстка Е. Б. Половкова

Подписано в печать 15.10.2013. Формат 60×84¹/₁₆.
Усл. печ. л. 11,16. Уч.-изд. л. 9,29.
Тираж 50 экз. Заказ .

Оригинал-макет подготовлен
в редакционно-издательском отделе ЯрГУ.

Ярославский государственный университет
им. П. Г. Демидова.
150000, Ярославль, ул. Советская, 14.