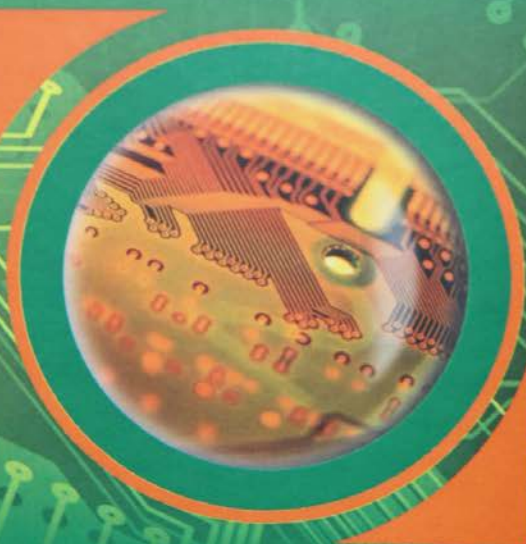




БИБЛИОТЕКА
«Конструирование и технология
электронных средств»

В.В. Маркелов, А.С. Кабаева

УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ ЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ



Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана

КОМПЛЕКТ

**учебно-методических комплексов дисциплин
по направлению подготовки
бакалавров и магистров 211000**

**«КОНСТРУИРОВАНИЕ И ТЕХНОЛОГИЯ
ЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ»**

БИБЛИОТЕКА «КОНСТРУИРОВАНИЕ И ТЕХНОЛОГИЯ ЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ»

В двадцати пяти книгах

1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ КОНСТРУИРОВАНИЯ И НАДЕЖНОСТИ ЭС
2. **УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ ЭС**
3. СЕРТИФИКАЦИЯ И ИСПЫТАНИЯ ЭС
4. КОНСТРУКТОРСКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ИНФОРМАТИКА
5. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ
КОНСТРУКТОРСКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЭС
6. ОБЩАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ЭС И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СРЕДЫ
7. ТЕХНОЛОГИИ КОММУТАЦИОННЫХ СТРУКТУР ЭС
8. ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЭС
9. АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА ЭС
10. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ МЭМС И НЭМС
11. СХЕМОТЕХНИЧЕСКОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЭС
12. КОНСТРУКТОРСКОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ
13. ПРОЕКТИРОВАНИЕ МИКРОПРОЦЕССОРНЫХ СИСТЕМ
14. ИСТОЧНИКИ ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ ЭС
15. ЛАЗЕРНЫЕ И ОПТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ ЭС
16. АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЭС
17. СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ В КОНСТРУКТОРСКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМ
ПРОЕКТИРОВАНИИ
18. КОНСТРУКТОРСКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ БАЗЫ ДАННЫХ
19. СИСТЕМЫ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА
В КОНСТРУКТОРСКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМ ПРОЕКТИРОВАНИИ
20. ТРИЗ В КОНСТРУКТОРСКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМ
ПРОЕКТИРОВАНИИ
21. МЕТОДОЛОГИЯ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЫ
В КОНСТРУКТОРСКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМ ПРОЕКТИРОВАНИИ
22. АРХИТЕКТУРА И СИСТЕМОТЕХНИКА ЭВС, КОМПЛЕКСОВ
И СИСТЕМ
23. СИСТЕМНОЕ ПРОГРАММИРОВАНИЕ ВСТРАИВАЕМЫХ СИСТЕМ
24. ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ И ТЕХНОЛОГИИ
25. УПРАВЛЕНИЕ ПРОЕКТАМИ
В КОНСТРУКТОРСКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМ ПРОЕКТИРОВАНИИ

Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана
Москва 2014

В. В. Маркелов, А. С. Кабаева

УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ ЭС

Учебно-методический комплекс
по направлению подготовки бакалавров и магистров 211000
«Конструирование и технология электронных средств»

Под редакцией заслуженного деятеля науки РФ,
члена-корреспондента РАН, профессора
В. А. Шахнова

*Допущено учебно-методическим объединением вузов
по университетскому политехническому образованию
в качестве учебного пособия для студентов
высших учебных заведений,
обучающихся по направлению 211000
«Конструирование и технология электронных средств»*



Москва 2014

УДК 681.321
ББК 32.971
М25

УМК подготовлен в соответствии с заданием государственного контракта № 16.647.12.2049 на выполнение работ в рамках направления II федеральной целевой программы «Развитие инфраструктуры nanoиндустрии в Российской Федерации на 2008–2011 годы»

Рецензенты:

кафедра «Информационные технологии конструирования радиотехнических устройств» Института «РадиоВТУЗ МАИ»
(зав. кафедрой, профессор *А. В. Назаров*);

кафедра «Электроника и информатика» Российского государственного технологического университета им. К. Э. Циолковского
(зав. кафедрой, профессор *С. Б. Беневоленский*)

Маркелов В. В.

М25 Управление качеством ЭС : учеб. пособие / В. В. Маркелов, А. С. Кабаева. – М. : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2014. – 272 с. : ил. (Библиотека «Конструирование и технология электронных средств» : в 25 кн. Кн. 2).

ISBN 978-5-7038-4074-0 (кн. 2)

Методические материалы содержат нормативную базу дисциплины, рекомендации по организации и проведению лекций, практических занятий, семинаров, лабораторных работ, указания по выполнению домашнего задания, перечень учебных видео- и аудиоматериалов, слайдов, типовых плакатов и другие дидактические материалы для работы профессорско-преподавательского состава по данной дисциплине.

Для студентов, аспирантов и преподавателей высших технических учебных заведений по направлению подготовки бакалавров и магистров 211000 «Конструирование и технология электронных средств», а также всех, занимающихся вопросами проектирования электронных систем различного назначения.

УДК 681.321
ББК 32.971

- © Маркелов В. В.,
Кабаева А. С., 2014
- © Министерство образования
и науки РФ, 2014
- © Оформление. Издательство МГТУ
им. Н. Э. Баумана, 2014

ISBN 978-5-7038-4074-0 (кн. 2)

ПРЕДИСЛОВИЕ

Направление подготовки бакалавров и магистров «Конструирование и технология электронных средств» (211000) утверждено приказом Министерства образования и науки Российской Федерации от 22.12.2009 г. № 789.

Конструкция (лат. *constructio* – строение, устройство, построение, план, взаимное расположение частей, англ. – *construction*, нем. – *die Konstruktion*, фр. – *construction*).

Технология (греч. *techne* – искусство, мастерство + *logos* – понятие, учение, англ. – *technology*, нем. – *die Technologie*, фр. – *technologie*).

Под *конструкцией* электронных средств (ЭС) понимается совокупность элементов и деталей с различными физическими свойствами и формами, находящимися в определенной пространственной, механической, тепловой, электромагнитной и энергетической взаимосвязи. Эта взаимосвязь определяется системотехнической, схемотехнической, конструкторской и технологической документацией и обеспечивает выполнение электронной аппаратурой (ЭА) заданных функций с необходимой точностью и надежностью в условиях воздействия на нее различных факторов: эксплуатационных, производственных, социальных.

Технология производства, или технологический процесс, – основная часть производственного процесса, заключающаяся в выполнении определенных действий, направленных на изменение исходных свойств объекта производства (в нашем случае ЭА) и достижение им определенного состояния, соответствующего технической документации.

Конструирование и технология производства являются, с одной стороны, отдельными частями сложного процесса разработки ЭА, а с другой – не могут выполняться в отдельности, без учета взаимосвязей между собой и с другими этапами разработки. Являясь

этапами общего процесса «разработка – производства – эксплуатация – утилизация» (жизненного цикла изделия), как конструирование, так и технология определяют в конечном итоге общие потребительские свойства ЭА.

Область профессиональной деятельности подготовки бакалавров и магистров по данному направлению включает все этапы жизненного цикла изделий электронной техники: исследование, проектирование и конструирование, технологию производства, сквозное управление качеством, эксплуатацию и утилизацию электронных средств различного назначения. В том числе информационные системы сопровождения жизненного цикла изделий электронной техники, отвечающие целям их функционирования, требованиям надежности, эргодизайна, условиям эксплуатации, компьютерного сопровождения жизненного цикла изделий и экономическим показателям.

Объектами профессиональной деятельности по направлению подготовки «Конструирование и технология электронных средств» (211000) являются: радиоэлектронные средства, электронно-вычислительные средства, средства телекоммуникаций, микро- и наноэлектронные средства, конструкторско-технологическая информатика, технологические процессы производства электронных средств, технологические материалы и технологическое оборудование для производства электронных средств, технологическая, конструкторская, программная и эксплуатационная документация, методы и средства контроля, настройки и испытания электронных средств. А также методы обеспечения качества при производстве электронных средств, методы конструирования электронных средств, методы разработки технологических процессов, системы автоматизированного проектирования и компоненты CALS-технологий.

Направление подготовки предусматривает следующие основные профили:

№ п/п	Номер профиля	Наименование профиля
1	2	3
1	211001	Проектирование и технология электронно-вычислительных средств
2	211002	Проектирование и технология радиоэлектронных средств
3	211003	Конструирование и технология микроволновых средств

1	2	3
4	211004	Конструирование и технология нанoeлектронных средств
5	211005	Технология электронных средств
6	211006	Информационные технологии проектирования радиоэлектронных средств
7	211007	Информационные технологии проектирования электронно-вычислительных средств
8	211008	Информационные технологии проектирования СВЧ-устройств
9	211009	Информационные радиоэлектронные средства
10	211010	Информационные навигационные средства и системы

Развитие и широкое внедрение информационных технологий для проектирования различных изделий дает возможность разработчику ЭС использовать принципиально новые инструменты и подходы. Это отражается на сокращении сроков разработки, улучшении технических и снижении экономических показателей создаваемой электронной аппаратуры.

На базе представленных УМК создана вариативная система маршрутного междисциплинарного обучения студентов, разработаны электронные версии учебно-методических комплексов дисциплин на основе Web-версии, соответствующей стандарту SCORM 2004, 3rd edition (<http://nanolab.iu4.bmstu.ru>).

Глубокую благодарность авторы выражают рецензентам: А. В. Назарову – профессору, заведующему кафедрой «Информационные технологии конструирования радиотехнических устройств» Института «РадиоВТУЗ МАИ» и С. Б. Беневоленскому – профессору, заведующему кафедрой Российского государственного технологического университета им. К. Э. Циолковского, чьи замечания способствовали улучшению содержания УМК.

Авторы будут признательны читателям за все замечания по содержанию УМК, которые следует направлять по адресу: 105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, МГТУ им. Н. Э. Баумана.

В. А. Шахнов

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

АРМ	– автоматизированное рабочее место
БИП	– бездефектное изготовление продукции
БУКП	– бюро управления качеством продукции
ЕОКК	– Европейская организация по контролю качества
ИСО	– Международная организация по стандартизации
КАНАРСПИ	– качество, надежность, ресурс с первых изделий
КОС	– конструкторский отдел по стандартизации
КИС	– контрольно-испытательная станция
КСУКП	– комплексная система управления качеством продукции
МФВ	– материально-финансовые вопросы
МЭМС	– микроэлектромеханическая система
НИИСУ	– Научно-исследовательский институт стандартизации и унификации
НИТИ	– Научно-исследовательский институт исследования технологий
НЭМС	– нанозлектромеханическая система
ОАСУП	– отдел автоматизированной системы управления производством
ОН	– отдел надежности
ОТК	– отдел технического контроля
ОТО	– отдел технического обучения
ООЭК	– особо ответственные элементы конструкции
ОЭР	– отдел эксплуатации и ремонта
ОКБ	– опытно-конструкторское бюро
ПДКК	– постоянно действующая комиссия по качеству
ПКТиП	– показатели качества труда и продукции
СМК	– система менеджмента качества
СТП	– стандарт предприятия
ТУ	– технические условия
ФУ	– функциональный узел

ЦЗЛ	– центральная заводская лаборатория
ЭВС	– электронно-вычислительная система
ЭС	– электронная система
AQL	– (Acceptable quality level) допустимый уровень качества
TQM	– (Total quality management) всеобщее управление качеством

ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ КУРСА

Агрегатирование – метод конструирования и эксплуатации изделий, основанный на функциональной и геометрической взаимозаменяемости их основных узлов и агрегатов.

Аккредитация испытательной лаборатории или органа по сертификации – процедура, посредством которой уполномоченный в соответствии с законодательными актами Российской Федерации орган официально признает возможность выполнения испытательной лабораторией или органом по сертификации конкретных работ в заявленной области.

Брак – это дефектная единица продукции, т. е. продукция, имеющая хотя бы один дефект.

Дефект – каждое отдельное несоответствие продукции требованиям, установленным нормативно-технической документацией.

Знак соответствия – зарегистрированный в установленном порядке знак, который по правилам, установленным в данной системе сертификации, подтверждает соответствие маркированной им продукции установленным требованиям.

Испытание – определение или исследование одной или нескольких характеристик изделия под воздействием совокупности физических, химических, природных или эксплуатационных факторов и условий.

Качество – совокупность свойств и характеристик продукции, которые придают ей способность удовлетворять обусловленные или предполагаемые потребности (ИСО 9000:2000). Качество – совокупность свойств продукции, обуславливающих ее пригодность удовлетворять определенные потребности в соответствии с ее назначением (ГОСТ 15467-79).

Квалиметрия – наука о способах измерения и количественной оценке качества продукции и услуг.

Комплексная система управления качеством продукции (КСУКП) устанавливает, обеспечивает и сохраняет необходимый уровень качества продукции при ее разработке, производстве и эксплуата-

ции, поддерживаемый путем систематического контроля качества и целенаправленного воздействия на условия и факторы, влияющие на качество продукции.

Контроль – это процесс определения и оценки информации об отклонениях действительных значений от заданных или их совпадении и результатах анализа.

Менеджмент – скоординированная деятельность по руководству и управлению организацией.

Менеджмент качества – скоординированная деятельность по руководству и управлению организацией применительно к качеству.

Механизм управления качеством продукции представляет собой совокупность взаимосвязанных объектов и субъектов управления, используемых принципов, методов и функций управления на различных этапах жизненного цикла продукции и уровнях управления качеством.

Мотив (или побуждение) – стремление удовлетворить определенные потребности и нужды.

Мотивация персонала (в управлении качеством) – побуждение работников к активной деятельности по обеспечению требуемого качества продукции.

Норма – положение, устанавливающее количественные или качественные критерии, которые должны быть удовлетворены.

Нормативный документ – документ, устанавливающий правила, общие принципы или характеристики, касающиеся различных видов деятельности или их результатов.

Обеспечение качества – часть менеджмента качества, направленная на создание уверенности, что требования к качеству будут выполнены.

Общероссийский классификатор технико-экономической и социальной информации (ОКТЕСИ) – официальный документ, представляющий собой систематизированный свод наименований и кодов классификационных группировок и (или) объектов классификации в области технико-экономической и социальной информации.

Оценка уровня качества продукции – совокупность операций, включающая выбор номенклатуры показателей качества оцениваемой продукции и определение значений этих показателей при оценке качества продукции.

Параметрическая стандартизация основана на упорядочении объектов стандартизации при помощи составления параметрических рядов характеристик продукции, процессов, классификаторов и т. п.

Петля (спираль) качества – замкнутый в виде кольца жизненный цикл продукции, включающий следующие основные этапы: маркетинг; проектирование и разработка технических требований, разработка продукции; материально-техническое снабжение; подготовка производства и разработка технологии и производственных процессов; производство; контроль, испытания и обследования; упаковка и хранение; реализация и распределение продукции; монтаж; эксплуатация; техническая помощь и обслуживание; утилизация.

Планирование качества – часть менеджмента качества, направленная на установление целей в области качества и определяющая необходимые операционные процессы жизненного цикла продукции и соответствующие ресурсы для достижения целей в области качества.

Политика в области качества – общие намерения и направления деятельности организации в области качества, официально сформулированные высшим руководством.

Правила – документ, устанавливающий обязательные для применения организационно-технические и (или) общетехнические положения, порядки, методы выполнения работ.

Ревизия (проверка) – проверка, осуществляемая контролером, которая должна соответствовать содержанию карты контроля.

Регламент – документ, содержащий обязательные правовые нормы и принятый органом власти.

Рекомендации – документ, содержащий добровольные для применения организационно-технические и (или) общетехнические положения, порядки, методы выполнения работ.

Руководство – лицо или группа работников, осуществляющих направление деятельности и управление организацией на высшем уровне.

Самопроверка (самоконтроль) – персональная проверка и контроль оператором с применением методов, установленных технологической картой на операцию, а также с использованием предусмотренных измерительных средств с соблюдением заданной периодичности проверки.

Свойством называется объективная способность продукции, которая может проявляться при ее создании, эксплуатации и потреблении.

Сертификат соответствия – документ, выданный по правилам системы сертификации для подтверждения соответствия сертифицированной продукции установленным требованиям.

Сертификация – деятельность по подтверждению соответствия продукции установленным требованиям.

Сертификация продукции – процесс, в результате которого государство совместно с производителем обеспечивает потребителю защиту его прав на приобретение продукции с декларированными в ГОСТах и нормативно-технической документации показателями качества и на объективную информацию об этой продукции.

Симплификация – процесс простого сокращения количества типов или других разновидностей изделий до количества, технически и экономически необходимого для удовлетворения потребностей.

Система – совокупность взаимосвязанных и взаимодействующих элементов.

Система «ДЖИТ» (just in time – производство точно в срок) – комплекс управленческих действий, ориентированный на ноль запасов, ноль отказов, ноль дефектов.

Система контроля качества продукции представляет собой совокупность взаимосвязанных объектов и субъектов контроля, используемых видов, методов и средств оценки качества изделий и профилактики брака на различных этапах жизненного цикла продукции и уровнях управления качеством.

Система менеджмента качества – система менеджмента для руководства и управления организацией применительно к качеству.

Система сертификации – совокупность участников сертификации, осуществляющих сертификацию по правилам, установленным в этой системе.

Система сертификации однородной продукции – система сертификации, относящаяся к определенной группе продукции, для которой применяются одни и те же конкретные стандарты и правила и та же процедура.

Способ (форма, схема) сертификации – определенная совокупность действий, официально принимаемая (устанавливаемая) в качестве доказательства соответствия продукции заданным требованиям (далее – схема сертификации).

Стандарт – нормативно-технический документ по стандартизации, устанавливающий комплекс правил, норм, требований к объекту стандартизации и утвержденный компетентным органом.

Стандартизация – установление и применение правил с целью упорядочения деятельности в определенных областях на пользу и при участии всех заинтересованных сторон, в частности для дос-

тижения всеобщей оптимальной экономии при соблюдении функциональных условий и требований техники безопасности.

Теория «X» характеризуется авторитарным стилем управления, существенной централизацией власти, жестким контролем по параметрам, определяющим действия исполнителя.

Теория «Y» соответствует демократическому стилю управления и предполагает делегирование полномочий, улучшение взаимоотношений в коллективе, учета соответствующей мотивации исполнителей и их психологических потребностей, обогащение содержания работы.

Теория «Z» отличается от теории «Y» акцентом на заботе о людях, характером процесса принятия управленческих решений (доминирование сопричастных методов), принципами занятости, продвижения и ответственности: присуща система пожизненного найма, горизонтальная и вертикальная ротация кадров через каждые два-три года, коллективная ответственность за результаты.

Технический контроль – проверка соответствия объекта установленным техническим требованиям.

Технический регламент – регламент, содержащий технические требования либо непосредственно, либо путем ссылки на стандарты, технические условия или кодекс установившейся практики, либо путем включения в себя содержания этих документов.

Технический уровень продукции – относительная характеристика качества продукции.

Улучшение качества – часть менеджмента качества, направленная на увеличение способности выполнить требования к качеству.

Унификация – действия, направленные на сведение к технически и экономически обоснованному рациональному минимуму неоправданного многообразия различных изделий, деталей, узлов, технологических процессов и документации.

Управление качеством – часть менеджмента качества, направленная на выполнение требований к качеству

Управление качеством продукции – действия, осуществляемые при создании, эксплуатации или потреблении продукции в целях установления, обеспечения и поддержания необходимого уровня ее качества.

Уровень качества продукции – относительная характеристика, основанная на сопоставлении значений показателей, характеризующих техническое и эстетико-эргономическое совершенство

комплексных показателей надежности и безопасности использования оцениваемой продукции.

Цели в области качества – то, чего добиваются или к чему стремятся в области качества.

Цикл Деминга (PDCA-цикл) – последовательность выполнения процессов планирования (Plan), осуществления (Do), контроля (Check) и управления воздействием (Action).

1. КОНСПЕКТ ЛЕКЦИЙ

Современная рыночная экономика предъявляет принципиально иные требования к качеству выпускаемой продукции. В настоящее время выживаемость любой фирмы, ее устойчивое положение на рынке товаров и услуг определяются уровнем конкурентоспособности. В свою очередь конкурентоспособность связана с двумя показателями – уровнем цены и уровнем качества продукции. Причем второй фактор постепенно выходит на первое место. Производительность труда и экономия всех видов ресурсов уступают место качеству продукции.

1.1. ВВЕДЕНИЕ В КУРС «УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ ЭС»

Качество – это авторитет фирмы, увеличение прибыли, залог процветания, поэтому работа по управлению качеством является важнейшим видом деятельности. Качество можно представить в виде пирамиды (рис. 1.1).

Качество продукции – важнейший показатель деятельности предприятия. Повышение качества продукции в значительной мере определяет выживаемость предприятия в условиях рынка, темпы научно-технического прогресса, рост эффективности производства, экономию всех видов ресурсов, используемых на предприятии. Рост качества продукции – характерная тенденция работы ведущих фирм мира.

Вместе с тем нельзя рассматривать качество изолированно с позиций производителя и потребителя. Без обеспечения технико-экономических, эксплуатационных и других параметров качества, определяемых техническими условиями (ТУ), не может быть осу-

ществлена сертификация продукции, т. е. ее оценка на соответствие требованиям.

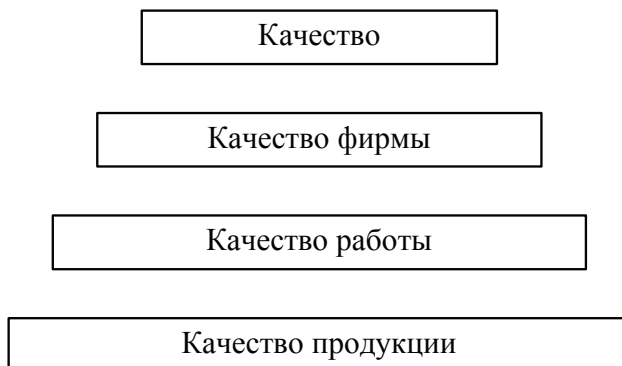


Рис. 1.1. Пирамида качества

Важными свойствами для оценки качества являются:

- ◆ *технический уровень*, материализующий в продукции научно-технические достижения;
- ◆ *эстетический уровень*, характеризующийся комплексом свойств, связанных с эстетическими ощущениями и взглядами;
- ◆ *эксплуатационный уровень*, связанный с технической стороной использования продукции (уход за изделием, ремонт и т. п.);
- ◆ *техническое качество* – гармоничная увязка предполагаемых и фактических потребительных свойств в эксплуатации изделия (функциональная точность, надежность, длительность срока службы) [11].

Усиление конкуренции требует от руководителей всех уровней целенаправленного решения проблемы повышения качества продукции и процессов ее проектирования, производства и реализации. Для достижения этих целей широко используются идеология и положения международных стандартов серии ИСО 9000. Основными аргументами в пользу такого подхода является то, что указанные стандарты ориентированы на рыночные отношения; аккумулируют положительный опыт организации управления (менеджмента) в промышленности ведущих индустриальных держав; универсальны для применения предприятиями различных отрас-

лей промышленности и к различным видам деятельности; признаны практически всеми развитыми странами в качестве основы для организации взаимовыгодных торгово-экономических взаимоотношений предприятий.

Внедрение стандартов серии ИСО 9000 создает базу для независимой сертификации продукции, ориентированную на подтверждение соответствующего уровня качества продукции, определяющего ее конкурентные возможности.

Отсюда **цель курса «Управление качеством ЭС»** – изучение систем управления качеством, факторов, влияющих на их функционирование и развитие, показателей оценки и контроля их деятельности.

Предметом курса является изучение параметров, определяющих потребительские свойства продукции и социально-экономические и организационно-технические характеристики процессов ее создания, потребления (эксплуатации) и утилизации, а также деятельность по совершенствованию таких свойств и процессов.

Задачи курса «Управление качеством ЭС»:

- ◆ определение основных понятий, характеризующих потребительские свойства продукции;
- ◆ рассмотрение критериев качества изделий и процессов;
- ◆ изучение систем управления качеством продукции (услуг);
- ◆ изучение видов и особенностей контроля качества продукции;
- ◆ анализ процессов стандартизации и сертификации продукции [11].

Главная идея *методологии обеспечения качества* основана на том, что понятие «улучшение качества» должно употребляться применительно к любой сфере деятельности.

1.2. ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ

В истории развития документированных систем качества можно выделить пять этапов, которые иногда представляют в виде пяти звезд качества (рис. 1.2).

Первый этап соответствует начальным задачам системного подхода к управлению, когда появилась первая система – *система*

Тейлора (1905 г.). Организационно она предполагала установление технических и производственных норм специалистами и инженерами. Эта система устанавливала требования к качеству изделий (деталей) в виде полей допусков и вводила определенные шаблоны.

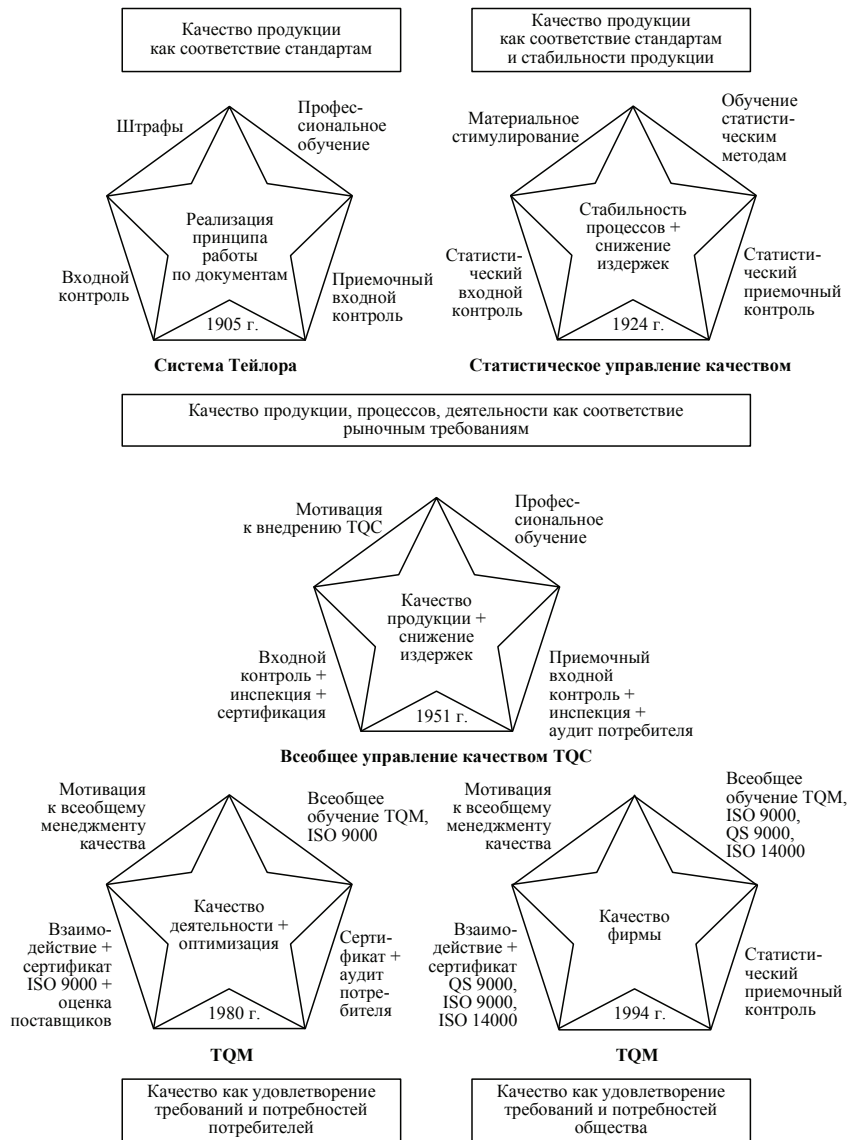


Рис. 1.2. Пять звезд качества

Второй этап. В 1924 г. в «Bell Telephone Laboratories» (ныне корпорация AT&T) была создана группа под руководством Р. Л. Джонса, заложившая основы *статистического управления качеством*. Это были разработки контрольных карт, выполненные В. Шухартом, первые понятия и таблицы выборочного контроля качества, разработанные Г. Доджем и Г. Ромингом, ставшие началом статистических методов управления качеством, которые впоследствии благодаря Э. Демингу получили очень широкое распространение в Японии и оказали весьма существенное влияние на экономическую революцию в этой стране. Опираясь на точку зрения Э. Деминга и развивая ее, Д. Джуран ввел термин качества в духе «соответствия требованиям потребителя», в значительной степени ориентированный на требования потребителей («Fitness for use»).

Третий этап. В 1950-е годы была выдвинута *концепция тотального (всеобщего) контроля качества – ТQC (Total Quality Control)*. Ее автор, американский ученый А. Фейгенбаум, опубликовал в 1957 г. статью «Комплексное управление качеством». К главным задачам ТQC относятся прогнозируемое устранение потенциальных несоответствий в продукции на стадии конструкторской разработки, проверка качества поставляемой продукции, комплектующих и материалов, а также управление производством, развитие службы сервисного обслуживания и надзор за соблюдением соответствия заданным требованиям к качеству.

В Японии идеи ТQC получили дальнейшее развитие в работах профессора К. Исикавы, который рассматривал качество как задачу менеджмента; требовал участия всех сотрудников в мероприятиях по его улучшению и ввел термин «отношения потребитель – поставщик».

Четвертый этап. В 80-е годы начался переход от тотального контроля качеством (ТQC) к тотальному менеджменту качества (TQM). В это время появилась серия новых международных стандартов на системы качества – стандарты ИСО 9000 (1987 г.), оказавшие весьма существенное влияние на менеджмент и обеспечение качества. В 1994 г. вышла новая версия этих стандартов, которая расширила в основном стандарт МС 9004-1, -2, -3, -4, большее внимание уделив вопросам обеспечения качества программных продуктов, обрабатываемым материалам, услугам.

Специфика тотального управления качеством состоит в том, что если раньше на предприятиях принимались компромиссные реше-

ния по таким параметрам, как объем выпускаемой продукции, сроки поставки, затраты и качество, то теперь на первый план выдвигается качество продукции, и вся работа предприятия подчиняется этой цели. Таким образом, управление всеми сферами деятельности предприятия организуется исходя из интересов качества.

Если TQC – это управление качеством с целью выполнения установленных требований, то TQM – еще и управление целями и самими требованиями. В TQM включается также и обеспечение качества, которое трактуется как система мер, вызывающая у потребителя уверенность в качестве продукции. Система TQM (рис. 1.3) является комплексной системой, ориентированной на постоянное улучшение качества, минимизацию производственных затрат и поставку точно в срок. Основная идеология TQM базируется на принципе – *улучшению нет предела*. Применительно к качеству действует целевая установка – стремление к нулю дефектов, к нулю непроизводительных затрат, к поставкам точно в срок. Эта идеология имеет специальный термин «постоянное улучшение качества» (quality improvement).

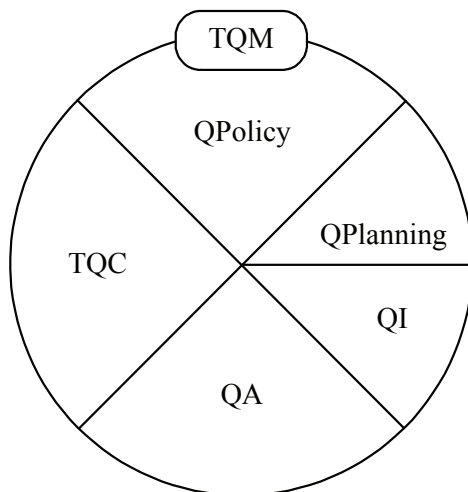


Рис. 1.3. Основные составляющие TQM:

TQC – всеобщий контроль качества; QPolicy – политика качества;
QPlanning – планирование качества; QI – улучшение качества;
QA – обеспечение качества

В системе TQM используются адекватные целям методы управления качеством. Одной из ключевых особенностей системы

является *использование коллективных форм* и методов поиска, анализа и решения проблем, постоянное участие в улучшении качества всего коллектива.

Пятый этап. В 90-е годы усилилось влияние общества на предприятия, а предприятия стали все больше учитывать интересы общества. Это привело к появлению стандартов серии ИСО 14000, устанавливающих требования к системам менеджмента с точки зрения защиты окружающей среды и безопасности продукции.

Сертификация систем качества на соответствие стандартам ИСО 14000 становится не менее популярной, чем на соответствие стандартам ИСО 9000. Существенно возросло влияние гуманистической составляющей качества, усиливается внимание руководителей предприятий к удовлетворению потребностей своего персонала.

Появляются и корпоративные системы управления качеством, которые ставят своей целью усиление требований международных стандартов и учитывают специфику таких корпораций. Так, «большая тройка» американских автомобильных компаний разработала в 1990 г. (1994 г. – вторая редакция) стандарт QS 9000 «Требования к системам качества».

Внедрение стандартов ИСО 14000 и QS 9000, а также методов самооценки по моделям премий по качеству – главное достижение пятого этапа развития систем управления качеством.

1.3. КАЧЕСТВО И ЕГО ПОКАЗАТЕЛИ

Общие сведения

Качество продукции – совокупность свойств продукции, обусловливающих ее пригодность удовлетворять определенные общественные и личностные потребности.

Продукция – совокупность продуктов. Продукт – результат человеческого труда.

Продуктом является изделие, услуга, информация.

Показателями качества продукции называют числовые значения характеристик продукции. Признаком продукции называют качественную или количественную характеристику свойств продукции. Количественные характеристики делят на группы. Например, высшего, первого, второго и третьего классов. Если группы только две, то признак и качественную характеристику называют альтернативными.

Различают единичные показатели, относящиеся к одному свойству продукции, и комплексные, относящиеся к нескольким свойствам.

Многие показатели качества продукции являются функциями ее параметров. Важным является относительный показатель качества. Его определяют как отношение абсолютного показателя качества к базовому. Выражается безразмерным числом или в процентах. Зачастую по нему определяют уровень качества.

Общая классификация показателей качества на основе ГОСТ 22.851-77 представлена на рис. 1.4.



Рис. 1.4. Показатели качества

Индексом качества продукции называют комплексный показатель качества разнородной продукции, равный среднему взвешен-

ному значению относительных показателей качества за рассматриваемый период.

Согласно ГОСТ 15467-70 уровнем качества продукции называется относительная характеристика качества продукции, основанная на сравнении совокупности показателей ее качества с соответствующей совокупностью базовых показателей.

Показатели назначения

Показателями назначения (ПН) характеризуют эксплуатационные свойства и область применения изделий. Показатели назначения являются определяющими при аттестации технического уровня изделия. Их часто используют в качестве критерия оптимизации при нахождении наилучших решений.

Показателями назначения характеризуют эксплуатационные свойства и область применения изделий.

Показатели назначения делят на:

- ◆ классификационные;
- ◆ структурные;
- ◆ энергопотребления;
- ◆ вида упаковки и др. [11].

Показатели эксплуатации и сохранности работоспособности

К этой группе показателей относятся показатели надежности, удобства технического обслуживания, ремонта и хранения, эргономичности, транспортабельности, стойкости к внешним возмущениям, технической эстетичности, безопасности.

Показатели надежности – характеризуют способность продукции сохранять эксплуатационные свойства на определенном уровне в заданном интервале времени при установившихся условиях применения.

Надежность – это свойство объекта выполнять заданные функции, сохраняя во времени значения установленных эксплуатационных показателей, соответствующих заданным режимам и условиям использования, технического обслуживания, ремонта, хранения и транспортирования.

Этот показатель характеризуется:

- ◆ безотказностью;
- ◆ долговечностью;

- ◆ ремонтпригодностью;
- ◆ сохраняемостью [11].

Безотказность – это свойство объекта сохранять работоспособность в течение некоторого времени или некоторой наработки без вынужденного перерыва.

Долговечность – это свойство объекта сохранять работоспособность до наступления предельного состояния при установленной системе технического обслуживания и ремонта.

Ремонтпригодность – это приспособленность объекта к предупреждению, обнаружению причин отказов и повреждений и устранению их последствий.

Сохраняемость – это свойство объекта непрерывно сохранять исправное и работоспособное состояние в течение и после срока хранения и транспортировки.

Предельное состояние определяется невозможностью дальнейшей эксплуатации из-за недопустимого снижения показателей назначения.

Показатели удобства технического обслуживания, ремонта и хранения характеризуют свойства продукции, обуславливающие потребные затраты материалов, средств, труда и времени, а также квалификацию обслуживающего персонала при техническом обслуживании, ремонте и хранении.

К этим показателям относятся:

- ◆ трудоемкость и время подготовки оборудования к использованию по назначению;
- ◆ трудоемкость ремонта и хранения;
- ◆ объем и периодичность ТО.

Эргономические показатели характеризуют степень приспособленности продукции к эксплуатации человеком. Их подразделяют на следующие группы:

- ◆ показатели обитаемости (включая гигиенические). Эти показатели используют для определения соответствия продукции потребностям человека. К ним, например, можно отнести температуру, давление, влажность, освещенность и т. д.;
- ◆ антропологические показатели, используемые для определения соответствия размерам и формам тела человека;
- ◆ физиологические и психофизические показатели, используемые при определении соответствия продукции скоростным и силовым возможностям человека, а также особенно-

стям функционирования его органов чувств (пороги слуха, зрения, осязания, реагирования на электромагнитные поля);

- ◆ психологические показатели, используемые при оценки ответственности продукции возможности восприятия и переработки информации, навыкам человека при работе с ней.

Показатели транспортабельности характеризуют степень приспособленности продукции к перемещению. К таким показателям относятся:

- ◆ допустимая дальность, скорость и высота транспортировки;
- ◆ время подготовки к транспортированию;
- ◆ установка продукции на средства транспортирования (железнодорожное средство, автомобиль, самолет, судно и т. д.);
- ◆ приведение продукции в эксплуатационное состояние после транспортировки;
- ◆ коэффициент заполнения объема средств транспортировки и др.

Показатели живучести и стойкости к внешним возмущениям характеризуют способность продукции выполнять свои функции и сохранять работоспособность в аварийных ситуациях, при повреждениях и различного рода воздействиях на продукцию со стороны человека или среды. Этими показателями являются:

- ◆ степень нарушения функционирования продукции при повреждении в определенной ситуации;
- ◆ среднее время восстановления продукции после повреждения;
- ◆ предельная и номинальная температура окружающей среды;
- ◆ характеристика вибрации (ускорение, частота, амплитуда, продолжительность воздействия);
- ◆ напряженность магнитного поля, запыленность воздуха, при которых ресурс продукции не менее установленного в ТО, и т. д.

Показатели технической эстетики характеризуют композиционную целостность, информационную выразительность, рациональность формы и культуру производственного исполнения продукции. Примерами показателей технической эстетики являются:

- ◆ показатели соответствия цветового решения и отделки конструкции продукции, окружающей среде и современному уровню развития науки и техники;

- ◆ показатели соразмерности и согласованности формы и организованности объемно-пространственной структуры продукции и т. д.

Показатели безопасности характеризуют конструктивно-технические особенности продукции, обуславливающие безопасность обслуживающего персонала, сопрягаемых объектов и окружающей среды на всех режимах эксплуатации. К этим показателям относят:

- ◆ электрическую прочность изоляции токопроводящих частей, с которыми возможно соприкосновение человека;
- ◆ время срабатывания аварийной сигнализации системы герметизации;
- ◆ температурный предел, обеспечивающий автоматическое включение средств пожаротушения, и т. д.

Показатели рациональности техничко-экономических решений

К этим показателям относятся показатели стандартизации и унификации, технологичности, конструктивности и экономичности.

Показатели стандартизации и унификации характеризуют уровень стандартизации, внутрипроектной и межпроектной унификации продукции, которая оценивается, уточняется и окончательно устанавливается на этапе ее разработки. Уровень стандартизации и унификации оценивается тремя коэффициентами:

- ◆ применяемости, который характеризует уровень конструктивной преемственности составных частей в разрабатываемом изделии;
- ◆ повторяемости, который характеризует уровень внутрипроектной унификации изделий и взаимозаменяемость составных частей;
- ◆ межпроектной (взаимной) унификации, который характеризует уровень взаимной унификации группы изделий.

Для характеристики уровня стандартизации разрабатываемой продукции используют коэффициент применяемости, рассчитанный по стандартным составным частям. В этом случае уровень стандартизации показывает степень использования в ней стандартных составных частей.

Показатели технологичности характеризуют свойства продукции, обуславливающие оптимизацию затрат, материалов, средств,

труда и времени при технологической подготовке производства и изготовлении изделий.

К показателям технологичности относят:

- ◆ коэффициент сборности изделий. Он показывает, какую часть общего количества составных частей изделия составляют специфические составные части, т. е. он характеризует простоту монтажа изделия;
- ◆ коэффициент рациональности использования материалов. Он показывает, какую часть от общей части массы изделия составляет суммарная масса данного материала;
- ◆ удельные показатели трудоемкости производства к трудоемкости одного из основных параметров, относящихся к показателям назначения.

Конструктивные показатели характеризуют конструктивные особенности продукции, обуславливающие возможность реализации в ее подсистемах функциональных свойств. К ним относятся: масса, габаритные, присоединительные и установочные размеры, коэффициент использования полезного объема, число наименований крепежных элементов и др.

Экономические показатели характеризуют затраты на проектирование, изготовление и эксплуатацию продукции, а также экономическую эффективность ее эксплуатации.

Экономические показатели характеризуют:

- ◆ технологичность продукции – относительная себестоимость заготовительных технологических работ;
- ◆ удобство технического обслуживания – удельная себестоимость обслуживания функционирующей продукции;
- ◆ уровень стандартизации и унификации продукции – стоимостной коэффициент применимости;
- ◆ патентно-правовой уровень изделия – стоимостной показатель патентной части.

1.4. СПОСОБЫ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА

Общие сведения

На этапе производства учитывают следующие показатели качества:

- ◆ комплектующих элементов и узлов;
- ◆ обрабатываемого оборудования;

- ♦ состояния технологической дисциплины;
- ♦ убытка и брака;
- ♦ труда исполнителей;
- ♦ бездефектности готовых изделий.

Оценка качества комплектующих элементов

Уровень качества комплектующих элементов определяют по формуле

$$K_{\text{деф}} = \frac{K_{\text{деф}}^{\phi}}{K_{\text{деф}}^{\delta}}; K_{\text{деф}}^{\phi} = \frac{n_{\text{деф}}}{n},$$

где $n_{\text{деф}}$ – число дефектных элементов, выявленных входным контролем или при монтаже; n – общее число комплектующих элементов; K^{ϕ} – фактическое значение коэффициента; K^{δ} – базовое значение коэффициента.

Оценка качества обрабатывающего оборудования

Оценка качества обрабатывающего оборудования ведется по формуле

$$K_{\text{обр}} = \frac{K_{\text{обр}}^{\phi}}{K_{\text{обр}}^{\delta}}; K_{\text{обр}}^{\phi} = \prod_{i=1}^3 (K_i)^{C_i},$$

где C_i – весовые коэффициенты; $K_1 = \text{КОО}$ – показатель качества обрабатывающего оборудования; $K_2 = \text{КТО}$ – показатель качества технологического оснащения; $K_3 = \text{КСТО}$ – показатель качества средств технологического обеспечения.

В основе определения K_i ($i = \overline{1,3}$) лежит метод приемочного статистического контроля по альтернативному признаку.

Оценка состояния технологической дисциплины

Уровень состояния технологической дисциплины определяется показателем по формуле

$$K = \frac{K_{\text{т}}^{\phi}}{K_{\text{т}}^{\delta}}; K_{\text{т}}^{\phi} = \frac{n_{\text{н}}}{n} \cdot 100\%,$$

где n_n – количество технологических операций, выполненных с нарушением технологического процесса; n – общее число технологических операций.

Оценка убытков от брака

Осуществляется относительным показателем

$$\bar{K}_{y6} = \frac{\bar{K}_{y6}^{\phi}}{\bar{K}_{y6}^6}; \bar{K}_{y6}^{\phi} = \frac{1}{6} \sum_{i=1}^6 K_{y6}^{\phi} = \frac{1}{6} \sum_{i=1}^6 (c_1^{(i)} + c_2^{(i)} - c_3^{(i)}),$$

где c_1 – затраты на материал; c_2 – амортизация оборудования; c_3 – удержание за брак; значение множителя $1/6$ обусловлено правилом «трех сигм».

Оценка качества труда исполнителей

Оценка качества труда исполнителей производится:

- 1) показателем сдачи изделий с первого предъявления:

$$K_{\text{сп}} = \frac{K_{\text{сп}}^{\phi}}{K_{\text{сп}}^6}; K_{\text{сп}}^{\phi} = \left(1 - \frac{K_{\text{в}}}{K_{\text{п}}}\right) \cdot 100\%,$$

где $K_{\text{в}}$ – количество возвратов изделий отделом технического контроля; $K_{\text{п}}$ – число первичного предъявления изделий ОТК;

- 2) показателем исполнительской дисциплины:

$$K_{\text{ид}} = \frac{K_{\text{ид}}^{\phi}}{K_{\text{ид}}^6}; K_{\text{ид}}^{\phi} = \frac{1}{S} \sum_{i=1}^S n_i,$$

где n_i – количество дней, просроченных при выполнении i -го мероприятия; S – общее число мероприятий, не выполненных в срок.

Оценка бездефектности готового изделия

Оценка бездефектности готового изделия оценивается показателем

$$\bar{K}_6 = \frac{\bar{K}_6^{\phi}}{\bar{K}_6^6}; \bar{K}_6^{\phi} = \frac{1}{6} \sum_{i=1}^6 K_{6(i)}^{\phi}; K_6^{\phi} = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n m_i p_i}{N \cdot T \cdot S},$$

где m_i – число дефектов данного вида; p_i – величина потерь на устранение данного дефекта; N – число предъявленных изделий; T – трудоемкость изготовления изделия; S – средняя стоимость нормочаса.

Оценка качества изделий при эксплуатации

Основными показателями качества изделий при эксплуатации являются:

- 1) вероятность безотказной работы $p(t_p)$;
- 2) коэффициент готовности K_r .

Вероятность безотказной работы рассчитывают по формуле

$$p(t_p) = 1 - \frac{n}{N},$$

где n – число отказавших элементов за рассматриваемый период времени; N – общее число испытываемых изделий.

Коэффициент готовности при обслуживании определяется по формуле

$$K_r = \frac{T_o}{T_o + T_b};$$

здесь T_o – время наработки на отказ:

$$T_o = \frac{\sum_{i=1}^N t_i}{N},$$

где t_i – момент отказа i -го изделия; N – суммарное число отказов; T_b – среднее время восстановления:

$$T_b = \frac{\sum_{i=1}^m \tau_i}{m},$$

τ_i – время восстановления работоспособности изделия после i -го отказа; m – количество отказов.

Качество изделия на этапе эксплуатации оценивают коэффициентом оперативной готовности

$$K_{ор} = K_r p(t_p).$$

Оценка уровня стандартизации и унификации

Общие сведения. В современных изделиях ВТ довольно быстро растет число комплектующих элементов, растет сложность их связей. Вместе с этим растут и сроки проектирования изготовления изделий. Одновременно растут требования к качеству изделий. Устранение этого противоречия проводят на пути стандартизации и унификации.

Согласно ИСО, стандартизация – это процесс установления и применения правил с целью упорядочения деятельности в данной области на пользу и при участии всех заинтересованных сторон, в частности для достижения всеобщей оптимальной экономии с соблюдением функциональных условий и требований безопасности [11].

Главной целью стандартизации является повышение качества продукции при минимальных затратах на ее изготовление.

Для достижения цели необходимо решить следующие задачи:

- ◆ разработать комплекс показателей качества изделий, уровни качества, методы и средства измерения показателей качества;
- ◆ установление норм, методов и требований в области проектирования и производства изделий для обеспечения оптимального качества и минимизации затрат;
- ◆ развить систему унификации изделий как важнейшего условия специализации производства, комплексной механизации и автоматизации производственных процессов;
- ◆ установление единых систем документации, классификации и кодирования продукции.

Главной особенностью стандартизации является обеспечение ее опережающего характера, что достигается разработкой стандартов, обеспечивающих качество еще не разработанных изделий на весь период их эксплуатации.

Весь комплекс стандартов объединен в систему государственных стандартов (ГОСТ). Под стандартом понимают характеристику параметра качества оптимальной конструкции.

Под уровнем стандартизации понимают степень насыщенности изделия стандартными составными элементами. Под стандартным элементом понимают элемент, охваченный на уровне стандартов комплексом нормативно-технической документации.

Под унификацией понимают процесс сокращения номенклатуры изделий, близких по функциональному назначению.

Таким образом, сущность унификации – это приведение процесса изготовления изделия к однообразию для сокращения сроков проектирования и изготовления. А сущность стандартизации – это установление обязательных норм и правил при изготовлении и контроле качества с целью повышения последнего.

Оценка уровня стандартизации и унификации. Для оценки уровня стандартизации и унификации изделия используют следующие характеристики:

- ◆ коэффициент межпроектной унификации;
- ◆ коэффициент повторяемости;
- ◆ коэффициент применяемости.

Коэффициент межпроектной унификации рассчитывают по формуле

$$K_{\text{мy}} = \frac{\sum_{i=1}^H n_i - Q}{\sum_{i=1}^H n_i - n_{\text{max}}} \cdot 100\%,$$

где H – общее количество рассматриваемых изделий; n_i – количество типоразмеров составных частей в i -м изделии; Q – общее количество типоразмеров составных частей, применяемых в группе из H изделий; n_{max} – максимальное количество типоразмеров составных частей одного изделия.

Под типоразмером понимают значение параметра, повторяющегося у изделия определенной конструкции. Число типоразмеров соответствует числу наименований составных частей в спецификации конструкторской документации.

Коэффициент повторяемости определяют по формуле

$$K_{\text{п}} = \frac{\Sigma_{\text{общ}}}{\Sigma_n},$$

где $\Sigma_{\text{общ}}$ – общее количество составных частей одного изделия; Σ_n – общее количество типоразмеров составных частей одного изделия.

Коэффициент применяемости определяют по формуле

$$K_{\text{пр}} = \frac{\Sigma_n - \Sigma_{n\text{оп}}}{\Sigma_n} \cdot 100\%,$$

где $\Sigma_n = \Sigma_{nc} + \Sigma_{ny} + \Sigma_{nz} + \Sigma_{nп} + \Sigma_{nop}$ – количество типоразмеров стандартных, унифицированных, заимствованных, покупных и оригинальных деталей соответственно.

Обобщенная оценка показателя качества

Обобщенный показатель качества позволяет всесторонне характеризовать качество изделия как на отдельных этапах, так и на всем жизненном цикле. Он является функцией относительных показателей качества:

$$J = F(J_1, \dots, J_n), \quad i = \overline{1, n}.$$

Объединение относительных показателей качества в обобщенный преследует двоякую цель. Во-первых, позволяет количественно сравнивать качество разработки, производства и эксплуатации и аргументированно отбирать наилучший. Во-вторых, управлять качеством изделия путем проведения соответствующих мероприятий, повышающих значение обобщенного показателя J через повышение относительных J_i .

В качестве приемлемой обобщенной оценки показателя качества изделия используют следующую функцию:

$$J = \sum_{i=1}^n \alpha_i J_i.$$

Преимуществом этой функциональной зависимости является ее линейность. С ее помощью можно оценить изделие любой сложности. Ее используют при:

- ♦ анализе динамики качества изделия на этапах проектирования, производства и эксплуатации;
- ♦ обосновании плановых заданий по управлению качеством;
- ♦ обосновании перераспределения затрат по повышению качества.

1.5. ПРОЦЕСС И СОДЕРЖАНИЕ УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ ЭС

Управление качеством продукции – это не просто контроль качественных параметров и причин их отклонений – это управленческая деятельность, охватывающая жизненный цикл продукции,

системно обеспечивающая стратегические и оперативные процессы повышения качества продукции и функционирования самой системы управления качеством.

Из основ менеджмента известно, что разделение труда по мере развития производственных отношений привело к выделению специфических трудовых процессов – процессов управления. Менеджмент (управление) – воздействие одного лица или группы лиц (менеджеров) на другие лица для побуждения к действиям, соответствующим достижению поставленных целей при условии принятия менеджерами ответственности за результативность воздействия. Общность задач управления позволяет формулировать и общие его законы, а анализ и обобщение практики управления дает возможность, опираясь на законы, конкретизировать содержание управления в рамках науки управления (менеджмента).

В общем виде структуру и процессы управления можно представить так, как показано на рис. 1.5.

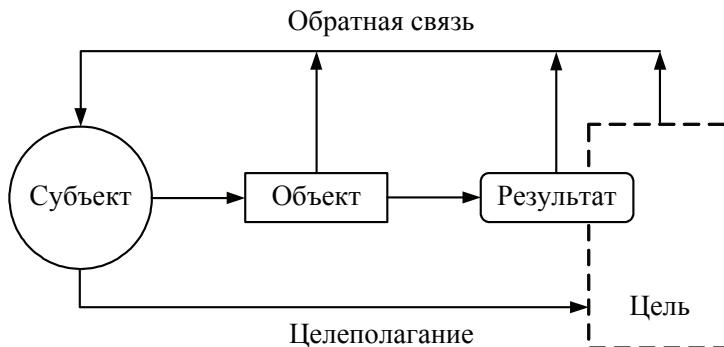


Рис. 1.5. Укрупненный состав системы управления

Менеджмент как сфера деятельности предполагает по отношению к системе и ее частям три уровня решения управленческих задач:

1. Макроуровень (метауправление) включает в себя решение проблем самоорганизации системы управления: задачи идеологии и политики целеполагания, стратегии развития системы управления в целом, определение ее структуры, функций подсистем, кадровой политики высшего менеджмента и т. п.
2. Управление эффективностью взаимодействия субъекта и объекта системы управления, выполнение общих функций управления по отношению к реально поставленным целям, т. е. это по существу технологический аспект управления.

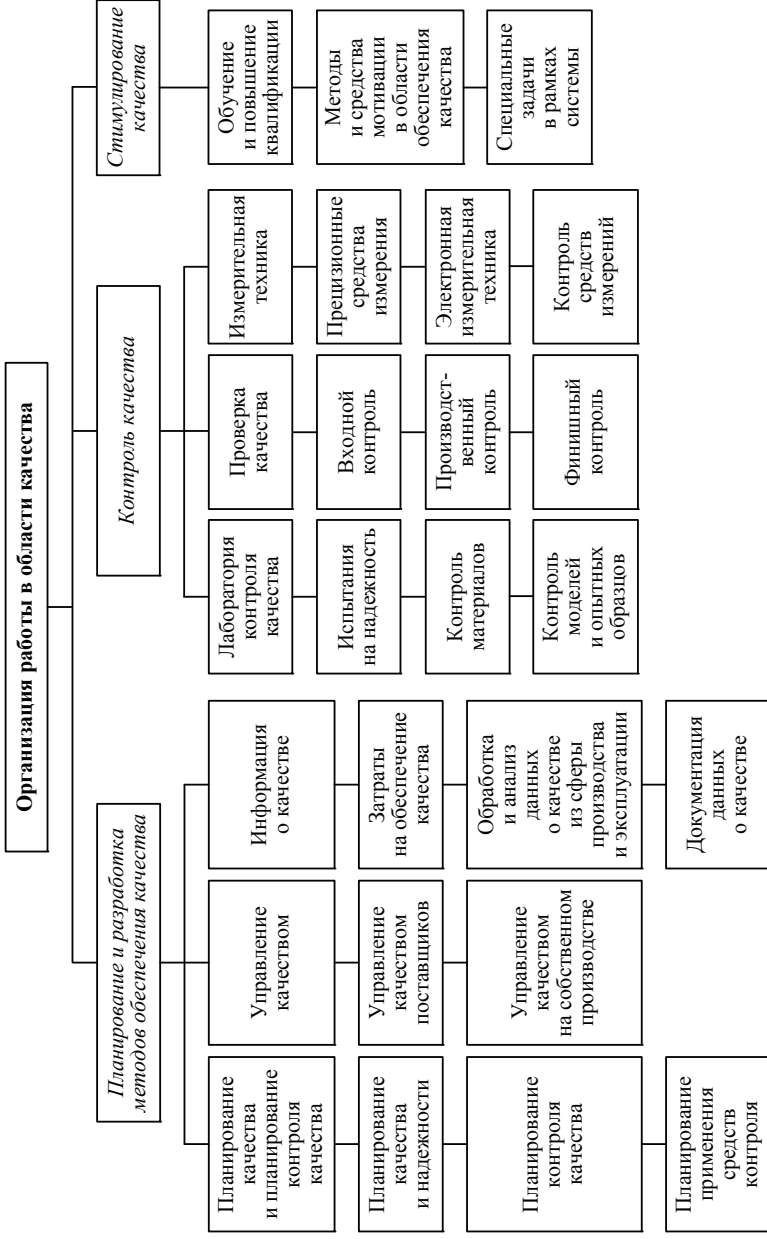


Рис. 1.6. Функции службы качества

3. Управление деятельностью конкретных подсистем управления для достижения целей, лежащих на более низком уровне дерева целей, или, как говорят, выполнение конкретных функций управления.

Отсюда вытекают и основные функции систем управления:

- ◆ макрофункции – выработка миссии (парадигмы, идеологии) существования и развития системы, разработка дерева целей системы управления и критериев их достижения, выработка общей политики поведения системы, разработка структуры системы управления и направлений ее развития, определение функций и иерархии подсистем, обеспечение целостности системы и определение степени автономности подсистем управления, подходы к формированию кадрового потенциала, особенно методы отбора и ротации высшего менеджмента, и т. д.;
- ◆ общие функции управления – предварительное управление (планирование и прогнозирование конкретных параметров системы), оперативное управление (организация, мотивация, координация и регулирование) и заключительное управление, или обратная связь (контроль, учет, анализ);
- ◆ частные функции управления – управление работами по планированию и прогнозированию, управление качеством, управление технической подготовкой производства, организация работы с кадрами, материально-техническим снабжением, технико-экономического анализа и т. д.

Конкретные функции управления тесно связаны со спецификой предприятия и основными сферами его деятельности (общее управление, финансовое управление, производство, НИОКР, маркетинг, управление качеством). Конкретные функции, связанные с организацией управления качеством на крупном предприятии, представлены на рис. 1.6.

1.6. ПЕТЛЯ КАЧЕСТВА, ЦИКЛ ДЕМИНГА

Объектами управления качества продукции являются все элементы, образующие петлю качества. Под петлей качества в соответствии с международными стандартами ИСО понимают замкнутый в виде кольца (рис. 1.7) жизненный цикл продукции, включающий следующие основные этапы: маркетинг; проектирование

и разработку технических требований, разработку продукции; материально-техническое снабжение; подготовку производства и разработку технологии и производственных процессов; производство; контроль, испытания и обследование; упаковку и хранение; реализацию и распределение продукцию; монтаж; эксплуатацию; техническую помощь и обслуживание; утилизацию.

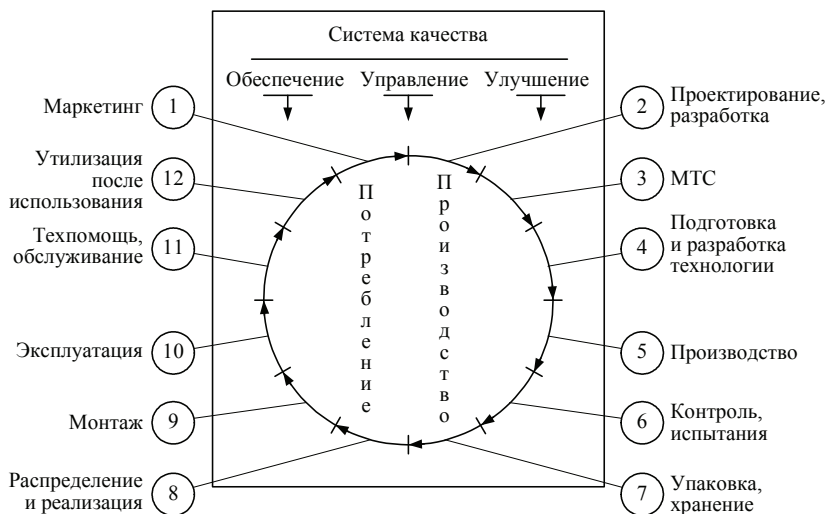


Рис. 1.7. Петля качества

С помощью петли качества осуществляется взаимосвязь изготовителя продукции с потребителем и со всеми объектами, обеспечивающими решение задач управления качеством продукции.

Управление качеством продукции осуществляется циклически и проходит через определенные этапы, именуемые циклом Деминга. Реализация такого цикла называется оборотом цикла Деминга.

Понятие цикла Деминга не ограничивается только управлением качеством продукции, а имеет отношение и к любой управленческой и бытовой деятельности. Последовательность этапов цикла Деминга показана на рис. 1.8 и включает: планирование (Plan); осуществление (Do); контроль (Check); управление воздействием (Action).

В круговом цикле, который мы подсознательно используем в повседневной жизни, заключается сущность реализации так называемых общих функций управления, имея в виду, что эти функции направлены на обеспечение всех условий создания качественной продукции и качественного ее использования.

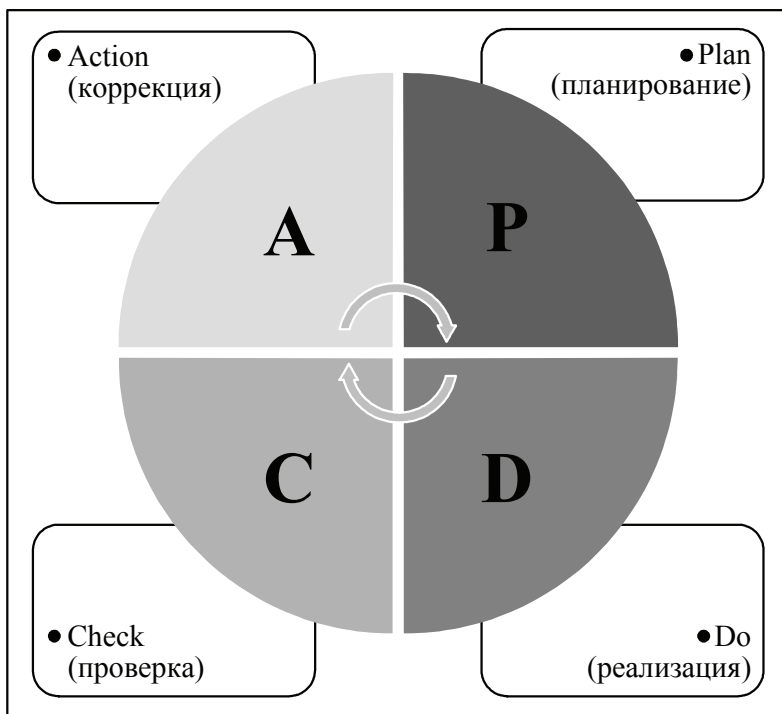


Рис. 1.8. Цикл Деминга

1.7. МЕХАНИЗМ УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ ЭС

Под управлением качеством продукции понимаются действия, осуществляемые при создании, эксплуатации или потреблении продукции в целях установления, обеспечения и поддержания необходимого уровня ее качества.

Непосредственными объектами управления в данном случае являются потребительские характеристики продукции, факторы и условия, влияющие на их уровень, а также процессы формирования качества продукции на разных стадиях ее жизненного цикла. Субъектами управления являются различные органы управления и отдельные лица, функционирующие на различных иерархических уровнях и реализующие функции управления качеством в соответствии с общепринятыми принципами и методами управления [11].

Механизм управления качеством продукции представляет собой совокупность взаимосвязанных объектов и субъектов управления, используемых принципов, методов и функций управления на различных этапах жизненного цикла продукции и уровнях управления качеством. Он должен обеспечивать эффективную реализацию основных функций управления качеством, в число которых входят прежде всего такие, как:

- ◆ прогнозирование потребностей рынка, технического уровня и качества продукции;
- ◆ планирование повышения качества продукции;
- ◆ нормирование требований к качеству продукции и стандартизация;
- ◆ разработка и постановка продукции на производство;
- ◆ технологическая подготовка производства;
- ◆ организация взаимоотношений по качеству продукции между поставщиками сырья, материалов, полуфабрикатов и комплектующих изделий, предприятиями-изготовителями и потребителями продукции;
- ◆ обеспечение стабильности запланированного уровня качества продукции на всех стадиях ее жизненного цикла;
- ◆ контроль качества и испытания продукции;
- ◆ профилактика брака в производстве;
- ◆ внутрипроизводственная аттестация продукции, технологических процессов, рабочих мест, исполнителей и др.;
- ◆ сертификация продукции, работ, услуг, систем качества и производств;
- ◆ стимулирование и ответственность за достигнутый уровень качества;
- ◆ внутрипроизводственный учет и отчетность по качеству продукции;
- ◆ технико-экономический анализ изменения качества продукции;
- ◆ правовое обеспечение управления качеством продукции;
- ◆ информационное обеспечение управления качеством продукции;
- ◆ материально-техническое обеспечение качества продукции;
- ◆ метрологическое обеспечение качества продукции;
- ◆ специальная подготовка и повышение квалификации кадров;

- ◆ организационное обеспечение управления качеством продукции;
- ◆ технологическое обеспечение управления качеством продукции;
- ◆ финансовое обеспечение управления качеством продукции.

Для характеристики механизма управления качеством продукции целесообразно использовать распространенный методологический подход к структуризации сложных хозяйственных систем, предполагающий выделение в составе данного механизма ряда общих, специальных и обеспечивающих подсистем (рис. 1.9). К числу общих подсистем механизма управления качеством продукции необходимо отнести подсистемы прогнозирования и планирования технического уровня и качества продукции, регулирования качества продукции непосредственно в производстве, контроля качества продукции, учета и анализа изменения уровня качества, стимулирования и ответственности за качество.

В состав специальных подсистем механизма управления качеством продукции входят подсистемы стандартизации, испытаний продукции, профилактики брака в производстве, аттестации и сертификации.

Обеспечивающие подсистемы механизма управления качеством продукции включают в свой состав подсистемы правового, информационного, материально-технического, метрологического, кадрового, организационного, технологического и финансового обеспечения управления качеством продукции.

Сущность всякого управления заключается в выработке управленческих решений и последующей их реализации на определенном объекте управления. При управлении качеством продукции непосредственными объектами управления, как правило, являются процессы, от которых зависит качество продукции.

Управляющие решения вырабатываются на основании сопоставления информации о фактическом состоянии управляемого процесса с его характеристиками, заданными программой (прогнозом, планом) управления. Нормативную документацию, регламентирующую значения параметров или показателей качества продукции (технические задания на разработку продукции, стандарты, технические условия, чертежи, условия поставки), следует рассматривать как важную часть программы управления качеством продукции.



Рис. 1.9. Состав механизма управления качеством

Основной задачей каждого предприятия (организации) является повышение качества производимой продукции и предоставляемых услуг. Успешная деятельность предприятия должна обеспечиваться производством продукции или услуг, которые:

- ♦ отвечают четко определенным потребностям, сфере применения или назначения;

- ◆ удовлетворяют требованиям потребителя;
- ◆ соответствуют применяемым стандартам и техническим условиям;
- ◆ отвечают действующему законодательству и другим требованиям общества;
- ◆ предлагаются потребителю по конкурентоспособным ценам;
- ◆ направлены на получение прибыли.

1.8. СУЩЕСТВУЮЩИЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ

Система тотального управления качеством

В круг мероприятий, определенных концепцией качества, наряду с требованиями потребителей поэтапно были введены требования таких групп по интересам предприятия, как инвесторы, сотрудники, поставщики, общественные объединения и общество в целом. Параллельно с этим были предприняты серьезные усилия по интеграции отдельных подходов и методов менеджмента в общую концепцию интегрированного менеджмента. В связи с этим повысилось значение руководства предприятием, ориентированного на процесс [11]. Понятия «Всеобщий менеджмент качества» (TQM) и «Система всеобщего менеджмента качества» (Total Quality Management System (TQMS)) являются отображением этой фазы развития управления качеством.

Тотальное качество – Total Quality (TQ) – ориентированная на людей система менеджмента, целью которой является непрерывное повышение удовлетворенности потребителей при постоянном снижении реальной стоимости продукции или услуг. TQ является общим (тотальным) системным подходом и неотъемлемой частью стратегии верхнего уровня. TQ включает системы, методы и инструменты. Системы подвержены изменениям, философия остается неизменной. TQ базируется на ценностях, которые подчеркивают значимость индивидуальных действий и одновременно мощь коллектива.

Таким образом, TQM – это и всеобъемлющая философия администрирования, и свод инструментов и методов для ее применения. Она же – центральная идея в японском механизме управления качеством. Такая система подразумевает прежде всего *отход от традиционного противопоставления качества продукции и ее ко-*

личества, она исключает возможность снижения качественных характеристик продукции в целях увеличения ее выпуска. В случае необходимости резкого наращивания выпуска изделий (что может диктоваться конъюнктурой рынка) заведомо предполагается выбор любых направлений и мер, кроме тех, которые могут отрицательно сказаться на качестве изделий.

Система «ДЖИТ»

Это новая форма организации «just in time», буквально означающая «производство точно в срок». Ее фундаментальный смысл: *ноль запасов, ноль отказов, ноль дефектов*. Таким образом, ДЖИТ представляет собой технологию, которая подразумевает снижение запаса материалов благодаря подаче деталей на каждый участок производства в тот момент, когда они там нужны. Еще эта технология называется «точно вовремя».

Эта система бросает вызов традиционной организации производства, оказывая особенно сильное влияние на четыре его области:

- ◆ управление материально-техническим снабжением;
- ◆ структуру производственного центра;
- ◆ отношения «поставщик–потребитель»;
- ◆ отношения «управление–непосредственное производство».

В конечном итоге система ДЖИТ направлена на интеграцию и автоматизацию каждой стадии производства, начиная с проектирования и вплоть до гарантийного обслуживания потребителя. Характерные черты этой тенденции – проектирование с учетом возможностей производства, автоматизированное производство и контроль качества с использованием ЭВМ. Фактически специалисты по ДЖИТ выступают даже против его внедрения до тех пор, пока вышеперечисленные требования не будут полностью выполнены.

Комплексная система управления качеством продукции (КСУКП)

Эта система была разработана в СССР в конце 70-х годов XX века на основе обобщения передового опыта в области управления качеством ведущих предприятий и отраслей и документирована в виде системы государственных стандартов. Согласно ГОСТ 15467-79, КСУКП устанавливает, обеспечивает и поддерживает необходимый уровень качества продукции при ее разработке, производстве и эксплуатации, осуществляемый

путем систематического контроля качества и целенаправленного воздействия на условия и факторы, влияющие на качество продукции.

Она является подсистемой по отношению к управлению производственным объединением и промышленным предприятием (ГОСТ 24525.2-80).

Управление качеством продукции необходимо рассматривать как систему условий, процессов и факторов, влияющих на качество и обеспечивающих его запланированный уровень при разработке, производстве, эксплуатации или потреблении изделий.

Многообразие научно-технических, организационных, экономических и социальных проблем, сложный характер связей между ними и, соответственно, сложная система управления качеством требуют повседневного решения большого количества вопросов: управление конструкторской и технологической подготовкой производства, технологическими процессами, технико-экономическим и оперативно-производственным планированием, материально-техническим обеспечением и управление ремонтным, энергетическим и транспортным обслуживанием, управление кадрами, себестоимостью и сбытом продукции, финансово-бухгалтерской деятельностью, совершенствованием организации производства, системами контроля, метрологического обеспечения, морального и материального стимулирования.

1.9. ПЛАНИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ ЭС

Под планированием качества продукции понимается установление обоснованных заданий по ее выпуску с требуемыми значениями показателей качества на заданный момент или в течение заданного интервала времени. Планирование повышения качества должно опираться на научно обоснованное прогнозирование потребностей внутреннего и внешнего рынка. При этом большую роль в правильном обосновании планов повышения качества приобретают использование данных о результатах эксплуатации продукции, обобщение и анализ информации о фактическом уровне ее качества.

Действенность планирования повышения качества должна обеспечиваться тем, что оно осуществляется на разных уровнях управ-

ления и этапах жизненного цикла изделий, включая проектирование, производство и эксплуатацию. Планы повышения качества должны обеспечиваться необходимыми материальными, финансовыми и трудовыми ресурсами, а планируемые показатели и мероприятия по повышению качества тщательно обосновываться расчетами экономической эффективности.

В перечень главных задач планирования повышения качества продукции входят:

- ◆ обеспечение выпуска продукции с максимальным соответствием ее свойств существующим и перспективным потребностям рынка;
- ◆ достижение и превышение технического уровня и качества лучших отечественных и зарубежных образцов;
- ◆ установление экономически оптимальных заданий по повышению качества продукции с точки зрения их ресурсного обеспечения и запросов потребителей;
- ◆ совершенствование структуры выпускаемой продукции путем оптимизации ее типоразмерного ряда;
- ◆ увеличение выпуска сертифицированной продукции;
- ◆ улучшение отдельных потребительских свойств уже выпускаемой продукции (надежности, долговечности, экономичности и др.);
- ◆ своевременная замена, сокращение производства или снятие с производства морально устаревшей и неконкурентоспособной продукции;
- ◆ обеспечение строгого соблюдения требований стандартов, технических условий и другой нормативной документации, своевременное внедрение вновь разработанных и пересмотр устаревших стандартов;
- ◆ разработка и реализация конкретных мероприятий, обеспечивающих достижение заданного уровня качества;
- ◆ увеличение экономической эффективности производства и использование продукции улучшенного качества.

Предметами планирования качества продукции являются в конечном итоге различные мероприятия и показатели, отражающие как отдельные свойства продукции, так и разнообразные характеристики системы и процессов управления качеством. Планирование повышения качества продукции базируется на общих принципах

пах планирования и применении методов планирования. К общим принципам планирования относят:

- ◆ сочетание централизованного руководства с самостоятельностью подразделений;
- ◆ пропорциональность, т. е. сбалансированный учет ресурсов и возможностей предприятия;
- ◆ комплексность (полнота) – взаимоувязка всех сторон деятельности предприятия;
- ◆ детализация – степень глубины планирования;
- ◆ точность – степень допусков и отклонений параметров плана;
- ◆ простота и ясность – соответствие уровню понимания разработчиков и пользователей плана;
- ◆ непрерывность – цельность временного пространства планирования;
- ◆ эластичность и гибкость – возможность использования резервов и учет альтернатив;
- ◆ научность – учет в планировании новейших достижений науки и техники, требований перспективных стандартов, потребностей рынка (как существующих, так и перспективных);
- ◆ экономичность – эффективность плановой деятельности с позиций соотношения (целевой результат)/затраты.

К методам планирования относят:

- ◆ *расчетно-аналитический*, основанный на расчленении выполняемых работ и группировке используемых ресурсов по элементам и взаимосвязям, анализе условий наиболее эффективного их взаимодействия и разработке на этой основе проектов планов;
- ◆ *экспериментальный (опытный)* – проектирование норм, нормативов и моделей подсистем управления предприятием на основе проведения и изучения замеров и опытов, а также учета опыта менеджеров, плановиков и других специалистов;
- ◆ *отчетно-статистический* – разработка проектов планов на основе отчетов, статистики и иной фактической информации, характеризующей реальное состояние и изменение характеристик подсистем управления.

В плановой деятельности по обеспечению необходимого уровня качества применяются и специфические виды работ:

- ◆ анализ требований потребителей;
- ◆ изучение спроса;

- ◆ анализ рекламаций;
- ◆ учет требований перспективных стандартов и результатов НИР;
- ◆ изучение патентной информации;
- ◆ учет изменений требований к сертификации продукции;
- ◆ осуществление плановых расчетов;
- ◆ увязка плановых мероприятий.

Планирование увязывает планы подразделений предприятия с его общей стратегией и оперативными задачами. Задачи планирования – это формирование системы планов и показателей оценки их выполнения.

1.10. ОРГАНИЗАЦИЯ, КООРДИНАЦИЯ И РЕГУЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ

За предварительным управлением, включающим в себя прогнозирование и планирование качества продукции, следует этап оперативного управления, который согласно теории управления состоит из процессов организации, координации, регулирования и мотивации. Эти процессы применительно к управлению качеством основаны на создании условий для:

- ◆ эффективного проведения мероприятий по совершенствованию качества продукции и работ;
- ◆ стабилизации производства, сбыта и послепродажного обслуживания высококачественной продукции;
- ◆ оперативного воздействия на причины возникновения дефектов и устранения брака;
- ◆ использования механизма коллективной и индивидуальной ответственности и стимулирования выпуска продукции высокого качества.

Эти функции реализуются многими методами непосредственного руководства, присущими общему менеджменту, но вместе с тем в управлении качеством существуют и специфические, присущие именно этому виду деятельности, к которым прежде всего относятся стандартизация и сертификация продукции.

В настоящее время существует множество международных организаций, которые осуществляют работу по управлению качеством и способствуют динамичному развитию научно-технических,

экономических, торговых и иных связей между государствами всего мира. Это, в первую очередь, Международная организация по стандартизации (ISO), Международная энергетическая комиссия (IEC), Европейская организация по качеству (EOQ).

На уровне отраслевых министерств существуют специальные подразделения, координирующие работу в области управления качеством в своей отрасли. Государственные и отраслевые органы по управлению качеством имеют региональные центры по осуществлению различных функций – стандартизации, сертификации, метрологии, контроля и т. д.

На предприятиях службы управления качеством, как правило, выделяют организационно, а конкретные организационные формы такой службы зависят от места системы управления качеством в общей системе управления предприятием, масштабов и специфики производства.

На типовом среднем предприятии такую службу возглавляет заместитель директора по качеству (директор по качеству), в подчинении которого находятся подразделения по аналитической работе, связанной с совершенствованием управления качеством, отдел (управление) технического контроля (отдел контроля качества), испытательные и измерительные лаборатории, метрологическая служба.

Организационная работа по управлению качеством на предприятии заключается в выполнении всего комплекса работ, связанных с планированием, осуществлением и контролем деятельности, направленной на совершенствование качества продукции и всех процессов производственно-хозяйственной деятельности.

Необходимо отметить, что функции контроля качества продукции и ее элементов являются составляющими технологических процессов и потому предусматривают соответствующие затраты ресурсов, что существенно влияет на организацию производства этой продукции в целом и на подходы к экономическим расчетам.

Рассмотренная многоуровневая система управления качеством осуществляет работу по всему циклу Деминга в рамках компетенции элементов этой системы с ориентацией на TQM.

На рис. 1.10 показана эволюция функций менеджмента качества.

Из приведенных схем видно, что организационное развитие управления качеством на предприятиях с закономерной последовательностью как расширяло, так и углубляло состав функций управления качеством в системной связи с общим менеджментом предприятий.

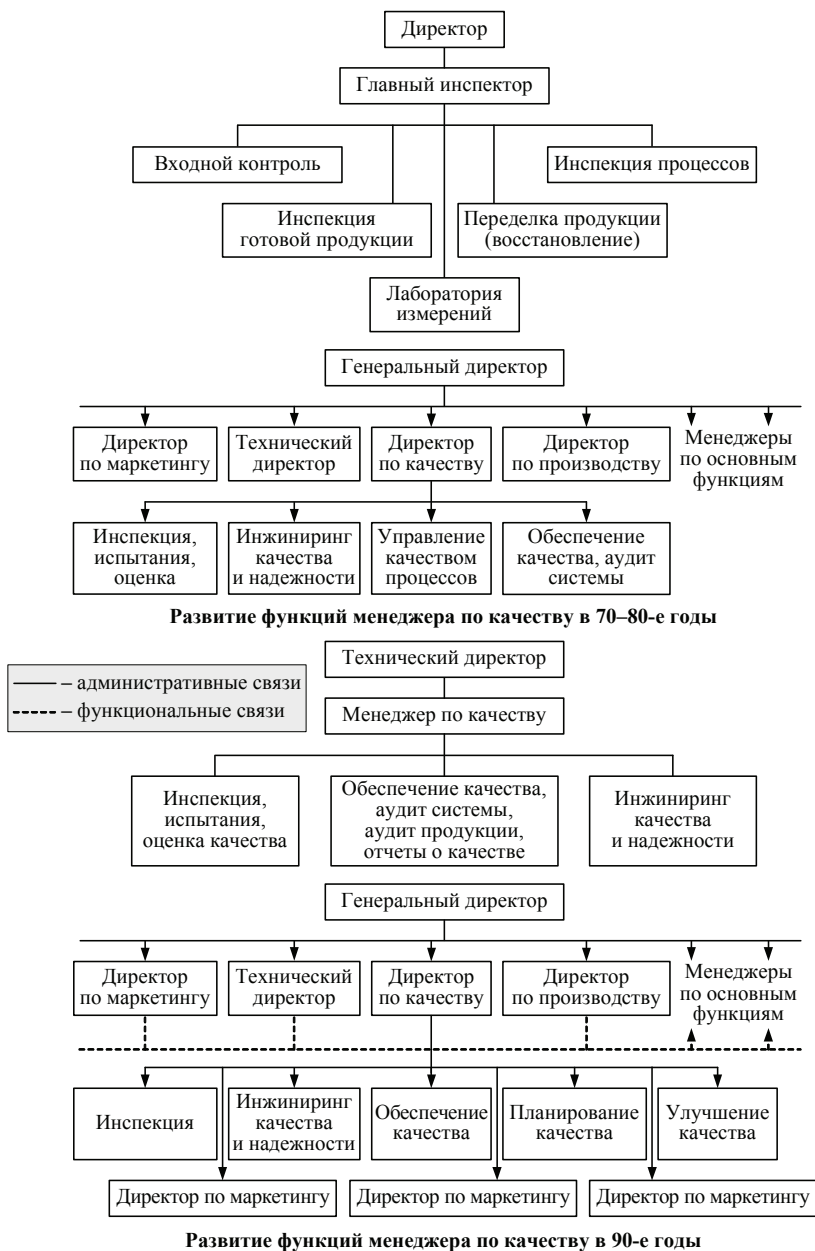


Рис. 1.10. Развитие организационных схем управления качеством и основных функций менеджера по качеству в XX веке

1.11. ОРГАНИЗАЦИЯ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ПРОДУКЦИИ И ПРОФИЛАКТИКА БРАКА

Особое место в управлении качеством продукции занимает контроль качества. Именно контроль как одно из эффективных средств достижения намеченных целей и важнейшая функция управления способствует правильному использованию объективно существующих, а также созданных человеком предпосылок и условий выпуска продукции высокого качества. От степени совершенства контроля качества, его технического оснащения и организации во многом зависит эффективность производства в целом.

Именно в процессе контроля осуществляется сопоставление фактически достигнутых результатов функционирования системы с запланированными. Современные методы контроля качества продукции, позволяющие при минимальных затратах достичь высокой стабильности показателей качества, приобретают все большее значение.

Контроль – это процесс определения и оценки информации об отклонениях действительных значений от заданных или их совпадении и результатах анализа. Контролировать можно цели (цель/цели), ход выполнения плана (цель/бюджет), прогнозы (бюджет/бюджет), развитие процесса (бюджет/есть).

Контрольная информация используется в процессе регулирования. Так, говорят о целесообразности объединения планирования и контроля в единую систему управления (Controlling): планирование, контроль, отчетность, менеджмент.

Контроль осуществляется лицами, прямо или косвенно зависящими от процесса. Проверка (ревизия) – это контроль лицами, не зависящими от процесса.

Процесс контроля должен пройти следующие стадии:

- 1) определение концепции контроля (всеобъемлющая система контроля «Controlling» или частные проверки);
- 2) определение цели контроля (решение о целесообразности, правильности, регулярности, эффективности процесса управления);
- 3) планирование проверки:
 - ◆ объекты контроля (потенциалы, методы, результаты, показатели и т. д.);

- ◆ проверяемые нормы (этические, правовые, производственные);
- ◆ субъекты контроля (внутренние или внешние органы контроля);
- ◆ методы контроля;
- ◆ объем и средства контроля (полный, сплошной, выборочный, ручной, автоматический, компьютеризированный);
- ◆ сроки и продолжительность проверок;
- ◆ последовательность, методики и допуски проверок;
- ◆ определение значений действительных и предписанных;
- ◆ установление идентичности расхождений (обнаружение, количественная оценка);
- ◆ выработка решения, определение его веса;
- ◆ документирование решения;
- ◆ метапроверка (проверка проверки);
- ◆ сообщение решения (устное, письменный отчет);
- ◆ оценка решения (анализ отклонений, локализация причин, установление ответственности, исследование возможностей исправления, меры по устранению недостатков).

Виды контроля различают по следующим признакам:

- 1) по принадлежности субъекта контроля к предприятию:
 - ◆ внутренний;
 - ◆ внешний;
- 2) по основанию для проведения контроля:
 - ◆ добровольный;
 - ◆ по закону;
 - ◆ по уставу;
- 3) по объекту контроля:
 - ◆ контроль за процессами;
 - ◆ контроль за решениями;
 - ◆ контроль за объектами;
 - ◆ контроль за результатами;
- 4) по регулярности:
 - ◆ системный;
 - ◆ нерегулярный;
 - ◆ специальный.

Контроль качества должен подтверждать выполнение заданных требований к продукции, включая в себя:

- ◆ входной контроль (материалы не должны использоваться в процессе без контроля; проверка входящего продукта должна соответствовать плану качества, закрепленным процедурам и может иметь различные формы);
- ◆ промежуточный контроль (организация должна иметь специальные документы, фиксирующие процедуру контроля и испытаний внутри процесса, и осуществлять этот контроль систематически);
- ◆ окончательный контроль (предназначен для выявления соответствия между фактическим конечным продуктом и тем, который предусмотрен планом по качеству; включает в себя результаты всех предыдущих проверок и отражает соответствие продукта необходимым требованиям);
- ◆ регистрация результатов контроля и испытаний (документы о результатах контроля и испытаний предоставляются заинтересованным организациям и лицам).

Особым видом контроля являются испытания готовой продукции. Испытание – это определение или исследование одной или нескольких характеристик изделия под воздействием совокупности физических, химических, природных или эксплуатационных факторов и условий. Испытания проводятся по соответствующим программам. В зависимости от целей существуют следующие основные виды испытаний:

- ◆ предварительные испытания – испытания опытных образцов для определения возможности приемочных испытаний;
- ◆ приемочные испытания – испытания опытных образцов для определения возможности их постановки на производство;
- ◆ приемо-сдаточные испытания – испытания каждого изделия для определения возможности его поставки заказчику;
- ◆ периодические испытания – испытания, которые проводят один раз в 3–5 лет для проверки стабильности технологии производства;
- ◆ типовые испытания – испытания серийных изделий после внесения существенных изменений в конструкцию или технологию.

Для принятия решения о контроле и организации процессов контроля может иметь значение ряд критериев: его эффективность, эффект влияния на людей, задачи контроля и его границы (рис. 1.11).

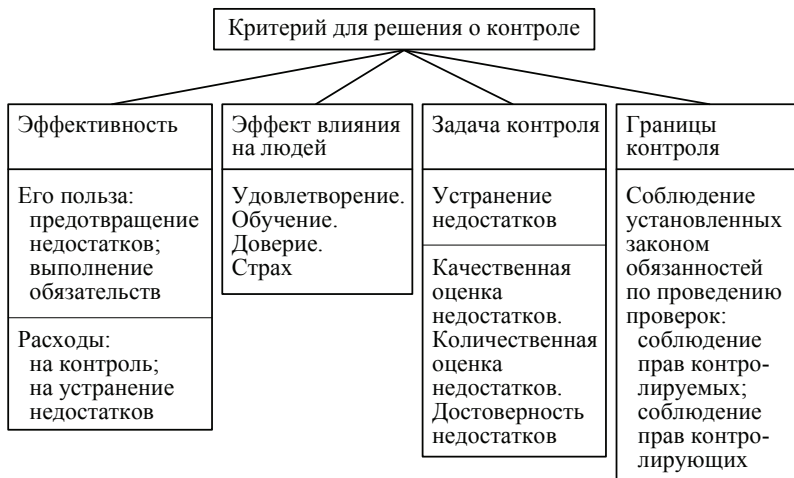


Рис. 1.11. Основные составляющие критерия для решения о контроле

Система контроля качества продукции представляет собой совокупность взаимосвязанных объектов и субъектов контроля, используемых видов, методов и средств оценки качества изделий и профилактики брака на различных этапах жизненного цикла продукции и уровнях управления качеством. Эффективная система контроля позволяет в большинстве случаев осуществлять своевременное и целенаправленное воздействие на уровень качества выпускаемой продукции, предупреждать всевозможные недостатки и сбои в работе, обеспечивать их оперативное выявление и ликвидацию с наименьшими затратами ресурсов. Положительные результаты действенного контроля качества можно выделить и в большинстве случаев определить количественно на стадиях разработки, производства, обращения, эксплуатации (потребления) и восстановления (ремонта) продукции.

Необходимость первоочередного совершенствования деятельности служб технического контроля предприятий определяется их особым местом в производственном процессе. Так, непосредственная близость к контролируемым объектам, процессам и явлениям (во времени и пространстве) создает работникам контрольных служб наиболее благоприятные условия для следующего:

- ♦ разработки оптимальных планов контроля, основанных на результатах длительного наблюдения, анализа и обобщения

информации о качестве исходных компонентов готовой продукции, точности оборудования, качестве инструмента и оснастки, стабильности технологических процессов, качестве труда исполнителей и других факторах, оказывающих непосредственное влияние на качество продукции;

- ◆ предупреждения брака и обеспечения активного профилактического воздействия контроля на процессы возникновения отклонений от требований утвержденных стандартов, технических условий, параметров действующих технологических процессов и др.;
- ◆ своевременного проведения в необходимом объеме всех предусмотренных контрольных операций;
- ◆ целенаправленного оперативного изменения условий функционирования объекта контроля для устранения возникающих сбоев в работе и предотвращения производства и поставки потребителям изделий ненадлежащего качества.

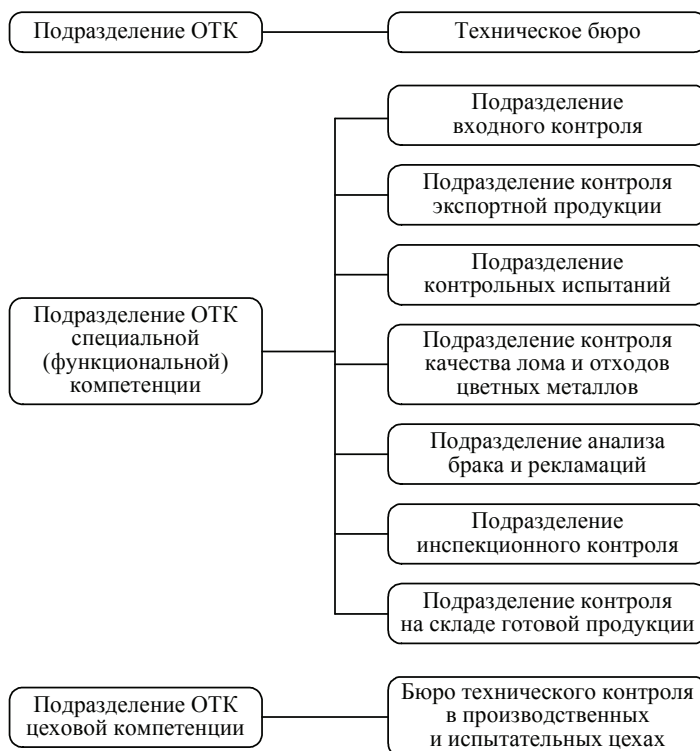


Рис. 1.12. Структурные подразделения ОТК

Необходимо подчеркнуть, что контроль качества, осуществляемый соответствующими подразделениями предприятий, является первичным (предшествующим во времени) по отношению к контролю со стороны других субъектов управления качеством. Это обстоятельство свидетельствует о необходимости первоочередного совершенствования деятельности служб технического контроля на предприятиях. На рис. 1.12 показан типовой состав структурных подразделений отдела технического контроля (ОТК) крупного предприятия.

Операции контроля качества – неотъемлемая составная часть технологического процесса производства изделий, а также их последующей упаковки, транспортировки, хранения и отгрузки потребителям. Без проведения работниками контрольной службы предприятия (цеха, участка) необходимых проверочных операций в процессе производства изделий или по завершении отдельных этапов их обработки последние не могут считаться полностью изготовленными, потому не подлежат отгрузке покупателям. Именно это обстоятельство определяет особую роль служб технического контроля.

1.12. МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА, АНАЛИЗА ДЕФЕКТОВ И ПРИЧИН ИХ ПОЯВЛЕНИЯ

Технический контроль – это проверка соответствия объекта установленным техническим требованиям, составная и неотъемлемая часть производственного процесса. Контролю подвергаются:

- ◆ поступающие на предприятие сырье, материалы, топливо, полуфабрикаты, комплектующие изделия;
- ◆ производимые заготовки, детали, сборочные единицы;
- ◆ готовые изделия;
- ◆ оборудование, оснастка, технологические процессы изготовления продукции.

Основные задачи технического контроля заключаются в обеспечении выпуска качественной продукции, в соответствии со стандартами и ТУ, выявлении и предупреждении брака, проведении мер по дальнейшему улучшению качества изделий.

К настоящему времени сложились разнообразные методы контроля качества, которые можно разбить на две группы:

1. *Самопроверка или самоконтроль* – персональная проверка и контроль оператором с применением методов, установленных технологической картой на операцию, а также с использованием предусмотренных измерительных средств с соблюдением заданной периодичности проверки.
2. *Ревизия (проверка)* – проверка, осуществляемая контролером, которая должна соответствовать содержанию карты контроля технологического процесса.

Организация технического контроля заключается в:

- ◆ проектировании и осуществлении процесса контроля качества;
- ◆ определении организационных форм контроля;
- ◆ выборе и технико-экономическом обосновании средств и методов контроля;
- ◆ обеспечении взаимодействия всех элементов системы контроля качества продукции;
- ◆ разработке методов и систематическом проведении анализа брака и дефектов.

В зависимости от характера дефектов брак может быть исправимым или неисправимым (окончательным). В первом случае изделия после исправления могут быть использованы по назначению, во втором – исправление технически производить невозможно или экономически нецелесообразно. Устанавливаются виновники брака и намечаются мероприятия по его предупреждению. Виды технического контроля показаны в табл. 1.1.

Таблица 1.1

Виды технического контроля

№ п/п	Классификационный признак	Виды технического контроля
1	2	3
1	По назначению	Входной (продукции от поставщиков); производственный; инспекционный (контроль контроля)
2	По стадиям технологического процесса	Операционный (в процессе изготовления); приемочный (готовой продукции)
3	По методам контроля	Технический осмотр (визуальный); измерительный; регистрационный; статистический
4	По полноте охвата контролем производственного процесса	Сплошной; выборочный; летучий; непрерывный; периодический

Продолжение табл. 1.1

1	2	3
5	По механизации контрольных операций	Ручной; механизированный; полуавтоматический; автоматический
6	По влиянию на ход обработки	Пассивный контроль (с остановкой процесса обработки и после обработки); активный контроль (контроль во время обработки и остановка процесса при достижении необходимого параметра); активный контроль с автоматической подналадкой оборудования
7	По измерению зависимых и независимых допустимых отклонений	Измерение действительных отклонений; измерение предельных отклонений с помощью проходимых и непроходимых калибров
8	В зависимости от объекта контроля	Контроль качества продукции; контроль товарной и сопроводительной документации; контроль технологического процесса; контроль средств технологического оснащения; контроль технологической дисциплины; контроль квалификации исполнителей; контроль прохождения рекламаций; контроль соблюдения требований эксплуатации
9	По влиянию на возможность последующего использования	Разрушающий; неразрушающий

1.13. ПРОЦЕССНЫЙ ПОДХОД К РЕАЛИЗАЦИИ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ

Между тем «процессный подход» как концепция известен уже давно как в методологии классического менеджмента, так и в различных его инструментах, таких, например, как структурный анализ сложных систем, реинжиниринг деловых процессов и др.

Менеджмент – это скоординированная деятельность по руководству и управлению организацией. Для успешного руководства и управления организацией необходимо, чтобы менеджмент осуществлялся систематически и наглядным способом.

Одним из ключевых аспектов менеджмента является обеспечение наглядности («прозрачности») объекта управления (организации или системы) посредством его точного, достаточного, лаконичного, удобного для восприятия и анализа описания.

Очевидно, что для сложных систем практически невозможно получить одно единственное описание, отвечающее на все вопро-

сы с точки зрения руководства и управления, пригодное для достижения всех ключевых целей. Являясь по своей природе многогранной по формам и содержанию представления, организация (система) как совокупность взаимосвязанных компонентов может быть описана в виде целого ряда самостоятельных, законченных «проекций», количество которых кроме всего прочего определяется целями менеджмента (рис. 1.13). Например, одна и та же организация может быть представлена как:

- ◆ сеть процессов, с помощью которых организация выполняет свою миссию;
- ◆ совокупность источников и каналов связи потоков информации и типов данных;
- ◆ организационная структура;
- ◆ инфраструктура (территории, здания, сооружения, коммуникации) и т. д.



Рис. 1.13. Многообразие форм проявления объекта («фасетный» подход обеспечения «прозрачности»)

Общепризнанно, что ключевой для целей общего руководства является представление объекта в виде сети процессов, определяющих его миссию. Действительно, каждая организация или система создается для того, чтобы что-то делать (создавать добавленную стоимость). Именно представление объекта в виде процессов определяет все остальные его «проекции».

Процесс описания объекта для целей общего руководства начинают с описания процессов, определяющих миссию, и продолжают до достижения необходимой степени «прозрачности», достаточной для корректного анализа и выработки эффективных управленческих решений

С точки зрения человека, такие системы, как деятельность организации или производственный процесс, описать достаточно трудно, потому что они обладают сложной внутренней структурой и сложным характером взаимодействий между элементами этой структуры. Очень часто невозможность обычными средствами дать простое описание, а следовательно, и обеспечить понимание таких систем делает их проектирование, разработку и поддержание в рабочем состоянии трудоемким и дорогостоящим процессом и повышает степень их ненадежности.

Моделирование предполагает наличие в обязательном порядке установленного набора изобразительных (выразительных) средств и правил – языка описания объекта. Среди наиболее распространенных языков описания и соответствующих им моделей можно выделить следующие:

1. *Вербальная модель* – описание на естественном языке. Например, для стандартизации это наиболее характерная и привычная форма описания объекта. Следует отметить, что этот язык не всегда обеспечивает необходимую «прозрачность» описываемого объекта.
2. *Математическая модель* – описание с помощью средств и правил определенного раздела (разделов) математики. Например, статистическая модель для анализа и прогнозирования технологического процесса, составленная на базе таких разделов математики, как теория вероятности, математическая и прикладная статистика.
3. *Графическая модель* – описание объекта с помощью средств и правил графического изображения. Например, ЕСКД (единая система конструкторской документации) – набор средств и правил получения графического описания объекта, называемого чертежом.

Следует отметить, что нет четких границ между приведенными типами языков описания и соответствующими им моделями. Как правило, каждая модель использует средства и правила других моделей. Например, математическая модель может содержать как элементы вербальной модели (словесное сопровождение), так и элементы графической модели (поясняющие схемы, рисунки и т. п.).

Большинство экспертов по СМК сходятся на том, что наиболее приемлемым способом описания процессов является их графическое представление. В различных документах, посвященных толкованию процессного подхода, изложенного в новой версии стандарта, предлагаются различные варианты для графического представления процессов (рис. 1.14).

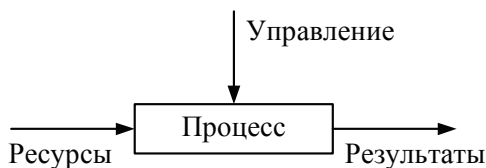


Рис. 1.14. Вариант графического представления процессов

Описание процессов должно отражать не только отдельные процессы, но также взаимосвязи и взаимодействия между процессами. Процессы вместе с взаимосвязями и взаимодействиями представляют собой сеть процессов организации.

Описание сети процессов, составляющих деятельность организации, – это сложная организационно-техническая задача, для решения которой требуются специальные средства описания и анализа.

В методологии функционального моделирования IDEF0 для графического представления процесса используется следующая нотация (рис. 1.15).

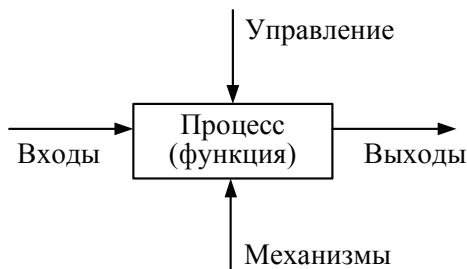


Рис. 1.15. Графическое представление процесса в IDEF0

В соответствии с методологией IDEF0 процесс представляется в виде функционального блока, который преобразует входы в выходы при наличии необходимых ресурсов (механизмов) в управляемых условиях.

Взаимосвязи и взаимодействия процессов в IDEF0 представляются дугами, соединяющими выходы одних функциональных блоков с входами других.

Модель сети процессов в рамках СМК должна отвечать на следующие вопросы:

1. Какие процессы в деятельности организации относятся к системе качества?
2. Какова структура (элементы) этих процессов, включая выходы и потребителей процессов, входы и поставщиков и т. д.?
3. Как процессы взаимодействуют друг с другом?

Для того чтобы функциональная модель сети процессов отвечала на эти и другие вопросы в рамках СК, она должна строиться в соответствии с дополнительными требованиями (помимо тех, которые сформулированы в методологии IDEF0).

Перечень требований, которым должна отвечать функциональная модель процессов, включает следующее:

1. Функциональная модель строится с точки зрения руководства системой качества организации. При таком подходе модель должна включать все процессы и их элементы, влияющие на качество конечной продукции.
2. Функциональная модель должна охватывать все стадии жизненного цикла продукции, относящиеся к сфере деятельности организации.

Для того чтобы функциональная модель удовлетворяла перечисленным требованиям, она должна строиться как модель делового процесса.

Деловой процесс – это совокупность процессов (операций, действий) и взаимодействий между ними, результатом (выходом) которой является продукция и/или услуги, поставляемые потребителям, а входами – материальные, информационные и трудовые ресурсы, поставляемые внешними поставщиками.

Таким образом, функциональная модель делового процесса будет охватывать процессы жизненного цикла, а также связанные с ними вспомогательные процессы и процессы менеджмента, входящие в состав деятельности организации.

К обязательным элементам процессов, составляющих деловой процесс, относятся:

- ◆ документы, содержащие политику, цели организации в сфере менеджмента качества, руководство по качеству;
- ◆ документированные процедуры, в том числе документы, содержащие ответственность сотрудников организации;
- ◆ документация на процессы, необходимая для обеспечения их эффективного планирования, управления и улучшения;
- ◆ записи качества и т. д.

Соответственно, функциональная модель должна содержать все обязательные процессы. Классификация процессов и их объектов с помощью стилей для служб качества является дополнительным мощным инструментом разработки, поддержания в рабочем состоянии и улучшения СМК.

1.14. СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД К РЕАЛИЗАЦИИ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ

В соответствии с идеологией стандартов ИСО серии 9000 можно выделить четыре направления деятельности в области качества, посредством которых система качества воздействует на процесс формирования качества продукции и услуг на различных этапах их жизненного цикла:

- ◆ планирование;
- ◆ управление;
- ◆ обеспечение;
- ◆ улучшение.

Каждое направление деятельности имеет свои особенности, и вместе они представляют собой четыре основных функциональных подсистемы системы качества.

Планирование качества включает в себя деятельность по установлению целей и требований к качеству и применению элементов системы качества. Планирование качества продукции и услуг охватывает идентификацию, классификацию и оценку качества, установление целей и нормирование требований к качеству продукции или процессов. Планирование качества процессов охватывает подготовку программы качества, выработку предложений по улучшению качества, подготовку применения системы качества, включая составление стандартных графиков ее ввода в действие и применения.

Управление качеством включает в себя методы и виды деятельности оперативного характера, используемые для выполнения требований к качеству. В состав процедур управления качеством входят контроль качества, разработка и реализация мер по корректировке процессов. Основное назначение управления качеством в организации – выявлять каждое отклонение от установленных требований к качеству продукции и услуг, применять решения по дальнейшему использованию продукции, имеющей отклонения или дефекты, не допускать появления повторных отклонений или дефектов за счет своевременной разработки и реализации корректирующих мер.

Обеспечение качества включает в себя все планируемые и систематически осуществляемые виды деятельности в рамках системы качества, необходимые для создания и подтверждения достаточной уверенности в том, что продукт, процесс или услуга удовлетворяют установленным требованиям к качеству.

Различают:

- ◆ внутреннее обеспечение качества (деятельность по созданию уверенности в выполнении требований к качеству продукции или услуг у руководства организации);
- ◆ внешнее обеспечение качества (деятельность по созданию такой уверенности у потребителя или других лиц, например экспертов-аудиторов систем качества, государственных инспекторов по качеству и т. д.).

В состав процедур по обеспечению качества входят внутренние проверки системы качества и другие предупреждающие действия, предусмотренные стандартами ИСО серии 9000 или разработанные по инициативе самой организации исходя из специфики продукции и производственных процессов.

Улучшение качества включает в себя все мероприятия, осуществляемые в организации в целях повышения эффективности и результативности деятельности и процессов для получения прибыли организации и выгоды потребителей.

1.15. СЕМЬ ОСНОВНЫХ ИНСТРУМЕНТОВ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА

Главный принцип TQM: в основе принятия решений должны быть только факты. Поэтому сбор и обработка фактов – важнейший процесс управления качеством.

Выделяют следующие основные методы обработки статистических данных:

- 1) контрольный листок;
- 2) гистограмма;
- 3) диаграмма разброса;
- 4) диаграмма Парето;
- 5) расслоение (стратификация);
- 6) причинно-следственная диаграмма;
- 7) контрольная карта.

Отметим, что это инструменты познания, а не управления. Основное их назначение – контроль протекающего процесса.

Статистические методы контроля качества нашли применение не только в производстве, но и в планировании, проектировании, маркетинге, материально-техническом снабжении и др.

Очень важно: прежде чем собирать данные, необходимо решить, что с ними делать. Обычно цели сбора данных в процессе контроля качества состоят в следующем:

- ◆ контроль и регулирование процесса;
- ◆ анализ отклонений от установленных требований;
- ◆ контроль выхода процесса.

Любые данные имеют свое назначение, поэтому важны форма и содержание данных. Если, например, возник вопрос о вариации качества изделия в течение дня, то необходимо собирать несколько данных. Если требуется понять дефекты, допускающиеся разными работниками, то необходимо собирать данные по каждому из них.

Подобное разделение данных называют стратификацией (расслоением). Необходимо, чтобы расслоение стало постоянным в контроле качества.

Если необходимо узнать, влияет ли содержание ингредиента на твердость продукта, то данные следует собирать парами. Их анализируют с помощью диаграмм рассеивания.

Когда данные собраны, для их анализа используют различные статистические методы, превращающие данные в источник информации. Данные необходимо собирать так, чтобы облегчить их последующую обработку. Для этого надо:

- ◆ зарегистрировать источник данных (день недели, время, оборудование, рабочий, партия используемых материалов и т. п.);
- ◆ регистрировать данные так, чтобы их было легко использовать, например данные, проводимые 4 раза в день в течение 14 дней, удобнее регистрировать в следующей форме (табл. 1.2).

Таблица 1.2

Зарегистрированные данные

Дата	9.00	11.00	14.00	17.00
15 февраля	12,3	11,5	13,2	14,2
16 февраля	13,2	12,5	14,0	14,0
17 февраля	14,5	15,5	16,3	17,5
...				
29 февраля				

Контрольный листок

Контрольный листок – это инструмент для сбора данных и автоматического их упорядочения для облегчения использования собранной информации. Контрольный листок – это бланк, на котором отпечатаны контролируемые параметры.

Гистограмма

Гистограмма – это инструмент, позволяющий зрительно оценить закон распределения статистических данных. Кроме гистограммы часто используют полигон и кумулятивную кривую.

Полигон, как правило, используют для отображения дискретных изменений случайной величины (рис. 1.16).

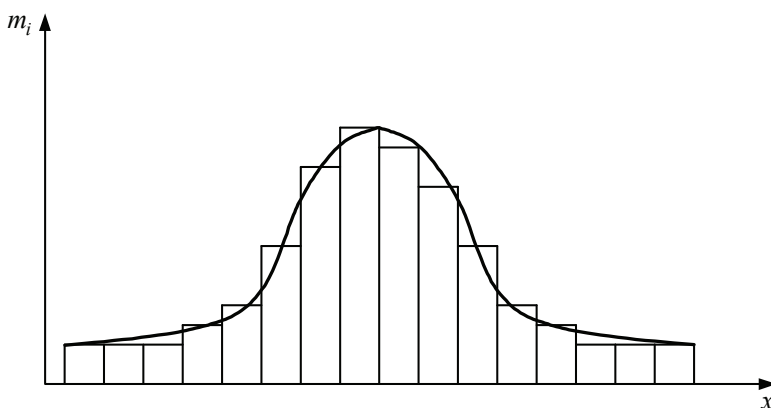


Рис. 1.16. Гистограмма

Если на гистограмме нанести полигон, то по мере роста числа замеров одновременно уменьшается ширина класса, и полигон

превращается в кривую плотности вероятностей. Отметим, что площадь, ограниченная полигоном и осью X (если по оси m_i отложены относительные частоты), стремится к 1.

Часто стоит задача: выяснить, соответствует ли экспериментальное распределение нормальному. Для этого строят кумулятивную кривую (рис. 1.17). Достоинством кумулятивной кривой перед гистограммой является более плавный характер ее изменения, так как накопление частот приводит к сглаживанию кривой.

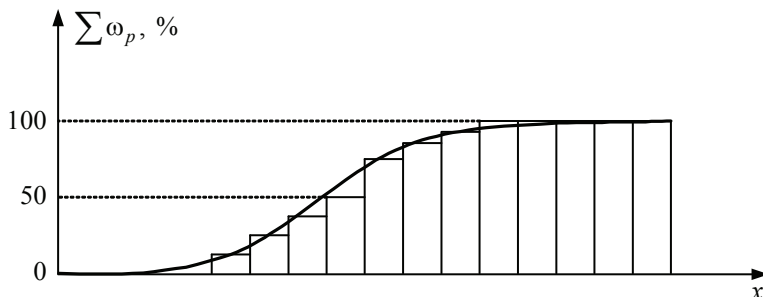


Рис. 1.17. Кумулятивная кривая

На практике график строят на специальной бумаге, которую называют нормальной вероятностной. Берут значения частот, соответствующие одно-, двух- и трехкратному отклонению X от среднего, и наносят на бумагу. Это составляет 6 точек (3 значения больше M_e и 3 – меньше).

Если точки хорошо ложатся на нормальную кривую, изображенную на бумаге, то можно говорить о соответствии экспериментального распределения нормальному распределению. Когда определено распределение, тогда можно найти \bar{x} и S . Это важно для оценки расположения границ поля допуска с реальным разбросом значений.

Диаграмма разброса (рассеивания)

Диаграмма разброса – инструмент, позволяющий определить вид и тесноту связи между парами соответствующих переменных. Эти переменные могут относиться к:

- ◆ характеристике качества и влияющему на нее фактору;
- ◆ двум различным характеристикам качества;
- ◆ двум факторам, влияющим на одну характеристику качества.

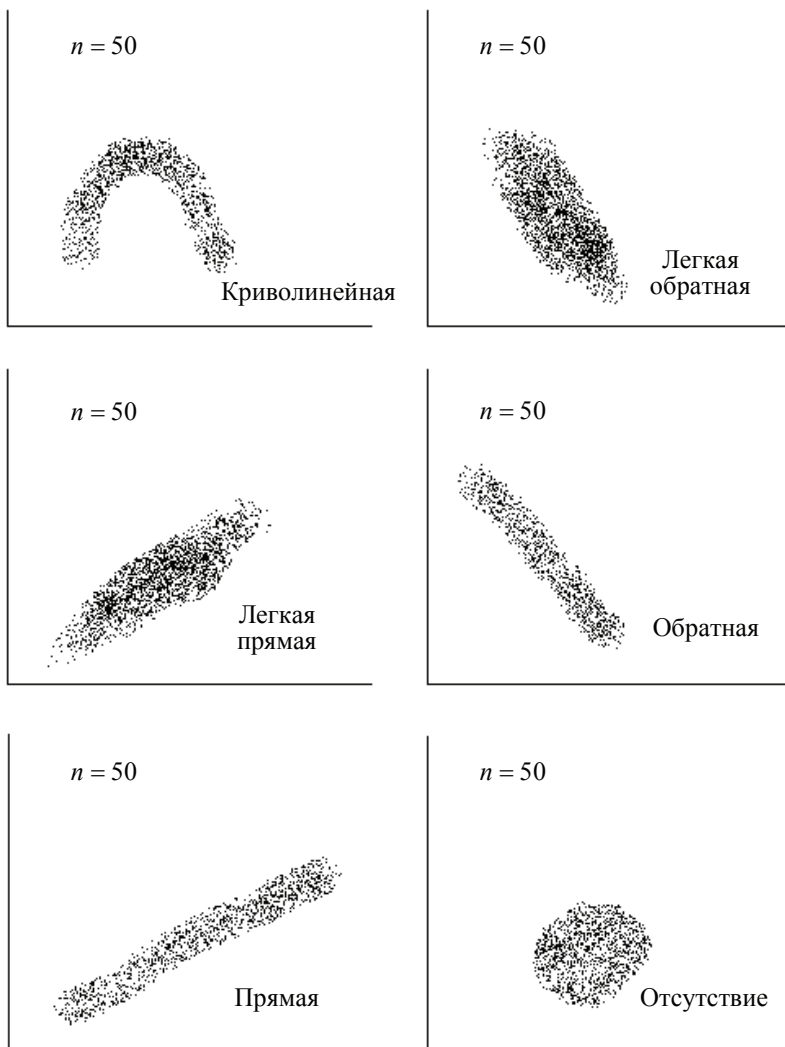


Рис. 1.18. Различные варианты линейной, нелинейной корреляции

Построение диаграммы:

1. Собрать парные данные (x, y) (не менее 25) в таблицу.
2. Найти максимальные и минимальные значения для x и y .
Выбрать шкалы на горизонтальной и вертикальной оси так,

чтобы длины Δx и Δy были примерно равны (это облегчает чтение диаграммы). Взять по каждой оси от 3 до 10 градаций (лучше целые).

3. На отдельном листе нанести график. Если исследуется влияние фактора на показатель качества, то фактор располагают по оси абсцисс, а показатель – по оси ординат.
4. Нанести на график все необходимые данные:
 - ◆ название диаграммы;
 - ◆ интервал времени;
 - ◆ число пар данных;
 - ◆ название и единицы измерения для каждой оси;
 - ◆ имя оператора, который сделал диаграмму.

Примеры диаграмм приведены на рис. 1.18.

С помощью диаграммы разброса удобно наблюдать характер изменения параметров качества во времени при воздействии различных факторов. В этом случае по оси X откладывают начальные значения изучаемого параметра качества, а по оси Y – значения того же параметра в конечный момент времени. Тогда значение параметра качества до и после эксперимента будет обозначено точкой на координатной плоскости.

Такая диаграмма разброса позволяет наглядно показать характер изменения параметра во времени. Если провести биссектрису и все точки лягут на нее, то процесс стационарен. Если точки преимущественно лягут выше биссектрисы, то значения параметра увеличились. Если – ниже биссектрисы, то значения параметра уменьшились (рис. 1.19).

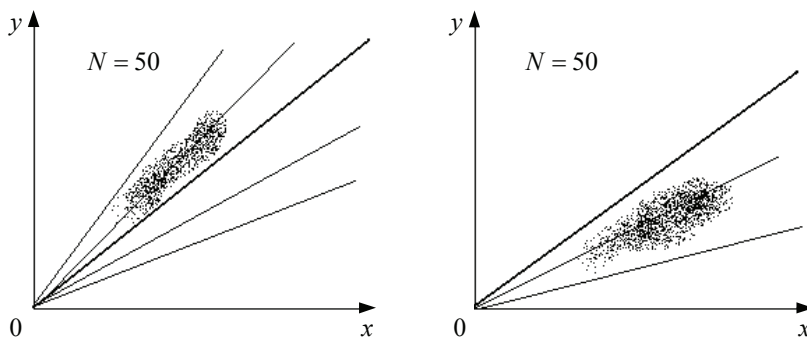


Рис. 1.19. Диаграмма разброса, используемая для выявления причинно-следственных связей

Отметим, что коэффициент корреляции вычисляют в соответствии с теорией вероятностей.

1.16. МЕТОД РАССЛАИВАНИЯ ДАННЫХ (СТРАТИФИКАЦИИ)

Метод расслаивания статистических данных – это инструмент, позволяющий произвести селекцию данных, отражающую требуемую информацию о процессе.

В этом методе данные делят на группы в соответствии с их особенностями. Группы часто называют слоями (стратами), отсюда и название.

В производственных процессах используют метод, называемый 5М: человек (man), машина (mashine), материал (material), метод (method), измерения (measurement).

В соответствии с методом расслаивание осуществляют так:

- 1) по исполнителям:
 - ◆ по квалификации;
 - ◆ по полу;
 - ◆ по стажу работы и т. п.;
- 2) по машинам и оборудованию:
 - ◆ по новому и старому;
 - ◆ по марке;
 - ◆ по выпускающей фирме;
 - ◆ по конструкции и т. д.;
- 3) по материалу:
 - ◆ по месту производства;
 - ◆ по фирме-производителю;
 - ◆ по партии;
 - ◆ по качеству сырья и т. д.;
- 4) по способу производства:
 - ◆ по температуре;
 - ◆ по технологии;
 - ◆ по месту производства и т. д.;
- 5) по измерению:
 - ◆ по методу измерения;
 - ◆ по типу измерительных средств;
 - ◆ по точности измерительных средств и т. д.

В результате расслаивания необходимо, чтобы:

- ◆ различия между значениями случайной величины должны быть как можно меньше по сравнению с различием ее значений в нерасслоенной совокупности;
- ◆ различие между слоями должно быть как можно больше.

Диаграмма Парето

Диаграмма Парето – это инструмент, позволяющий распределить усилия для разрешения возникающих проблем и выявить основные причины, с которых нужно начинать действовать.

Различают два вида диаграмм Парето:

- 1) диаграмма Парето по результатам деятельности. Эта диаграмма предназначена для выявления главной проблемы и отражает следующие нежелательные результаты деятельности:
 - ◆ качество: дефекты, поломки, ошибки, отказы, рекламации, ремонт, возврат продукции;
 - ◆ себестоимость: объем потерь, затраты;
 - ◆ сроки поставок: нехватка запасов, ошибки в составлении счетов, срыв сроков поставок;
 - ◆ безопасность: несчастные случаи, трагические ошибки, аварии;
- 2) диаграмма Парето по причинам. Эта диаграмма отражает причины проблем, возникающих в ходе производства, и используется для выявления главной из них:
 - ◆ исполнитель работы: смена, бригада, возраст, опыт работы, квалификация, индивидуальные характеристики;
 - ◆ оборудование: агрегаты, инструменты, оснастка, организация использования, модели, штампы;
 - ◆ сырье: изготовитель, вид сырья, завод-поставщик, партия;
 - ◆ метод работы: условия производства, заказы, наряды, приемы работы, последовательность операций;
 - ◆ измерения: точность (указаний, чтения, приборная), верность и повторяемость (умение дать одинаковое указание в последующих измерениях одного и того же значения), стабильность (повторяемость в течение длительного периода), совместная точность (приборная и тарированная), тип измерительного прибора (аналоговый или цифровой).

Построение диаграммы Парето начинают с классификации возникающих проблем по отдельным факторам (брак, некачественная

работа оборудования, исполнителей и т. п.). Затем производят сбор и анализ статистического материала по каждому фактору, чтобы выяснить, какие из этих факторов являются превалирующими при решении проблем.

Диаграмму строят в прямоугольной системе координат. По оси абсцисс откладывают равные отрезки, соответствующие рассматриваемым факторам, а по оси ординат – величину их вклада в решаемую проблему. При этом порядок расположения факторов должен быть таков, чтобы влияние их убывало. Суммируя высоты всех столбцов диаграммы, получают диаграмму Парето. Приведем в качестве примера диаграмму Парето, выражающую вклады в дефект готовых интегральных схем (рис. 1.20).

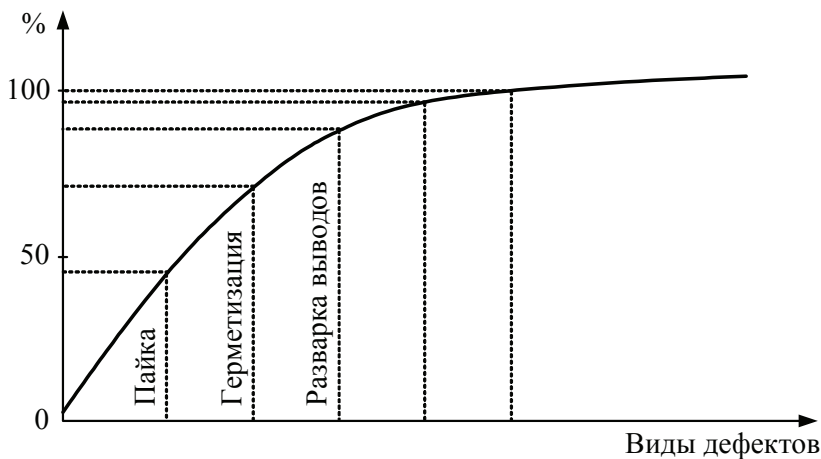


Рис. 1.20. Диаграмма Парето

Причинно-следственная диаграмма (диаграмма Исикавы)

Диаграмма Исикавы – это инструмент, позволяющий выявить наиболее существенные факторы, влияющие на конечный результат.

Диаграмма Исикавы – диаграмма, которая показывает отношение между показателем качества и воздействующими на него факторами.

Рассмотрим причинно-следственную диаграмму (ПСД) на примере производственного процесса (рис. 1.21).

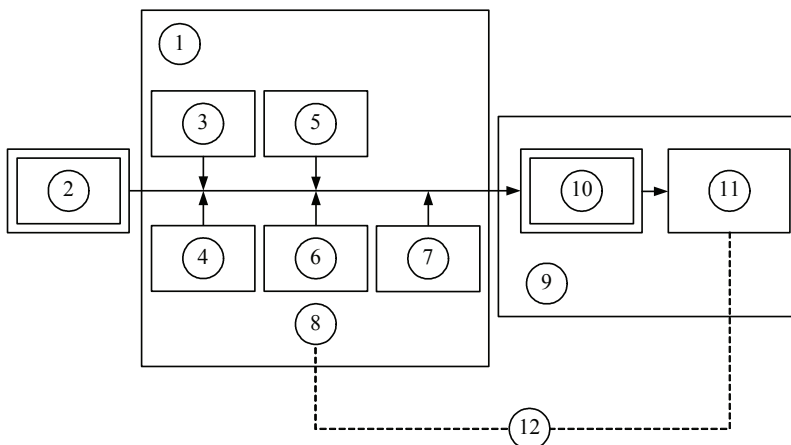


Рис. 1.21. Причинно-следственная диаграмма:

- 1 – система причинных факторов, приводящих к дефектам;
- 2 – основные факторы производства, обеспечивающие появление идеального продукта; 3 – материалы; 4 – операторы; 5 – оборудование;
- 6 – методы операций; 7 – измерения; 8 – процесс управления качеством;
- 9 – следствие – появление реального продукта; 10 – параметры качества продукции; 11 – показатели качества; 12 – адаптивное управление

Недостатком диаграммы, представленной на рис. 1.21, является отсутствие градации имеющихся факторов на параметры качества. Этим недостатком лишена причинно-следственная диаграмма, представленная на рис. 1.22. На этом виде диаграммы возможно ранжирование факторов по величине вклада в дефект.

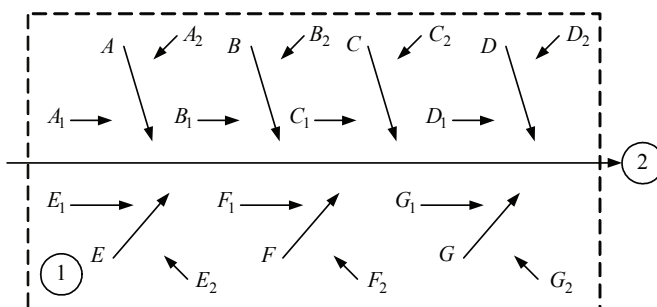


Рис. 1.22. Причинно-следственная диаграмма с ранжированием причин по величине вклада («рыбная кость»):

- 1 – система причинных факторов; 2 – система показателей качества;
- A, B, C, D, E, F, G – причины 0-го уровня;
- A₁, B₁, ..., G₁ – причины 1-го уровня; A₂, B₂, ..., G₂ – причины 2-го уровня

Отметим, что причины 1-го уровня A_1, B_1, \dots, G_1 для A, B, \dots, G являются следствием для причин A_2, B_2, \dots, G_2 и т. д. Это позволяет весь процесс управления качеством разделить на все возможные составляющие и потому полностью выполнить анализ.

Контрольные карты

Контрольные карты – это инструмент, позволяющий отслеживать ход протекания процесса и воздействовать на него (с помощью соответствующей отрицательной обратной связи), предупреждая его отклонения от предъявляемых к процессу требований.

Контрольные карты – специальный вид диаграммы, впервые предложенный В. Шухартом в 1924 г. Они отображают характер изменения показателя качества во времени, например стабильности получения размера изделия. По существу, контрольные карты показывают стабильность технологического процесса, т. е. нахождение среднего значения параметра в коридоре допускаемых значений, состоящего из верхней и нижней границы допуска. Данные этих карт могут сигнализировать о том, что параметр приближается к границе допуска и необходимо принимать упреждающие действия до того, как параметр выйдет в зону брака, т. е. такой метод контроля позволяет предупреждать появление брака еще на стадии его зарождения.

Существуют 7 основных типов карт:

1. Отклонения среднеквадратичного отклонения среднего значения $x - S$.
2. Отклонения размахов $x - R$.
3. Отклонения индивидуальных значений x .
4. Колебания числа дефектов C .
5. Колебания числа дефектов на единицу продукции u .
6. Колебания числа дефектных единиц продукции p_n .
7. Колебания доли дефектной продукции p .

Все карты можно разбить на две группы. Первая контролирует количественные параметры качества, представляющие собой непрерывные случайные величины – размеры, масса и т. д. Вторая предназначена для контроля качественных альтернативных дискретных параметров (есть дефект – нет дефекта) (табл. 1.3).

Примеры контрольных карт x - и R -типа представлены на рис. 1.23–1.24 соответственно.

Таблица 1.3

Типы контрольных карт

Карты количественные			Карты качественные			
			Число дефектов в выборке		Число дефектных изделий	
$x - S$	$x - R$	x	C	u	p_n	p
n большое	n малое	$n = 1$	n постоянное	n разное	n постоянное	n разное

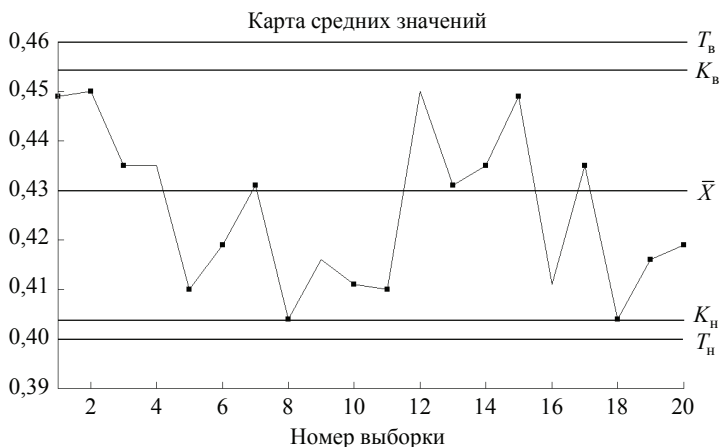


Рис. 1.23. Карта средних значений

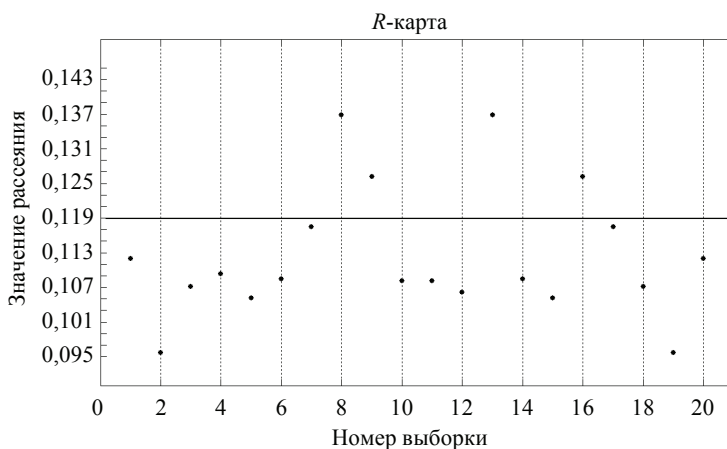


Рис. 1.24. R-карта

1.17. ОСНОВЫ СТАТИСТИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПРОИЗВОДСТВА ЭС

Общие сведения

Статистический контроль является основной частью управления качеством. Существует множество различных видов статистического контроля, поэтому необходимо дать определение основных его видов.

Статистический контроль может вестись на основе анализа или среднего, или среднеквадратичного отклонения, или того и другого. Поэтому необходимо выполнить методическое обоснование контроля по указанным статистикам. При этом важное значение имеет нахождение объема выборки для минимизации расходов на контроль.

Виды статистического контроля

Контроль изделий, изготовленных в промышленном производстве, должен быть организован так, чтобы при налаженном производстве принималось максимальное их количество.

На промышленном предприятии получили распространение следующие виды контроля (ГОСТ 16504-70):

- ◆ входной контроль, способствующий исключению дефектных комплектующих изделий, деталей, материалов;
- ◆ операционный контроль, включающий контроль продукции после завершения очередной технологической операции;
- ◆ приемочный контроль, предусматривающий контроль готовой продукции.

Перечисленные виды контроля могут быть или сплошными, или выборочными. Сплошной контроль предусматривает контроль каждой единицы продукции. При выборочном контроле проверке подвергаются выборки, производимые из большой партии изделий. Основная идея выборочного статистического контроля заключается в том, что о партии изделий судят по выборочным статистическим характеристикам выборки.

Контроль технологического процесса с помощью среднего значения выборки

Общие сведения. Средняя арифметическая \bar{x} характеризует степень отлаженности технологического процесса. Поэтому она является важной характеристикой при контроле параметров качества.

По значению \bar{x} можно сделать вывод, имеет ли место нарушение технологического процесса. Для этого устанавливают допустимые границы изменения значений параметра, которые обозначают через ε . При этом возможны следующие случаи в отношении параметров нормального распределения:

- 1) $M(x)$ и σ известны;
- 2) $M(x)$ известно, а σ неизвестно и др.

Установление двустороннего критерия для среднего значения \bar{x} , когда $M(x)$ и σ известны. Постановка задачи. Задано: распределение X , вероятность попадания \bar{x} в заданный интервал. Найти: ε – границы изменения \bar{x} .

В соответствии с теоремой Ляпунова,

$$\varepsilon = Z\sigma_x,$$

где

$$Z = 1/\sigma_x (M(x) - \bar{x}); \sigma_x = \sigma/\sqrt{n},$$

где n – размер выборки.

Величину ε находят из следующего соотношения:

$$P(M(x) - \varepsilon \leq \bar{x} \leq M(x) + \varepsilon) = 1 - \alpha = 2\Phi(Z),$$

где α – уровень значимости. Его обычно принимают равным 0,05; 0,01; 0,005; 0,001. По значению $(1 - \alpha)$ находят Z из функции Лапласа, а затем и ε .

Установление двустороннего критерия для среднего значения \bar{x} , когда $M(x)$ известно, а σ неизвестно. Постановка задачи аналогична предыдущей.

Решение состоит в определении ε из соотношения

$$P(M(x) - \varepsilon \leq \bar{x} \leq M(x) + \varepsilon) = 1 - \alpha = F(Z_2) - F(Z_1).$$

Возможны два случая:

1. $n \leq 10$. Тогда вероятность попадания \bar{x} в заданный интервал может быть описана распределением Стьюдента (Госсета). Напомним, что распределение Стьюдента получают построением случайной величины

$$T = (\bar{x} - M(x)) / S_n,$$

где S_n – среднее квадратическое отклонение по экспериментальной выборке (для малой мощности выборки).

Тогда вероятность распределения имеет вид

$$S(t, n) = B_n \left(1 + t^2 / (n-1)\right)^{-n/2};$$

$$B_n = \Gamma(n/2) / (n(n-1) \cdot \Gamma((n-1)/2)).$$

Распределение Стьюдента с увеличением n быстро стремится к нормальному. В этом случае

$$\varepsilon = t_T S_x; \quad S_x = S/n; \quad S = 1/(n-1) \sum (\bar{x} - x_i)^2,$$

где x_i – текущее значение.

Задавшись $(1-\alpha)$, по графику функции Стьюдента находят t_T , итерационно решают уравнение $(1-\alpha) = T(t_T)$ и далее находят ε по t_T .

2. $n > 10$. Вероятность попадания \bar{x} в заданный интервал может быть описана нормальным распределением. Тогда

$$\varepsilon = Z \sigma_x; \quad Z = (M(x) - \bar{x}) / S_x; \quad S_x = S/n,$$

S – то же, что и в предыдущем случае. Задавшись $(1-\alpha)$, по функции Лапласа находят Z , а затем и ε .

Определение неизвестной генеральной средней по выборочной средней. Постановка задачи. Известны: генеральная совокупность распределена нормально, $M(x)$ и σ неизвестны.

Требуется определить с заданной вероятностью $1-\alpha$, что $M(x)$ принадлежит интервалу $\bar{x} - \varepsilon \leq M(x) \leq \bar{x} + \varepsilon$, т. е.

$$P(\bar{x} - \varepsilon \leq M(x) \leq \bar{x} + \varepsilon) = 1 - \alpha.$$

Возможны два случая:

1. $n \leq 10$. В этом случае необходимо использовать распределение Стьюдента. Тогда $\varepsilon = t_T S/n$. По таблице для функции

Стьюдента можно найти t_T , которое соответствует уравнению $1 - \alpha = T(t_T)$.

2. $n > 10$. В этом случае необходимо использовать нормальное распределение: $\varepsilon = ZS/n$. По функции Лапласа из соотношения $(1 - \alpha) = 2\Phi(Z)$ находят Z , а затем ε .

Сравнение однородных средних. Предположим, что на двух технологических установках выпускают однотипные изделия. Возьмем выборку объемом n_1 с первой установки и выборку объемом n_2 – с другой. Предположим, что первый ряд наблюдений дал среднюю арифметическую \bar{x}_1 , а второй – \bar{x}_2 . Если окажется, что они отличны, то важно установить: является ли эта разность случайной и несущественной или нет.

Возможны два случая:

1. $n \leq 10$. Тогда распределение можно описать распределением Стьюдента:

$$t_T = (|\bar{x}_1 - \bar{x}_2|) / S_x; \quad S_x = Sn_1 + n_2 / n_1 \cdot n_2;$$

$$S = 1 / (n_1 + n_2 - 2) \left(\sum (\bar{x}_1 - x_i)^2 \right).$$

Найдя t_T , можно подсчитать вероятность $P = T(t_T)$.

2. $n > 10$. В этом случае необходимо воспользоваться нормальным распределением

$$Z = (|\bar{x}_1 - \bar{x}_2|) / S_x,$$

S_x – находится так же, как и в предыдущем случае. Найдя Z , подсчитывают вероятность расхождения $P = \Phi(Z)$ и решают, значимо ли оно.

Контроль технологического процесса с помощью стандартного отклонения. Оценка σ по \bar{S} . Величина стандартного отклонения характеризует качество настройки технологического процесса и качество изделий.

На практике распространенной ошибкой является необоснованная замена неизвестного стандартного отклонения генеральной совокупности S_T выборочным стандартным отклонением S_B .

Стандартное отклонение S одной выборки, особенно при малом ее объеме, не может считаться пригодным значением оценки S_T , так как средняя \bar{x} , используемая при вычислении S , является

выборочной средней, а не математическим ожиданием. Поэтому \bar{S} из выборок не идентична S_T . Обозначим $S_T = \sigma$ и $C_2 = \bar{S}/\sigma$. Отклонение генеральной совокупности приближается к 1 при $n \rightarrow \infty$.

Коэффициент C_2 используют для оценки σ по \bar{S} , т. е.

$$\sigma = \bar{S}/C_2.$$

Значения C_2 зависят от объема выборок и приведены в соответствующих таблицах. Учитывая, что необходимо использовать исправленное S , получим

$$S = \bar{S} \cdot n / (n - 1); \sigma = (S(n - 1)) / C_2 \cdot n.$$

Для интервальной оценки σ используем распределение χ^2 . Тогда

$$P(\bar{S} - \varepsilon \leq \sigma \leq \bar{S} + \varepsilon) = P(\chi_2^2) - P(\chi_1^2),$$

где $P(\chi_2^2)$, $P(\chi_1^2)$ – вероятности, определяемые по распределению Пирсона (χ^2):

$$\chi_2^2 = \gamma \bar{S}^2 / (\bar{S} + \varepsilon)^2; \chi_1^2 = \gamma \bar{S}^2 / (\bar{S} - \varepsilon)^2; \gamma = n - k; N = nk.$$

Если выборка одна, то $\gamma = N - 1$; $N = n$; $\bar{S} = S$.

Разделив неравенство на \bar{S} , получим

$$P\left(\frac{\bar{S} - \varepsilon}{\bar{S}} \leq \sigma / \bar{S} \leq \frac{\bar{S} + \varepsilon}{\bar{S}}\right) = P.$$

Оценка σ по \bar{R} . В связи с тем что вычисление стандартного отклонения S связано с некоторыми трудностями, в качестве меры отклонения отдельных значений внутри выборки используют размах R . Последний легко определяется для выборок небольшого объема.

Известно (из теории и практики), что S и R находятся в прямо пропорциональной зависимости. Между ними существует положительная корреляционная связь. Чем меньше R , тем меньше S , и наоборот. Это выражают зависимостью

$$M\left(\frac{R}{d_2}\right) = \sigma,$$

где $R = \frac{1}{K} \sum_{i=1}^K R_i$; K – количество выборок; d_2 – некоторый коэффициент, зависящий от объема выборок, значение которого определяется в зависимости от n по таблице 7 из [13].

Определение объема выборки. Рассмотрим определение объема выборки для оценки среднего значения параметра, имеющего нормальное распределение в генеральной совокупности.

Будем исходить из известного соотношения

$$P(-\varepsilon \leq X - M(X) \leq \varepsilon) = \Phi_1(z) = 2\Phi(z).$$

Исходя из выражения

$$\varepsilon = \frac{z\sigma}{\sqrt{n}},$$

можно получить оценку n при заданной точности:

$$n = \frac{z^2 \sigma^2}{\varepsilon^2}.$$

Определим, что значение ε задается заранее, а z находятся по таблице $\Phi(z)$ распределения вероятностей Гаусса, поскольку $2\Phi(z)$ задаются, σ или известно, или может быть оценено.

Если объем выборки соизмерим с объемом генеральной совокупности, то

$$\sigma_x = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \sqrt{\frac{N-n}{N}} = \sigma \sqrt{\frac{1}{n} - \frac{1}{N}}; \quad \varepsilon = z\sigma \sqrt{\frac{1}{n} - \frac{1}{N}},$$

$$\text{а } n = \frac{1}{\varepsilon^2 / (z\sigma)^2 + 1/N}.$$

Для интервальной оценки σ используем распределение χ^2 :

$$P(S - \varepsilon \leq \sigma \leq S + \varepsilon) = P(\chi_2^2) - P(\chi_1^2),$$

где $P(\chi_2^2)$, $P(\chi_1^2)$ – вероятности, определяемые по распределению Пирсона (χ^2):

$$\chi_2^2 = \frac{vS^2}{(S-\varepsilon)^2}; \chi_1^2 = \frac{vS^2}{(S+\varepsilon)^2};$$

$$v = N - K; N = nK.$$

Если выборка одна, то

$$v = N - 1; N = n; S = S.$$

Разделив неравенство на S , получим

$$P\left(\frac{S-\varepsilon}{S} \leq \frac{\sigma}{S} \leq \frac{S+\varepsilon}{S}\right) = P\left(\frac{\sqrt{v}}{\chi_1} \leq \frac{\sigma}{S} \leq \frac{\sqrt{v}}{\chi_2}\right) =$$

$$= P\left(\frac{v}{\chi_1^2} \leq \frac{\sigma^2}{S^2} \leq \frac{v}{\chi_2^2}\right) = P\left(\frac{\chi_2^2}{v} \leq \frac{S^2}{\sigma^2} \leq \frac{\chi_1^2}{v}\right) = P(\chi_2^2) - P(\chi_1^2).$$

1.18. ПОНЯТИЕ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ ПОГРЕШНОСТИ ЭС. МЕТОД НАИХУДШЕГО СЛУЧАЯ

В процессе производства необходимо обеспечивать качество выпускаемой продукции, одним из критериев которого является обеспечение требуемой точности выходных параметров.

Отклонения выходных характеристик от номинального значения обуславливаются наличием комплекса случайных и систематических погрешностей, которые условно можно классифицировать так:

- ◆ отклонения выходного параметра как следствие погрешностей технологического процесса сборки, монтажа, изготовления;
- ◆ отклонения выходного параметра как следствие конструкторского изготовления узлов ЭВС;
- ◆ отклонения выходного параметра как следствие погрешностей параметров ЭРЭ.

Для количественной оценки разброса выходных параметров от номинала необходимо решить задачу анализа точности.

При решении задачи анализа точности в качестве исходной информации используются случайные величины (погрешности параметров) и на выходе получаем случайную величину (погрешность выходного параметра).

Для определения данной случайной величины необходимо рассчитать численные вероятностные характеристики. К таким характеристикам в инженерной практике относят:

- ◆ меру положения;
- ◆ меру рассеивания.

В качестве меры положения используется математическое ожидание, а в качестве меры рассеивания используют дисперсию либо среднеквадратичное отклонение.

Задача анализа точности подразделяется на 2 подзадачи:

1. **Прямая задача.** По известным допускам на параметры ЭРЭ рассчитывают допуск на выходную характеристику. Задача определена и имеет единственное решение.
2. **Обратная задача.** В качестве исходной информации используется допуск на выходную величину, с помощью различных приемов назначают допуски на параметры ЭРЭ. Задача не определена и имеет множество решений.

Метод макс / мин (метод наихудшего случая)

Метод макс / мин из разряда расчетных и предполагает наличие аналитической зависимости выходного параметра узла от параметров ЭРЭ.

Данный метод позволяет оценить точность выходного параметра при наиболее неблагоприятных сочетаниях погрешностей параметров ЭРЭ (когда погрешности принимают либо только максимальные, либо только минимальные значения).

При решении задачи данным методом существует 2 способа оценки точности выходной характеристики:

1. Оперируют с частичными погрешностями параметров ЭРЭ. Вначале определяют частичные погрешности параметров ЭРЭ при воздействии каждого дестабилизирующего фактора в отдельности. Затем определяется суммарная погрешность параметров ЭРЭ, и по этой суммарной погрешности оценивают результирующее отклонение выходного параметра.
2. Оперируют с частичными погрешностями выходной характеристики. Вначале определяют частичные погрешности выходного параметра при воздействии каждого дестабилизирующего фактора в отдельности. Затем по этим частичным погрешностям оценивают результирующую погрешность выходной характеристики.

При сложении частичных погрешностей отрицательные складываются отдельно и положительные тоже отдельно. Знак частичной погрешности определяется знаком частной производной от исходного выражения по конкретному параметру.

Методика расчета. Используется линейная аппроксимация исходного выражения

$$y_m = f_m(q_1, q_2, \dots, q_i, \dots, q_n),$$

где y – выходная характеристика, погрешность которой ищем; q_i – параметр ЭРЭ; n – число ЭРЭ; m – номер выходного параметра.

Абсолютные отклонения:

$$\Delta q_i = q_i - q_{i_0};$$

$$\Delta y_j = y_j - y_{j_0}.$$

Относительные отклонения:

$$\Delta q_i^* = (q_i - q_{i_0}) / q_{i_0};$$

$$\Delta y_j^* = (y_j - y_{j_0}) / y_{j_0}.$$

Знак частной производной:

$$A_{q_i} = \left. \frac{\partial f(q_1, \dots, q_n)}{\partial q_i} \right|_{q_i=q_{i_0}}.$$

Абсолютные отклонения выходного параметра определяются так:

$$\Delta y = \sum A_i \cdot \Delta q_i.$$

Относительные отклонения выходного параметра определяются так:

$$\Delta y^* = \sum a_i \cdot \Delta q_i^*,$$

где $a_i = A_i q_{i_0} / y_{i_0}$.

Частный случай 1. Система уравнений для определения отклонений выходного параметра при условии:

$$A_i > 0, \text{ для } i = 1, \dots, n_1;$$

$$A_i < 0, \text{ для } i = n_1 + 1, \dots, n;$$

$$\begin{cases} \Delta y_{j \max} = \sum_{i=1}^{n_1} A_i \cdot \Delta q_{i \max} + \sum_{i=n_1}^n A_i \cdot \Delta q_{i \min}; \\ \Delta y_{j \min} = \sum_{i=1}^{n_1} A_i \cdot \Delta q_{i \min} + \sum_{i=n_1}^n A_i \cdot \Delta q_{i \max}. \end{cases}$$

Частный случай 2. Система уравнений для определения отклонений выходного параметра, если отклонения на параметры ЭРЭ симметричны:

$$\begin{aligned} \Delta q_{i \max} &= |\Delta q_{i \min}| = \Delta q_{i \text{ pred}}; \\ \Delta y_{j \text{ pred}} &= \sum |A_i| \cdot \Delta q_{i \text{ pred}}; \\ \Delta y'_{j \text{ pred}} &= \sqrt{\sum |A_i|^2 \cdot \Delta q_{i_2 \text{ pred}}}. \end{aligned}$$

Цель расчета – выполнение неравенства, т. е. выполнение пункта ТЗ по точности:

$$\Delta y_{j \text{ ТЗ}} \geq \Delta y_{j \text{ расч}}.$$

Достоинства метода наихудшего случая:

- ◆ относительная простота расчетов;
- ◆ наглядность;
- ◆ возможность быстрого получения оценочных результатов.

Недостатки:

- ◆ нет достаточно четкого теоретического обоснования для использования арифметического и квадратического суммирования частичных погрешностей;
- ◆ метод не дает количественной оценки попадания текущей случайной величины в поле допуска;
- ◆ метод дает избыточность по точности.

1.19. АВМ – АНАЛИТИЧЕСКИЙ ВЕРОЯТНОСТНЫЙ МЕТОД

Суть метода. АВМ является расчетным и предусматривает наличие аналитического выражения выходного параметра как функции параметров ЭРЭ. В данном методе рассчитывается случайная величина, в качестве которой рассматриваются выходные характеристики и их погрешности. И для определения этой случайной ве-

личины необходимо определить *меру положения* и *меру рассеивания*. С этой целью необходимо рассчитывать *численные вероятностные характеристики* или *моменты* случайной величины.

При решении задачи анализа точности данным методом считают, что случайные величины, а именно погрешности параметров ЭРЭ, считаются заданными (т. е. известен закон распределения).

При решении задачи необходимо получить:

- ◆ закон распределения выходного параметра;
- ◆ определить численные вероятностные характеристики погрешностей выходного параметра (меру положения и меру рассеивания).

В качестве меры положения определяется математическое ожидание M (момент 1-го рода), а в качестве меры рассеивания: среднеквадратичное отклонение σ (момент 2-го рода).

Методика решения. В качестве исходной информации рассматривается аналитическая зависимость выходного параметра как функции параметров ЭРЭ:

$$y = f(q_1, \dots, q_n).$$

Погрешность выходного параметра ФУ ЭВС в зависимости от изменения параметров ЭРЭ может быть определена разложением в ряд Тейлора исходного выражения по параметрам ЭРЭ:

$$\Delta y = \sum_{j=1}^m \frac{1}{k!} \left[\frac{\partial}{\partial q_1} \Delta q_1 + \dots + \frac{\partial}{\partial q_n} \Delta q_n \right]^{(j)} \cdot f(q_1, \dots, q_n) + r_m,$$

где Δy – абсолютная погрешность выходного параметра; j – порядок производной; k – натуральный ряд чисел ($k \equiv j$); r_m – остаток; выражение в [] скобках – оператор, действующий на исходную функцию.

В этой формуле используются конечные приращения, тогда как в математической записи необходимо использовать бесконечно малые превращения (dq_i).

Для повышения точности расчетов необходимо использовать частные производные высоких порядков. При аналитическом расчете, особенно для сложных ФУ ЭС, задача становится сложной и трудоемкой.

В инженерной практике для оценки точности вводят допущения:

- ◆ полагают, что отклонения параметров ЭС являются величинами малыми;

- ◆ на этом интервале изменения считают исходную функцию линейной.

С учетом этих допущений уравнение принимает следующий вид:

$$\Delta y = \sum_i \left. \frac{\partial f(q_1, \dots, q_n)}{\partial q_i} \right|_{q_i=q_{i0}} \cdot \Delta q_i.$$

Полученное уравнение – *абсолютное уравнение погрешности*.

$$\frac{\Delta y}{y} = \sum_i \left(\left. \frac{\partial f(q_1, \dots, q_n)}{\partial q_i} \cdot \frac{q_i}{y} \right) \right|_{q_i=q_{i0}} \cdot \frac{\Delta q_i}{q_i}.$$

Полученное уравнение – *относительное уравнение погрешности*.

Анализ уравнений погрешностей позволяет определить степень влияния параметров ЭС на выходную характеристику. Количественно степень влияния определяется численным значением множителя перед соответствующим параметром ЭС.

A_i – коэффициент влияния из абсолютного уравнения погрешности:

$$A_i = \left. \frac{\partial f(q_1, \dots, q_n)}{\partial q_i} \right|_{q_i=q_{i0}} ;$$

B_i – коэффициент влияния из относительного уравнения погрешности:

$$B_i = \left(\left. \frac{\partial f(q_1, \dots, q_n)}{\partial q_i} \cdot \frac{q_i}{y} \right) \right)_{q_i=q_{i0}} .$$

В зависимости от численного значения коэффициента влияния определяется степень влияния i -го ЭС на выходную характеристику. Чем больше численное значение коэффициента влияния, тем выше степень влияния i -го ЭС.

Если не выполняется условие $\delta_{\text{ТУ}} \geq \delta_{\text{расч}}$, то производится *коррекция допусков*:

$$A = \{A_i\}, \quad i = \overline{1, n};$$

$$B = \{B_i\}, \quad i = \overline{1, n}.$$

На практике изменяется δ , где наибольший коэффициент влияния:

$$\text{Sup } A_i = A_{i\max};$$

$$\text{Sup } B_i = B_{i\max}.$$

Одним из этапов в решении задачи анализа точности является получение уравнений погрешности (абсолютной/относительной). Далее необходимо определить моменты 1-го и 2-го рода случайной величины и построить закон распределения.

Для определения случайной величины определяем следующие численные вероятностные характеристики: $M(\Delta y/y)$ – математическое ожидание (МО) погрешности; $M(y)$ – математическое ожидание выходной величины (номинал); $\sigma(\Delta y/y)$ – среднее квадратичное отклонение (СКО) (допуск).

При решении задачи в качестве исходной информации используем характеристики погрешностей параметров ЭС (закон распределения).

Рассмотрим закон распределения погрешностей параметров ЭРЭ в общем виде (рис. 1.25).

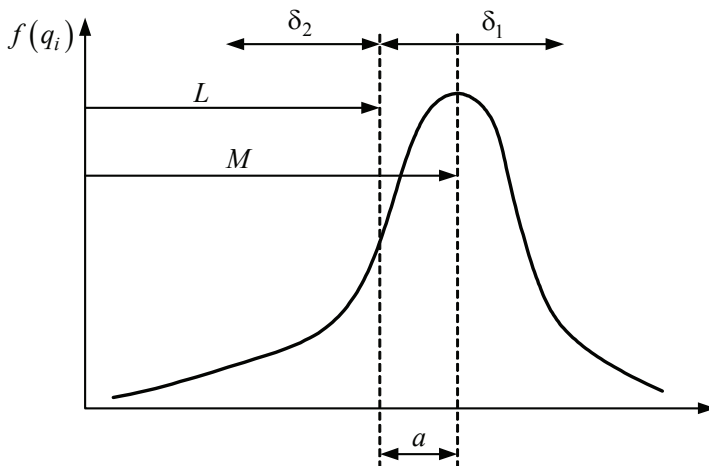


Рис. 1.25. Закон распределения

На рис. 1.25: δ_1, δ_2 – допуски, $\delta_1 = \delta_2 = \delta$ (могут быть не равны); L – случайная величина, определяющая середину закона рас-

пределения; M – центр группирования (МО); a – коэффициент асимметрии.

Запишем математическое ожидание:

$$M\left(\frac{\Delta q_i}{q_i}\right) = L\left(\frac{\Delta q_i}{q_i}\right) + a \cdot \delta\left(\frac{\Delta q_i}{q_i}\right).$$

Момент выходной величины:

$$M\left(\frac{\Delta y}{y}\right) = L\left(\frac{\Delta y}{y}\right) + a \cdot \delta\left(\frac{\Delta y}{y}\right) = \sum_i L\left(\frac{\Delta q_i}{q_i}\right) + a \cdot \delta\left(\frac{\Delta q_i}{q_i}\right).$$

Эта формула справедлива, когда степень влияния всех ЭРЭ на выходную характеристику одинакова.

В общем виде момент выходной величины

$$M\left(\frac{\Delta y}{y}\right) = \sum_i \left(L\left(\frac{\Delta q_i}{q_i}\right) + a \cdot \delta\left(\frac{\Delta q_i}{q_i}\right) \right) \cdot B_i.$$

В случае симметрии зона распределения коэффициента асимметрии a стремится к 0. Середина распределения L стремится к M . Такая ситуация наиболее часто встречается для большинства величин.

При использовании симметричных законов распределения момент выходной величины выражается так:

$$M\left(\frac{\Delta y}{y}\right) = \sum_i M\left(\frac{\Delta q_i}{q_i}\right) \cdot B_i.$$

При оценке меры положения относительной погрешности выходного параметра априори используется информация о поведении параметра и погрешностей параметров ЭРЭ.

Для оценки рассеивания случайной величины относительно центра группирования используется СКО σ :

$$\sigma\left(\frac{\Delta y}{y}\right) = \sqrt{\sum B_i^2 \sigma_i^2 \left(\frac{\Delta q_i}{q_i}\right)}. \quad (1.1)$$

Записанное выражение справедливо для случая, когда:

- 1) используются случайные величины;
- 2) величины независимые;
- 3) эти случайные величины подчиняются нормальному закону распределения.

Рассмотрим оценку разброса выходного параметра в виде допуска. С этой целью СКО нормируется по полю допуска. Количественно эта нормировка оценивается с помощью коэффициента «относительное СКО»:

$$\lambda_i = \sigma \left(\frac{\Delta y}{y} \right) / \delta \left(\frac{\Delta y}{y} \right).$$

С учетом введенного коэффициента мера рассеивания (допуск) определяется так:

$$\delta \left(\frac{\Delta y}{y} \right) = \frac{1}{\lambda_y} \sqrt{\sum B_i^2 \delta^2 \left(\frac{\Delta q_i}{q_i} \right) \lambda_i^2},$$

где λ_i – относительное СКО i -го ЭРЭ; λ_y – относительное СКО выходного параметра.

При оценке точности допусков используем выражение (1.1), которое справедливо для нормального закона распределения.

Для учета различных законов распределения при использовании выражения (1.1) вводят коэффициенты относительного рассеивания K_i :

$$K_i = \frac{\lambda_i}{\lambda_{\text{эталон}}},$$

где λ_i – относительное СКО реального закона распределения; $\lambda_{\text{эталон}}$ – относительное СКО эталонного (нормального) закона распределения.

С учетом введенного коэффициента допуск на выходную величину будет определяться по формуле

$$\delta \left(\frac{\Delta y}{y} \right) = \frac{1}{K_y} \sqrt{\sum B_i^2 \delta^2 \left(\frac{\Delta q_i}{q_i} \right) K_i^2}.$$

Теперь ограничения с точки зрения законов распределения сняты.

Для повышения достоверности расчетов точности выходных параметров необходимо учитывать наличие взаимной связи, взаимного влияния между параметрами отдельных ЭРЭ. Наличие такой связи определяется с помощью корреляции. Количественно степень взаимного влияния (связи) оценивается с помощью коэффициента корреляции r .

Чем выше численное значение коэффициента корреляции, тем сильнее взаимная связь и взаимное влияние параметров ЭРЭ друг на друга. Для инженерной практики учет взаимного влияния осуществляется при $r = 0,2 \div 0,3$. При этом $r_{j,s}$ – коэффициент корреляции между ЭРЭ q_j и q_s .

С учетом корреляции допуск на выходную величину

$$\delta\left(\frac{\Delta y}{y}\right) = \frac{1}{K_y} \sqrt{\sum B_i^2 \delta^2 \left(\frac{\Delta q_i}{q_i}\right) K_i^2 + 2 \sum_{j,s} r_{j,s} B_j B_s \delta_j \delta_s K_j K_s}.$$

Это выражение является общей формулой для расчета допуска на выходной параметр для величин случайных, подчиняющихся различным законам распределения и при взаимном влиянии ЭРЭ друг на друга.

Теперь определяем меру положения случайной величины $M(y)$:

$$M(y) = f(q_{1_0}, \dots, q_{n_0}) + \frac{1}{2} \sum_{j,s} r_{j,s} B_j B_s \sigma_j \sigma_s + \frac{1}{2} \sum_i B_{ii} D_i,$$

где первое слагаемое – значение функции при номинальных значениях параметров ЭРЭ; второе – уточняет значение математического ожидания при наличии корреляции; третье – учитывает поправку при сильной нелинейности исходного выражения; B_{ii} – вторая производная исходного выражения по i ; D_i – дисперсия для i -го ЭРЭ.

Достоинства метода:

- ◆ позволяет решать задачу анализа точности на ранних стадиях проектирования;
- ◆ позволяет оценить степень влияния параметров ЭРЭ на выходную характеристику;
- ◆ позволяет получить закон распределения выходного параметра либо погрешности выходного параметра;
- ◆ позволяет рассчитать численные вероятностные характеристики случайной величины (выходной характеристики).

Недостатки:

- ◆ удовлетворительные результаты при наличии линейной зависимости выходного параметра как функции параметров ЭС и при малых отклонениях параметров ЭРЭ;

- ◆ при анализе нелинейных ФУ ЭС с целью повышения точности результатов необходимо использовать частные производные высших порядков, что делает задачу анализа точности громоздкой и трудоемкой.

1.20. АНАЛИЗ ТОЧНОСТИ С УЧЕТОМ ДЕСТАБИЛИЗИРУЮЩИХ ФАКТОРОВ

При воздействии дестабилизирующих факторов будем рассматривать следующие:

- ◆ температура;
- ◆ влажность;
- ◆ старение.

Температурная нестабильность ФУ ЭВС составляет 60–70% от общей нестабильности. Нестабильность от температуры, влажности и старения вместе могут достигать до 90% от общей нестабильности.

При оценке воздействия перечисленных дестабилизирующих факторов происходят как обратимые, так и необратимые изменения параметров.

Введем следующие допущения:

- ◆ при расчете температурных допусков и допусков за счет влажности учитывают обратимые изменения параметров;
- ◆ при расчете допусков за счет старения учитывают необратимые изменения параметров.

Обратимые и необратимые изменения параметров количественно учитываются с помощью коэффициентов.

Необходимо найти частичные погрешности при воздействии каждого дестабилизирующего фактора ($h = 3$):

$$\left(\frac{\Delta q_i}{q_i} \right)_h = \sum_h \left(\frac{\Delta q_i}{q_i} \right)_{\text{частич } h}$$

– суммарное отклонение параметра ЭРЭ при воздействии всех дестабилизирующих факторов.

Влажность. Под воздействием влажности каждый ЭРЭ имеет приращение параметров в соответствии с % влажности в зависимости от группы жесткости:

$$\left(\frac{\Delta q_i}{q_i} \right)_{\text{вл}}$$

Температура. При линейных и циклических изменениях температуры каждый параметр ЭРЭ имеет обратимые изменения:

$$\begin{aligned} \Delta q_{i,T}; \\ \Delta q_{i,T} = q_{i_0} \alpha_{q_i} \Delta T, \end{aligned}$$

где α_{q_i} – температурный коэффициент; ΔT – диапазон температур ($\Delta T = T - 20^\circ\text{C}$);

$$\left(\frac{\Delta q_i}{q_i} \right)_T = \alpha_{q_i} \Delta T.$$

Старение. При расчете изменения параметра ЭРЭ под воздействием старения используют линейную аппроксимацию изменения параметра ЭРЭ от времени:

$$\begin{aligned} \Delta q_{i\text{ст}} = q_{i_0} C_{q_i} \Delta t; \\ \left(\frac{\Delta q_i}{q_i} \right)_{\text{ст}} = C_{q_i} \Delta t, \end{aligned}$$

где C_{q_i} – коэффициент старения (для конкретного типа ЭРЭ); Δt – время.

Определяем суммарное отклонение параметров ЭРЭ при воздействии 3 дестабилизирующих факторов:

$$\left(\frac{\Delta q_i}{q_i} \right)_h = \sum_h \left(\frac{\Delta q_i}{q_i} \right)_{\text{частич } h} = \left(\frac{\Delta q_i}{q_i} \right)_{\text{вл}} + \alpha_{q_i} \Delta T + C_{q_i} \Delta t.$$

Необходимо записать уравнение погрешностей с учетом дестабилизирующих факторов. За исходное возьмем уравнение относительной погрешности с учетом производственных погрешностей параметров ЭРЭ:

$$\frac{\Delta y}{y} = \sum \left(\frac{\partial f(q_i)}{\partial q_i} \cdot \frac{q_i}{y} \right) \Bigg|_{q_i=q_{i_0}} \cdot \frac{\Delta q_i}{q_i},$$

$$\begin{aligned} \left(\frac{\Delta y}{y} \right)_h &= \sum \left(\frac{\partial f(q_i)}{\partial q_i} \cdot \frac{q_i}{y} \right) \Bigg|_{q_i=q_{i_0}} \cdot \left(\frac{\Delta q_i}{q_i} \right)_h = \\ &= \sum \left(\frac{\partial f(q_i)}{\partial q_i} \cdot \frac{q_i}{y} \right) \Bigg|_{q_i=q_{i_0}} \cdot \left(\left(\frac{\Delta q_i}{q_i} \right)_{\text{вл}} + \alpha q_i \Delta T + C q_i \Delta t \right)_h, \end{aligned}$$

где индекс $q_i = q_{i_0}$ означает частичные погрешности параметров ЭРЭ при учете каждого в отдельности.

Проведем анализ полученного уравнения. Исходя из анализа получаем принцип независимости частичных погрешностей выходного параметра при воздействии каждого дестабилизирующего фактора.

Исходя из полученного вывода, можно определить частичные погрешности выходного параметра отдельно для каждого дестабилизирующего фактора. С этой целью можно составить 3 частичных уравнения погрешности:

- ◆ 1-е уравнение для определения погрешности, вызванной влажностью;
- ◆ 2-е уравнение для определения температурной погрешности;
- ◆ 3-е уравнение для определения погрешности, вызванной старением.

1.21. РАСЧЕТЫ ДОПУСКОВ

Расчет допуска на выходную характеристику при воздействии влажности. При расчете точности при воздействии влажности рассматриваются обратимые изменения параметров. Количественно эти изменения учитываются с помощью коэффициента увлажнения. Считаем, что коэффициенты увлажнения являются величинами случайными и заданный закон распределения данной случайной величины – нормальный.

Записываем 1-е частное уравнение погрешности:

$$\left(\frac{\Delta y}{y} \right)_{\text{вл}} = \sum B_i \left(\frac{\Delta q_i}{q_i} \right)_{\text{вл}}.$$

Наша задача – определить численные вероятностные характеристики коэффициента увлажнения, который количественно свя-

зывает изменение выходного параметра с изменением дестабилизирующих факторов.

Определяем меру положения:

$$M(h_{\Sigma}) = \sum B_i M(h_i),$$

где h_i – коэффициент увлажнения для i -го ЭРЭ; h_{Σ} – коэффициент увлажнения для выходной характеристики.

Определяем меру рассеивания (половину поля или поле в зависимости от алгоритма):

$$\delta(h_{\Sigma}) = \sqrt{\sum_i B_i^2 \delta^2(h_i) \pm 2 \sum_{j,s} r_{j,s} B_j B_s \delta_j \delta_s},$$

где $r_{j,s}$ – коэффициент корреляции между ЭРЭ q_j и q_s .

Определяем пределы поля рассеивания коэффициента увлажнения:

$$\Delta_{\text{вл}} = M(h_{\Sigma}) \pm \delta(h_{\Sigma}).$$

Расчет температурных допусков. При расчете допусков на воздействие температуры учитываются обратимые изменения параметров. Количественно эти параметры оцениваются с помощью температурного коэффициента. Полагаем, что температурный коэффициент является величиной случайной и заданной. Закон распределения для данной случайной величины – нормальный.

Запишем 2-е частное уравнение погрешности:

$$\left(\frac{\Delta y}{y} \right)_T = \sum (B_i \alpha_{q_i}) \Delta T,$$

где α_{q_i} – температурный коэффициент i -го ЭРЭ; ΔT – диапазон температур.

Определим численные вероятностные характеристики:

1. Мера положения:

$$M(\alpha_{\Sigma}) = \sum B_i M(\alpha_i).$$

2. Мера рассеивания:

$$\delta(\alpha_{\Sigma}) = \sqrt{\sum_i B_i^2 \delta^2(\alpha_i) \pm 2 \sum_{j,s} r_{j,s} B_j B_s \delta_j \delta_s}.$$

3. Пределы поля рассеивания температурного коэффициента:

а) $\alpha_{\Sigma \text{пред}} = M(\alpha_{\Sigma}) \pm \delta(\alpha_{\Sigma});$

б) при рассмотрении воздействия температуры пределы поля рассеивания температурного коэффициента определяются исходя из поля рассеивания температурного коэффициента для положительной температуры и поля рассеивания температурного коэффициента для отрицательной температуры:

$$\Delta T_{\pm} = M\left(\frac{\Delta y}{y}\right)_{T_{\pm}} \pm \delta\left(\frac{\Delta y}{y}\right)_{T_{\pm}} = \alpha_{\Sigma \text{пред}} \Delta T_{\pm};$$

$$\Delta T = \Delta T_{-} \dots \Delta T_{+}.$$

Пример. Определить величину температурного допуска и поле температурных отклонений на выходной параметр ФУ ЭС при его работе в диапазоне температур от -60°C до $+80^{\circ}\text{C}$;

$$\alpha_{\Sigma \text{пред}} = (2 \pm 5) \cdot 10^{-2}.$$

Решение:

$$\Delta T_{\pm} = \alpha_{\Sigma \text{пред}} \Delta T_{\pm};$$

$$\Delta T_{-} = (-1,6 \pm 4)\%;$$

$$\Delta T_{+} = (+1,2 \pm 3)\%.$$

Выходная характеристика будет изменяться в диапазоне от $-5,6\%$ до $+4,2\%$. Графическая иллюстрация представлена на рис. 1.26.

Расчет допусков при воздействии старения. При воздействии старения рассматривают необратимые изменения параметров. Количественно связь между изменением параметра и дестабилизирующим фактором оценивается с помощью коэффициента старения. Полагаем, что коэффициент старения является величиной случайной и заданной и подчиняется нормальному закону распределения.

Запишем 3-е частное уравнение погрешности:

$$\left(\frac{\Delta y}{y}\right)_{\text{ст}} = \sum (B_i C_{q_i}) \cdot \Delta t,$$

где C_{q_i} – коэффициент старения i -го ЭРЭ; Δt – временной диапазон.

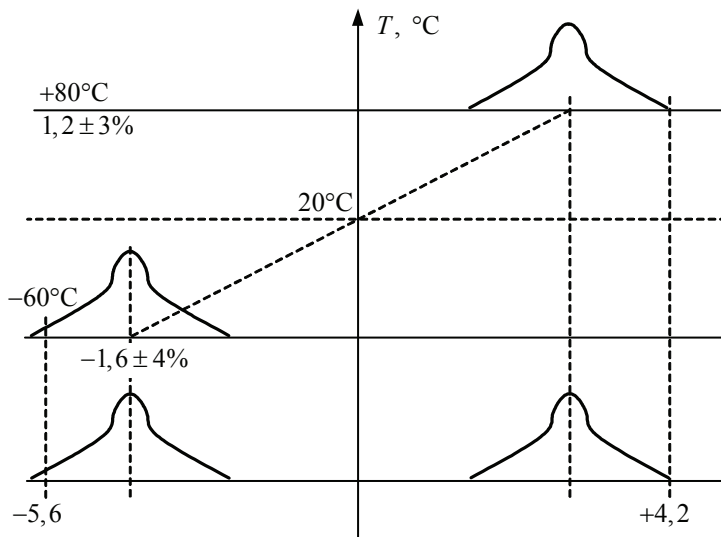


Рис. 1.26. Графическая иллюстрация

Определим численные вероятностные характеристики:

1. Мера положения:

$$M(C_{\Sigma}) = \sum B_i M(C_i).$$

2. Мера рассеивания:

$$\delta(C_{\Sigma}) = \sqrt{\sum_i B_i^2 \delta^2(C_i) \pm 2 \sum_{j,s} r_{j,s} B_j B_s \delta_j \delta_s};$$

$$\delta_j = \delta(C_j); \delta_s = \delta(C_s).$$

3. Пределы поля рассеивания температурного коэффициента:

а) $C_{\Sigma \text{пред}} = M(C_{\Sigma}) \pm \delta(C_{\Sigma});$

б) $\Delta_{\text{ст}} = M\left(\frac{\Delta y}{y}\right)_{\text{ст}} \pm \delta\left(\frac{\Delta y}{y}\right)_{\text{ст}} = C_{\Sigma \text{пред}} \Delta t.$

При оценке точности выходного параметра ФУ ЭС при совместном действии дестабилизирующих факторов необходимо учитывать рассчитанные частичные погрешности:

$$\delta\left(\frac{\Delta y}{y}\right)_{\text{произв}}; \delta\left(\frac{\Delta y}{y}\right)_{\Sigma}.$$

1.22. МЕТОД РАСЧЕТА ТОЧНОСТИ ВЫХОДНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ЭС

Метод относится к экспертно-расчетным и предусматривает наличие математической модели исследуемого узла.

Решение задачи анализа точности заключается в применении *метода статистических испытаний* и представлении объекта исследования при случайных значениях параметров ЭС.

При исследовании модели в данном методе можно использовать не только явную зависимость y как функцию параметров ЭС, но и систему уравнений, не разрешаемую относительно y .

При решении задачи рассматриваются 3 этапа:

- ◆ форма представления объекта исследования;
- ◆ этап решения задачи;
- ◆ анализ результатов и выводы.

Исходная информация: математическая модель в неявном виде:

$$f(y^n, y^{n-1}, \dots, y, x^m, x^{m-1}, \dots, x, q_1, q_2, \dots, q_n, t) = 0,$$

где x – входное возмущение; m – порядок производной входного возмущения; q_i – параметр i -го ЭРЭ.

Применяется метод статистических испытаний применительно к математической модели при случайных значениях параметров.

Строим законы распределения для первой величины, затем для второй и т. д. Получаем 1-е решение, затем 2-е и т. д. Мы должны иметь столько решений, чтобы обеспечить необходимую точность (чем больше N , тем выше точность).

Как результат решений получаем N – число значений выходного параметра, если блок имеет одну выходную характеристику.

Решим задачу анализа точности для случая выходной характеристики $y_j, j = 1$.

Определяем минимум и максимум. Разбиваем отрезок на интервалы. Строим гистограмму распределения. Затем соединяем середины отрезками и получаем *полигон распределения* (рис. 1.27).

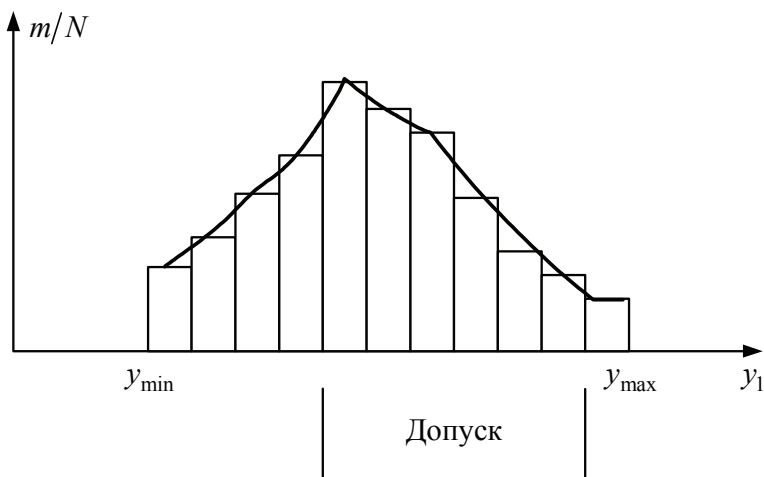


Рис. 1.27. Полигон распределения

Используя любой критерий согласия, определяем принадлежность полученного закона распределения (реального) к какому-либо существующему.

На этапе решения задачи осуществляем:

1. Обработку случайных величин:
 - а) построив гистограмму распределения;
 - б) построив полигон распределения;
 - в) определив принадлежность реального закона распределения существующему теоретическому.
2. Определение соответствия случайной величины требованиям ТЗ по точности.

На этапе анализа проводится исследование полученных результатов:

- ◆ определяются коэффициенты влияния;
- ◆ осуществляется количественная оценка попадания случайной величины в поле допуска;
- ◆ осуществляется назначение допусков на параметры ЭС.

Рассмотрим виды численных вероятностных характеристик и последовательность их вычислений:

- ◆ выборочные значения математических ожиданий выходных параметров;
- ◆ выборочные СКО выходных параметров;

- ◆ выборочные значения коэффициентов взаимной корреляции между выходными параметрами;
- ◆ выборочные значения коэффициентов взаимной корреляции между параметрами ЭРЭ.

1. Определяем МО:

$$M_{y_j} = \frac{1}{N} \sum_{l=1}^N y_{j_l},$$

где y_{j_l} – численное значение после каждого решения; j – номер выходной характеристики, если их несколько ($j = \overline{1, m}$).

3. Определяем СКО:

$$\sigma_{y_j}^2 = \frac{1}{N-1} \sum_l y_{j_l}^2 - \frac{N}{N-1} M_{y_j}^2.$$

4. Коэффициент корреляции между 2-мя элементами (y_j, y_k):

$$r_{y_j, y_k} = \frac{1}{\sigma_{y_j} \sigma_{y_k}} \left(\frac{1}{N-1} \sum_l y_{j_l} y_{k_l} - \frac{N}{N-1} M_{y_j} M_{y_k} \right).$$

5. Выборка: меньше 50 – малая, больше 50 – большая.

Достоинства метода:

- ◆ использование математической модели ФУ ЭС;
- ◆ метод позволяет проводить анализ точности на ранних стадиях проектирования;
- ◆ метод позволяет получить высокую точность анализа (зависит от числа решений);
- ◆ метод позволяет широко использовать и применять компьютерные расчеты;
- ◆ метод позволяет вести анализ точности ФУ ЭС любой степени нелинейности.

Недостатки:

- ◆ трудности в разработке математической модели для сложных ФУ ЭС;
- ◆ трудности в обеспечении адекватности математической модели реальному ФУ ЭС;
- ◆ относительно высокая себестоимость реализации метода, особенно для получения высокой точности результатов.

1.23. АНАЛИЗ ДЕФЕКТОВ И БРАКА

При производстве ФУ ЭС необходим комплексный (системный) подход при решении задач контроля. Комплексный подход означает, что системы (блоки) контроля ФУ ЭС должны охватывать не только все основные этапы производства, но и учитывать весь класс дефектов, которые встречаются на этих этапах.

Совершенствование деятельности отделов и управлений технического контроля предприятий должно предусматривать в первую очередь создание, развитие и укрепление в рамках контрольных служб тех подразделений, которые способны эффективно решать следующие задачи:

- ◆ разработка и реализация мероприятий по профилактике брака в производстве, предотвращению возникновения отклонений от утвержденных технологических процессов, предупреждению сбоев в работе, приводящих к ухудшению качества выпускаемой продукции;
- ◆ разработка и внедрение прогрессивных методов и средств технического контроля, способствующих росту производительности и фондовооруженности труда контролеров ОТК, повышению объективности проверок и облегчению работы персонала контрольных служб;
- ◆ объективный учет и комплексная дифференцированная оценка качества труда различных категорий персонала контрольной службы, определение достоверности результатов контроля;
- ◆ подготовка необходимых данных для последующей централизованной обработки информации о фактическом состоянии и изменении основных условий и предпосылок производства высококачественной продукции (качества поставляемых по кооперации сырья, материалов, полуфабрикатов, комплектующих изделий и т. п., качества труда работающих, состояния технологической дисциплины в цехах и на участках и т. д.), а также информации о достигнутом уровне качества выпускаемой продукции;
- ◆ проведение работ по расширению внедрения самоконтроля основных производственных рабочих (в частности, формирование перечня технологических операций, передаваемых

на самоконтроль качества, оснащение рабочих мест необходимыми контрольно-измерительными приборами, инструментом, оснасткой и документацией, специальное обучение рабочих, выборочный контроль деятельности исполнителей, переведенных на работу с личным клеймом, оценка результатов внедрения самоконтроля в производстве и т. д.);

- ◆ проведение специальных исследований динамики качества изделий в процессе их эксплуатации, предполагающих организацию эффективной информационной взаимосвязи между поставщиками и потребителями по вопросам качества продукции;
- ◆ планирование и технико-экономический анализ различных аспектов деятельности службы контроля качества продукции;
- ◆ координация работы всех структурных подразделений отделов и управлений технического контроля предприятия;
- ◆ периодическое определение абсолютной величины и динамики затрат на контроль качества продукции, влияния профилактики, достоверности и экономичности технического контроля на качество изделий и основные показатели деятельности предприятия, оценка эффективности работы контрольной службы.

1.24. СТАНДАРТИЗАЦИЯ В СИСТЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ ЭС

Важным элементом в системах управления качеством изделий является *стандартизация* – нормотворческая деятельность, которая находит наиболее рациональные нормы, а затем закрепляет их в нормативных документах типа стандарта, инструкции, методики и требований к разработке продукции, т. е. это комплекс средств, устанавливающих соответствие стандартам.

Стандартизация является одним из важнейших элементов современного механизма управления качеством продукции (работ, услуг). По определению международной организации по стандартизации (ИСО), *стандартизация* – установление и применение правил с целью упорядочения деятельности в определенных областях на пользу и при участии всех заинтересованных сторон, в частности для достижения всеобщей оптимальной экономии при

соблюдении функциональных условий и требований техники безопасности.

Стандарт – это нормативно-технический документ по стандартизации, устанавливающий комплекс правил, норм, требований к объекту стандартизации и утвержденный компетентным органом. Стандарты представляются в виде документов, содержащих определенные требования, правила или нормы, обязательные к исполнению. Это также основные единицы измерения или физические константы (например, метр, вольт, ампер, абсолютный нуль по Кельвину и т. д.). К стандартам относятся все предметы для физического сравнения: государственные первичные эталоны единицы длины, массы, силы и т. д.

Действующая система стандартизации позволяет разрабатывать и поддерживать в актуальном состоянии:

- ◆ единый технический язык;
- ◆ унифицированные ряды важнейших технических характеристик продукции (допуски и посадки, напряжения, частоты и др.);
- ◆ типоразмерные ряды и типовые конструкции изделий общемашиностроительного применения (подшипники, крепеж, режущий инструмент и др.);
- ◆ систему классификаторов технико-экономической информации;
- ◆ достоверные справочные данные о свойствах материалов и веществ.

Общей целью стандартизации является защита интересов потребителей и государства по вопросам качества продукции, процессов, услуг, обеспечивая:

- ◆ безопасность продукции, работ и услуг для окружающей среды, жизни, здоровья и имущества;
- ◆ безопасность хозяйственных субъектов с учетом риска возникновения природных и техногенных катастроф и других чрезвычайных ситуаций;
- ◆ обороноспособность и мобилизационную готовность страны;
- ◆ техническую и информационную совместимость, а также взаимозаменяемость продукции;
- ◆ единство измерений;
- ◆ качество продукции, работ и услуг в соответствии с уровнем науки, техники и технологии;
- ◆ экономию всех видов ресурсов.

Современная стандартизация базируется на следующих принципах: системность; повторяемость; вариантность; взаимозаменяемость.

Принцип системности определяет стандарт как элемент системы и обеспечивает создание систем стандартов, взаимосвязанных между собой сущностью конкретных объектов стандартизации. *Системность* – одно из требований к деятельности по стандартизации, предполагающее обеспечение взаимной согласованности, непротиворечивости, унификации и исключение дублирования требований стандартов.

Принцип повторяемости означает определение круга объектов, к которым применимы вещи, процессы, отношения, обладающие одним общим свойством – повторяемостью во времени или в пространстве.

Принцип вариантности в стандартизации означает создание рационального многообразия (обеспечение минимума рациональных разновидностей) стандартных элементов, входящих в стандартизируемый объект.

Принцип взаимозаменяемости предусматривает (применительно к технике) возможность сборки или замены одинаковых деталей, изготовленных в разное время и в различных местах.

Основные требования к разработке фонда стандартов можно сформулировать следующим образом:

- ◆ стандарты должны быть социально и экономически необходимыми;
- ◆ стандарты должны иметь определенный круг пользователей и конкретность требований;
- ◆ стандарты не должны дублировать друг друга;
- ◆ стандарты должны отражать взаимосогласованные требования комплексности по всем стадиям жизненного цикла продукции (от разработки до утилизации), по всем уровням разукрупнения (от исходных материалов до конечной продукции), по всем аспектам обеспечения качества и уровням управления;
- ◆ стандарты должны обладать стабильностью требований в течение определенного периода;
- ◆ стандарты должны своевременно пересматриваться.

Основные закономерности процесса разработки стандартов определяют условия их эффективной реализации и тенденций развития:

1. Сбалансированность интересов сторон, разрабатывающих, изготавливающих, предоставляющих и потребляющих продукцию (услугу).
2. Системность стандартизации – это рассмотрение каждого объекта как части более сложной системы; предполагает совместимость всех элементов этой сложной системы.
3. Динамичность и опережающее развитие стандарта. Как известно, стандарты моделируют реально существующие закономерности в хозяйстве страны. Однако научно-технический прогресс вносит изменения в технику, в процессы управления, поэтому стандарты должны адаптироваться к происходящим переменам.
4. Эффективность стандартизации. Применение нормативной документации (НД) должно давать экономический или социальный эффект. Непосредственный экономический эффект дают стандарты, ведущие к экономии ресурсов, повышению надежности, технической и информационной совместимости. Стандарты, направленные на обеспечение безопасной жизни и здоровья людей, окружающей среды, обеспечивают социальный эффект.
5. Приоритетность разработки стандартов, способствующих обеспечению безопасности, совместимости и взаимозаменяемости продукции (услуг), что достигается путем безусловного соответствия разработок требованиям стандартов, нормам законодательства и реализуется путем регламентации и соблюдения обязательных требований государственных стандартов.
6. Гармонизация предусматривает разработку гармонизированных стандартов. Обеспечение идентичности документов, относящихся к одному и тому же объекту, но принятых как организациями по стандартизации, так и международными (региональными) организациями, позволяет разработать стандарты, которые не создают препятствий в международной торговле.
7. Четкость формулировок положений стандарта. Возможность двусмысленного толкования нормы свидетельствует о серьезном дефекте НД.
8. Соответствие законодательству, а также нормам и правилам надзорных органов. При разработке стандартов и других НД необходимо обеспечивать их соответствие нормам законодательства, а также нормам и правилам органов, выполняющих функции государственного контроля.

9. Комплексность стандартизации взаимосвязанных объектов. Качество готовых изделий определяется качеством сырья, материалов, полуфабрикатов и комплектующих изделий, поэтому стандартизация готовой продукции должна быть увязана со стандартизацией объектов, формирующих ее качество, включая требования, обеспечивающие безопасность жизни, здоровья и имущества, окружающей среды, совместимость и взаимозаменяемость.

1.25. КЛАССИФИКАЦИЯ ОСНОВНЫХ ВИДОВ ИСПЫТАНИЙ И ПОРЯДОК ИХ ПРОВЕДЕНИЯ

Испытания – это разновидность контроля. В систему испытаний входят следующие основные элементы:

- ◆ *объект испытаний* – изделие, подвергаемое испытаниям. Главным признаком объекта испытаний является то, что по результатам испытаний принимается решение именно по этому объекту: о его годности или браковке, о возможности предъявления на последующие испытания, о возможности серийного выпуска и т. п. Характеристики свойств объекта при испытаниях можно определить путем измерений, анализов или диагностирования;
- ◆ *условия испытаний* – это совокупность воздействующих факторов и (или) режимов функционирования объекта при испытаниях. Условия испытаний могут быть реальными или моделируемыми, предусматривать определение характеристик объекта при его функционировании и отсутствии функционирования, при наличии воздействий или после их приложения;
- ◆ *средства испытаний* – это технические устройства, необходимые для проведения испытаний. Сюда входят средства измерений, испытательное оборудование и вспомогательные технические устройства;
- ◆ *исполнители испытаний* – это персонал, участвующий в процессе испытаний. К нему предъявляются требования по квалификации, образованию, опыту работы и другим критериям;
- ◆ *нормативно-техническая документация (НТД) на испытания*, которую составляют комплекс стандартов, регламентирующих организационно-методические и нормативно-техни-

ческие основы испытаний; комплекс стандартов системы разработки и постановки продукции на производство; нормативно-технические и технические документы, регламентирующие требования к продукции и методам испытаний; нормативно-технические документы, регламентирующие требования к средствам испытаний и порядок их использования.

Условия проведения испытаний и перечень контролируемых параметров ЭС оговариваются в стандартах и общих технических условиях (ТУ) на изделие.

Все испытания классифицируют по методам проведения, назначению, этапам проектирования, изготовления и выпуска, виду готовой продукции, продолжительности, уровню проведения, виду воздействия, определяемым характеристикам объекта. На рис. 1.28 приведена классификация основных видов испытаний.

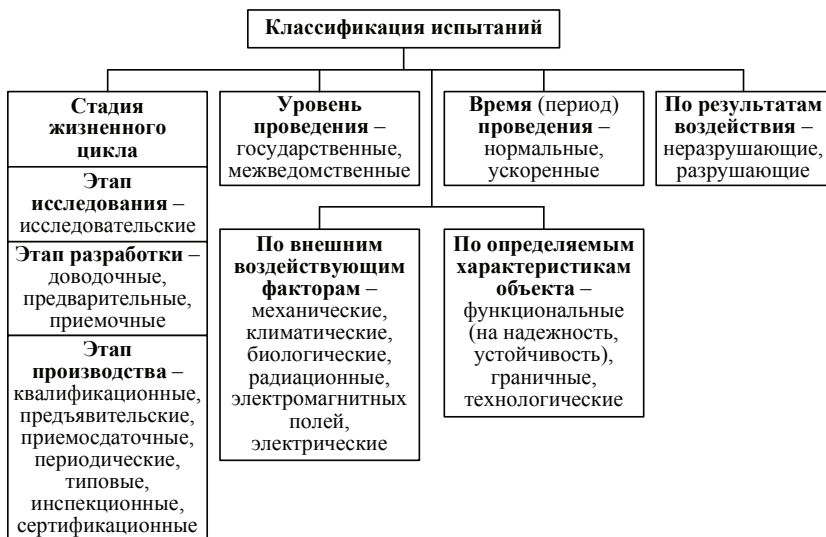


Рис. 1.28. Классификация основных видов испытаний

По результату воздействия на ЭС испытания делят на:

- ◆ разрушающие;
- ◆ неразрушающие.

Испытания являются разрушающими, если в процессе их проведения применяют разрушающие методы контроля или в результате воздействия внешних факторов испытываемые образцы ста-

новятся непригодными для дальнейшего использования. Методы неразрушающего контроля применяют как взамен разрушающих, так и в дополнение к ним. При этом сокращается время анализа отказов, а в ряде случаев более точно устанавливаются место и вид дефекта.

Выборки классифицируют по ряду признаков:

- ◆ по способу образования (повторные и неповторные);
- ◆ по преднамеренности отбора (преднамеренные и случайные);
- ◆ по отношению ко времени образования (единовременные и случайные);
- ◆ по целевому назначению (операционные и общепроизводительные).

По продолжительности все испытания подразделяют на:

- ◆ нормальные испытания – испытания, методы и условия проведения которых обеспечивают получение в необходимом объеме информации о показателях надежности изделия за такое же время, что и при эксплуатации;
- ◆ ускоренные испытания – испытания, методы и условия проведения которых обеспечивают получение необходимой информации о качестве изделия в более короткий срок;
- ◆ сокращенные испытания – испытания, которые проводят по сокращенной программе.

По назначению испытания можно разделить на исследовательские и контрольные.

Исследовательские испытания проводят для изучения определенных характеристик свойств изделия. Результаты этих испытаний служат для решения следующих задач:

- ◆ определения или оценки показателей качества функционирования испытываемых изделий в определенных условиях эксплуатации;
- ◆ выбора оптимальных режимов работы и показателей надежности;
- ◆ сравнения множества вариантов реализации изделия при проектировании и аттестации;
- ◆ построения математической модели функционирования изделия (оценки параметров математической модели);
- ◆ отбора существенных факторов, влияющих на показатели качества функционирования.

Исследовательские испытания при необходимости проводят на любых стадиях жизненного цикла продукции. Исследовательские

испытания проводят для изучения поведения объекта при том или ином внешнем воздействующем факторе (ВВФ) или в том случае, если нет необходимого объема информации. Чаще всего это бывает, когда объект недостаточно изучен, например при исследовательских работах, проектировании, выборе оптимальных способов хранения.

Примером исследовательских испытаний могут служить испытания моделей. В целях опытного производства по эскизам изготавливают модель, которую затем испытывают. В процессе испытаний оценивают работоспособность, правильность конструкторского решения, определяют возможные характеристики, выясняют закономерности и тенденции изменения параметров.

Исследовательские испытания проводят в основном на типовом представителе с целью получения информации о совокупности всех объектов данного вида. Таким образом, эти испытания проводятся для изучения характеристик свойств объекта, формирования исходных требований к продукции и ее составных частей, выбора наиболее эффективных методов производства, эксплуатации (применения) и контроля продукции; определения условий эксплуатации.

Исследовательские испытания часто проводят как определительные и оценочные. Цель определительных испытаний – нахождение значений одной или нескольких величин с заданной точностью и достоверностью. Иногда при испытаниях надо лишь установить факт годности объекта, т. е. определить, удовлетворяет ли данное изделие установленным требованиям или нет. Такие испытания называют оценочными.

Испытания, проводимые для контроля качества объекта, называются *контрольными*. Назначение контрольных испытаний – проверка на соответствие техническим условиям при изготовлении. В результате испытаний полученные данные сопоставляют с установленными в технических условиях и делают заключение о соответствии испытываемого (контролируемого) объекта нормативно-технической документации. Контрольные испытания составляют наиболее многочисленную группу испытаний.

Цели и задачи испытаний меняются в течение жизненного цикла изделия. В связи с этим понятно выделение испытаний по этапам. На указанных этапах проводят доводочные, предварительные и приемочные испытания.

Так, *доводочные испытания* – исследовательские, и проводят их при проектировании изделий с целью оценки влияния вноси-

мых в техническую документацию изменений, чтобы обеспечить достижение заданных значений показателей качества. Необходимость испытаний определяет разработчик либо при составлении технического задания на разработку, либо в процессе разработки; он же составляет программу и методику испытаний. Испытаниям подвергают опытные образцы продукции.

Предварительные испытания – контрольные для опытных образцов и (или) опытных партий продукции. Их проводят с целью определения возможности предъявления опытного образца на приемочные испытания. Испытания проводят в соответствии со стандартом или организационно-методическим документом министерства, ведомства, предприятия. При отсутствии последних необходимость испытаний определяет разработчик. Программа предварительных испытаний максимально приближена к условиям эксплуатации изделия. Организация проведения испытаний такая же, как у доводочных испытаний.

Предварительные испытания проводят аттестованные испытательные подразделения с использованием аттестованного испытательного оборудования.

По результатам испытаний оформляют акт, отчет и определяют возможность предъявления изделия на приемочные испытания.

Приемочные испытания также являются контрольными для опытных образцов, опытных партий продукции или единичных изделий. Приемочные испытания опытного образца проводят с целью определения соответствия продукции техническому заданию, требованиям стандартов и технической документации, оценки технического уровня, определения возможности постановки продукции на производство.

Представленный на испытания опытный образец (опытная партия) должен быть доработан, а техническая документация откорректирована по результатам предварительных испытаний. Приемочные испытания организует предприятие-разработчик и проводит их по заранее разработанной программе при участии предприятия-изготовителя под руководством приемочной (государственной, межведомственной, ведомственной) комиссии. Приемочные испытания (проверки) могут проводиться специализированной испытательной организацией (государственные испытательные центры).

Члены комиссии по проведению приемочных испытаний, подписывая документы приемочных испытаний, как правило, согласовывают технические условия, карту технического уровня и каче-

ства продукции, составляют акт приемки опытного образца (опытной партии). При соответствии опытного образца (опытной партии) требованиям технического задания, стандартов и технической документации комиссия в акте приемки рекомендует данное изделие к постановке на производство. Если в результате приемочных испытаний комиссия выявила возможность улучшения отдельных свойств изделий, не установленных количественными значениями в техническом задании, в акте приемки дается перечень конкретных рекомендаций по совершенствованию продукции, указывается на необходимость их выполнения до передачи технической документации предприятию-изготовителю. Акт приемки утверждает руководство организации, назначившей комиссию по проведению приемочных испытаний.

Для продукции, на которую технический уровень оказался ниже требований технического задания, приемочная комиссия определяет дальнейшее направление работ по совершенствованию конструкции изделия, улучшению их производственно-технических характеристик, а также принимает решение о проведении повторных приемочных испытаний или о прекращении дальнейших работ.

Испытания готовой продукции подразделяют на квалификационные, приемосдаточные, периодические, типовые, инспекционные, сертификационные.

Квалификационные испытания проводят в следующих случаях: при оценке готовности предприятия к выпуску конкретной продукции, если изготовители опытных образцов и серийной продукции разные, а также при постановке на производство продукции по лицензиям и продукции, освоенной на другом предприятии. В остальных случаях необходимость проведения квалификационных испытаний устанавливает приемочная комиссия.

Испытаниям подвергают образцы из установочной (первой промышленной партии), а также первые образцы продукции, выпускаемой по лицензиям и освоенной на другом предприятии.

В состав этих испытаний включают все виды испытаний, предусмотренных в НТД, за исключением проверки сохраняемости.

Приемосдаточные испытания проводят для принятия решения о пригодности продукции к поставке или ее использованию. Испытаниям подвергают каждую изготовленную единицу или выборку из партии. Испытания проводит служба технического контроля изготовителя. При наличии на предприятии государственной приемки приемосдаточные испытания проводят ее представители.

При испытаниях контролируют значения основных параметров и работоспособность изделия. При этом контроль установленных в НТД показателей надежности изделий может осуществляться косвенными методами.

Порядок испытаний установлен в государственном стандарте общих технических требований или технических условиях, а для продукции единичного производства – в техническом задании.

Периодические испытания проводят с целью:

- ◆ периодического контроля качества изделий;
- ◆ контроля стабильности технологического процесса в период между очередными испытаниями;
- ◆ подтверждения возможности продолжения изготовления изделий по действующей документации;
- ◆ подтверждения уровня качества изделия, выпущенного в течение контролируемого периода;
- ◆ подтверждения эффективности методов испытаний, применяемых при приемочном контроле.

Периодические испытания предназначены для продукции установившегося серийного (массового) производства. При их проведении контролируют значения показателей, которые зависят от стабильности технологического процесса, но не проверяются при приемосдаточных испытаниях. Для испытаний представляют образцы продукции, отобранные в соответствии с государственными стандартами, техническими условиями и прошедшие приемосдаточные испытания.

Программа периодических испытаний максимально приближена к условиям эксплуатации.

Их периодичность – обычно каждый месяц или квартал, а также в начале выпуска изделий на заводе-изготовителе и при возобновлении производства после временного его прекращения. Периодические испытания включают в себя такие виды испытаний, при которых вырабатывается часть ресурса (длительная вибрация, многократные удары, термоциклы), и сравнительно дорогостоящие испытания (такие как испытания на работу при повышенной температуре и контроль электрических параметров), поэтому они всегда являются выборочными.

Типовые испытания – контроль продукции одного типоразмера, по единой методике, который проводят для оценки эффективности и целесообразности изменений, вносимых в конструкцию или технологический процесс. Испытаниям подвергают образцы выпус-

каемой продукции, в конструкцию или технологический процесс изготовления которых внесены изменения. Проводит эти испытания изготовитель с участием представителей государственной приемки или испытательная организация. Программу испытаний устанавливают в зависимости от характера вносимых изменений.

Эти испытания являются выборочными, так как относятся к разрушающим испытаниям, предназначены для оценки стойкости конструкции при различных видах механических и климатических воздействий.

Инспекционные испытания – это особый вид контрольных испытаний. Их осуществляют выборочно с целью контроля стабильности качества образцов готовой продукции и продукции, находящейся в эксплуатации. Их проводят специально уполномоченные организации (органы надзора, ведомственного контроля) в соответствии с НТД на эту продукцию по программе, установленной организацией, их выполняющей, или согласованной с ней.

Сертификационные испытания – элемент системы мероприятий, направленных на подтверждение соответствия фактических характеристик изделия требованиям НТД. Сертификационные испытания, как правило, проводят независимые от производителя испытательные центры. По результатам испытаний выдается сертификат или знак соответствия изделия требованиям НТД. Сертификация предполагает взаимное признание результатов испытаний поставщиком и потребителем.

Программу и методы испытаний устанавливают в сертификационной документации и указывают в положении по сертификации данного изделия с учетом особенностей его изготовления.

Сертификационные испытания в большинстве случаев проводятся для оценки соответствия функциональных показателей условиям эксплуатации, способности к воздействию внешних факторов и критериям надежности. Внешние воздействующие факторы во многом определяют требования к безопасности продукции и поэтому обычно оцениваются в рамках обязательной сертификации. Надежность как основное потребительское свойство изделия играет существенную роль в конкурентоспособности на рынке.

Помимо испытаний, проводимых изготовителем, ЭС могут подвергаться проверке при входном контроле у потребителя. При входном контроле не должны проводиться термоудары, термоциклы, длительная вибрация, механические удары, многократные проверки изделий испытательным напряжением. Недопустимы проверки изделий в режимах, отличающихся от указанных в ТУ.

Используемая при входном контроле измерительная, испытательная аппаратура и стенды должны соответствовать требованиям на аналогичную аппаратуру и стенды поставщика.

В зависимости от характера воздействия на изделия все внешние факторы делятся на классы: механические, климатические и другие (природные, биологические, радиационные, электромагнитных полей).

1.26. КЛИМАТИЧЕСКИЕ, МЕХАНИЧЕСКИЕ И ИСПЫТАНИЯ НА НАДЕЖНОСТЬ ЭС

Климатические испытания изделий электронной техники

Под влиянием климатических факторов в материалах протекают сложные физико-химические процессы, изменяющие их свойства и способствующие отказам. Опыт показывает, что наиболее опасны воздействия высокой и низкой температуры, повышенной влажности в сочетании с повышенной температурой, а также воздействие резких колебаний температуры.

Повышенная температура окружающей среды является одним из основных климатических воздействий, обуславливающих нестабильность и деградацию параметров ИЭТ и их отказы.

В стандарте воздействующие факторы подразделены на две группы: механические и климатические, соответственно установлены и методы испытаний.

Испытание на климатические воздействия проводят для проверки способности изделий выполнять свои функции, сохранять параметры и (или) внешний вид в пределах установленных норм при воздействии и после него. Для воспроизводимости результатов испытания необходимо его полное и точное описание, исключаящее всякую неопределенность толкования. Исходя из этого в НТД принята такая последовательность операций (этапов) испытания на климатические воздействия:

- ◆ предварительная выдержка (стабилизация свойств изделия), первоначальные измерения параметров и внешний осмотр изделий;
- ◆ установка изделий в камере, выдержка их в условиях испытательного режима и извлечение изделий из камеры, восстановление (конечная стабилизация свойств);

- ◆ заключительные измерения параметров и внешний осмотр изделий.

Предварительная выдержка проводится с целью устранения или частичной нейтрализации воздействия на изделия предыдущих условий. Изделия при этом выдерживают, как правило, в нормальных климатических условиях: при температуре воздуха $25 \pm 10^\circ\text{C}$, относительной влажности 45–75%, атмосферном давлении $(0,86-1,06) \cdot 10^5$ Па. Продолжительность предварительной выдержки определяется временем, достаточным для установления теплового равновесия изделий с окружающей средой. Обычно это время не превышает 2 часов. По окончании предварительной выдержки изделия подвергают внешнему осмотру. К контролирующему персоналу обычно предъявляют требования остроты зрения 0,8, нормального цветоощущения, освещение рабочего места должно быть 50–100 лк.

Рекомендуется выполнять первоначальные и заключительные измерения параметров изделий при одних и тех же значениях температуры и влажности окружающей среды.

При установке изделий в камере следует следить за тем, чтобы между изделиями, а также между изделиями и стенками камеры была свободная циркуляция воздуха. Способ установки и положение изделия при испытании играют важную роль для обеспечения воспроизводимости результатов испытания. Если при эксплуатации возможно несколько вариантов положений изделий, то следует избрать вариант, обеспечивающий наибольшую жесткость испытания. Если в процессе испытания электрическая нагрузка не подается, то изделия можно располагать на сетках из капроновых нитей, натянутых на опоры. Воспроизводимость результатов испытаний в значительной мере зависит от точности поддержания заданных параметров испытательного режима. Допуски можно рассматривать как компромисс между стремлениями, с одной стороны, увеличить точность и достоверность испытания, а с другой – не удорожать испытания.

Климатические испытания проводят не только на стадии их разработки (ОКР), но и при освоении изделий в серийном производстве, а также в самом серийном производстве для отбраковки потенциально ненадежных изделий (технологические испытания) и контроля стабильности производства (периодические испытания).

Климатические испытания в серийном производстве изделий обычно проводятся периодически (через 1–3 месяца). Они зани-

мают важное место в технологии и системе контроля качества готовых изделий. Объем климатических испытаний ИМ составляет до 50% всего объема проводимых в производстве испытаний.

Виды основных климатических испытаний ЭС, проводимые на разных стадиях жизненного цикла, приведены в табл. 1.4.

Таблица 1.4

Виды и состав климатических испытаний изделий

Виды испытания	Состав испытаний		
	Этап разработки (ОКР) и освоение изделий в серийном производстве	Серийное производство	
		Отбраковочные испытания	Контроль стабильности производства (периодические испытания)
Теплоустойчивость	+	+	+
Холодоустойчивость	+	+	+
Воздействие смены температур	+	+	+
Влагоустойчивость длительная	+	–	н
Влагоустойчивость кратковременная	+	–	+
Воздействие пониженного атмосферного давления	+	–	н
Воздействие повышенного атмосферного давления	+	–	н
Воздействие солнечной радиации	+	–	–
Воздействие соляного тумана	+	–	–
Воздействие пыли и песка	+	–	–
Грибоустойчивость	+	–	–
Воздействие инея и росы	+	–	–
Проверка герметичности	+	+	+
Термоудар		+	
«+» – испытания проводят; «–» – испытания не проводят; «н» – испытания могут быть проведены, если это предусмотрено НТД на изделия.			

В практике также применяют сложные виды испытаний: комбинированные, когда изделие подвергается одновременному воздействию нескольких факторов, и составные, когда они подвергаются воздействию различных климатических факторов в определенной последовательности.

Комбинированные и составные испытания целесообразны в случаях, если эффект совместного воздействия климатических факторов нельзя оценить по данным изолированных воздействий.

Простые климатические испытания обычно проводятся как на отдельных выборках изделий, так и последовательно на одной выборке. Однако следует заметить, что испытания, проводимые последовательно на одной выборке, не являются составными, так как интервал следования одного испытания за другим при этом не играет важной роли и не оговаривается. Длительные испытания на влагоустойчивость, воздействие солнечной радиации, соляного тумана, грибоустойчивость обычно проводят на отдельных выборках изделий. Последовательность климатических испытаний обуславливается целью данных испытаний.

Механические испытания изделий электронной техники

Основными механическими нагрузками, которым могут подвергаться ЭС в эксплуатационных условиях, являются ударные, вибрационные и линейные. Наиболее опасна вибрация, которая вызывает механические напряжения и деформации изделий.

Способность ЭС выполнять свои функции в условиях механического воздействия называют механической устойчивостью, а после воздействия – механической прочностью изделий. Для определения работоспособности изделий в условиях и (или) после воздействия механических нагрузок проводят механические испытания, во время которых определяют механическую прочность и устойчивость, отсутствие резонансных частот в пределах спектра частот действующей вибрации, проверяют, не образуется ли кратковременных или постоянных коротких замыканий и обрывов в изделии, а также других явлений, которые могут привести к его выходу из строя.

Требования и методы испытаний. Установлены следующие виды механических испытаний:

- ◆ на обнаружение резонансных частот конструкции и проверку отсутствия их в заданном диапазоне частот;
- ◆ на виброустойчивость и вибропрочность;
- ◆ на ударную прочность и ударную устойчивость;
- ◆ на воздействие одиночных ударов, линейного ускорения и акустического шума.

Все механические испытания ЭС проводят при нормальных климатических условиях. Виды механических испытаний и их последовательность указаны в программе испытаний и зависят от назначения ЭС, условий эксплуатации, типа производства.

Испытания ЭС на надежность

Надежность – это свойство изделия сохранять значения установленных параметров функционирования в определенных пределах, соответствующих заданным режимам и условиям использования, технического обслуживания и хранения. Надежность как свойство закладывается в ЭС при разработке и изготовлении, а оценивается в процессе испытаний и эксплуатации с помощью показателей надежности. Испытания, в результате которых оценивается надежность, называют испытаниями на надежность. Эти испытания могут быть как определительными, так и контрольными.

Единичным показателем надежности называется такой, который относится к одному из свойств изделий (к безотказности, долговечности, сохраняемости изделия). Комплексным показателем надежности называется такой, который относится к нескольким свойствам, составляющим надежность изделия. Комплексные показатели служат для количественной характеристики в основном только восстанавливаемых изделий, тогда как единичные показатели – для характеристики любых изделий.

Надежность любого изделия характеризуется безотказностью, долговечностью и сохраняемостью.

Под *безотказностью* понимают свойство изделия непрерывно сохранять работоспособное состояние в течение заданного времени в определенных режимах и условиях эксплуатации. С течением времени происходят износ и старение, вызывающие отказы.

Долговечность изделия характеризуется его наработкой до отказа, т. е. продолжительностью работы изделия от начала его эксплуатации (испытаний) до возникновения первого отказа.

Сохраняемость – свойство объекта сохранять значения показателей безотказности и долговечности.

При планировании испытаний на надежность необходимо однозначно определить такие данные, как время испытаний, объем выборки и приемочное число. Совокупность этих данных составляет план контроля, для формирования которого пользуются, как правило, специальными таблицами и графиками.

План контроля должен позволять быстро оценивать с определенным риском заказчика или поставщика надежность принимаемой партии. Время испытаний не должно быть слишком длительным, а стремление достигнуть минимальных рисков не должно приводить к чрезмерному увеличению объема выборки [9, 10].

ПРИЛОЖЕНИЕ 1. ПРИНЦИПЫ ДЕМИНГА

1. **Постоянство целей.** Сделайте так, чтобы задача совершенствования товара или услуги стала постоянной. Приверженность руководства постоянным улучшениям – критический фактор для поддержания энтузиазма, интереса и соучастия работников на всех уровнях.
2. **Новая философия.** Предполагается серьезное, радикальное переосмысление ваших взглядов – более радикальное, чем вы можете себе представить. Вы должны поддерживать постоянное, непрерывное движение в правильном направлении к тому дню, когда вся компания окажется в процессе улучшения качества всех систем и видов деятельности.
3. **Покончите с зависимостью от массового контроля.** Работайте с надежными, однородными и высококачественными материалами и процессами. Это скажется на вашей репутации у ваших настоящих и будущих потребителей.
4. **Покончите с практикой закупок по самой низкой цене.** Стремитесь получать все поставки только от одного производителя. Целью в этом случае является минимизация общих затрат, а не только первоначальных.
5. **Улучшайте каждый процесс.** Постоянно выискивайте проблемы для того, чтобы улучшать все виды деятельности и функции в компании, повышать качество и производительность.
6. **Введите в практику подготовку и переподготовку кадров** с тем, чтобы лучше использовать возможности каждого из них.
7. **Учредите «лидерство».** Надо создать среду, в которой у работников имеется истинная заинтересованность в их работе, а менеджеры помогают хорошо ее выполнять. Если рабочие заинтересованы, то они стремятся выполнять работу качественно.
8. **Изгоняйте страхи.** Любой работник, испытывающий страх перед своим вышестоящим руководителем, не может надле-

жащим образом сотрудничать с ним. Истинное сотрудничество позволяет достичь намного большего, чем изолированные индивидуальные усилия.

9. **Разрушьте барьеры.** Люди из различных функциональных подразделений должны работать в командах (бригадах) с тем, чтобы устранять проблемы, которые могут возникнуть, а не тратить время на конфликты.
10. **Откажитесь от пустых лозунгов и призывов,** которые требуют от работников бездефектной работы, нового уровня производительности, но ничего не говорят о методах достижения этих целей.
11. **Устраните произвольные количественные нормы и задания.** Замените их поддержкой и помощью со стороны вышестоящих руководителей с тем, чтобы достичь непрерывных улучшений в качестве и производительности.
12. **Дайте работникам возможность гордиться своим трудом.** Устраните барьеры, которые обкрадывают рабочих и руководителей, лишая их возможности гордиться своим трудом. Это предполагает проведение ежегодных аттестаций и введения методов управления по целям.
13. **Поощряйте стремление к образованию.** Организации нужны не просто люди, ей нужны работники, совершенствующиеся в результате образования. Источником успешного продвижения в достижении конкурентоспособности являются знания.
14. **Определите непоколебимую приверженность высшего руководства к постоянному улучшению качества и производительности и их обязательство проводить в жизнь все рассмотренные выше принципы.**

ПРИЛОЖЕНИЕ 2.
10 ЭТАПОВ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА
ПО ДЖУРАНУ

1. Сформируйте у персонала осознание потребности в качественной работе и создайте возможность для улучшения качества.
2. Установите цели для постоянного совершенствования деятельности.
3. Создайте организацию, которая будет работать над достижением целей, выработав условия для определения проблем, выбора проектов, сформировав команды и выбрав координаторов.
4. Предоставьте возможность обучения всем сотрудникам организации.
5. Выполняйте проекты для решения проблем.
6. Информировуйте сотрудников о достигнутых улучшениях.
7. Выражайте свое признание сотрудникам, внесшим наибольший вклад в улучшение качества.
8. Сообщайте о результатах.
9. Регистрируйте успехи.
10. Внедряйте достижения, которых вам удалось добиться в течение года, в системы и процессы, регулярно функционирующие в организации, тем самым закрепляя их.

ПРИЛОЖЕНИЕ 3. 14-ЭТАПНЫЙ ПЛАН КРОСБИ ПО ПОВЫШЕНИЮ КАЧЕСТВА

1. Четко определите приверженность руководства идее качества.
2. Используйте команды по работе над улучшением качества для привлечения и информирования о качестве всех членов организации.
3. Измеряйте качество и раскрывайте текущие и потенциальные проблемы с качеством.
4. Подсчитайте стоимость затрат на качество.
5. Объясните подчиненным, сколько стоит некачественная работа.
6. Предпринимайте корректирующие действия.
7. Организуйте специальный комитет, который будет работать над программой нулевого брака («ноль дефектов»).
8. Обучите наставников, которые будут внедрять программу нулевого брака.
9. Проведите «день нулевого брака», чтобы объяснить программу и подчеркнуть тот факт, что в организации к этой проблеме будут относиться по-новому.
10. Поощряйте персонал устанавливать цели, ориентированные на улучшение качества.
11. Поощряйте персонал сообщать о тех проблемах, которые не позволяют им работать без брака.
12. Высказывайте признание тем, кто добивается поставленных целей и отлично выполняет работу.
13. Организуйте советы качества, состоящие из профессионалов, руководители команд которых будут регулярно общаться друг с другом.
14. Прodelывайте это снова и снова, подчеркивая, что у данной программы нет завершения.

ПРИЛОЖЕНИЕ 4. ПРИНЦИПЫ МЕНЕДЖМЕНТА КАЧЕСТВА

1. **Ориентация на потребителя.** Стратегическая ориентация на потребителя, соответствующим образом обеспечиваемая организационно, методически и технически, жизненно необходима каждой организации и каждому предприятию, функционирующему в условиях конкурентного рынка.
2. **Роль руководства.** В соответствии с ним руководитель должен создать условия, необходимые для успешной реализации всех принципов системного управления качеством.
3. **Вовлечение работников.** Это одно из ключевых положений TQM, в соответствии с которым каждый работник должен быть вовлечен в деятельность по управлению качеством. Необходимо добиться, чтобы у каждого возникла внутренняя потребность в улучшениях.
4. **Процессный подход** и органично связанный с ним пятый принцип.
5. **Системный подход к управлению.** В соответствии с этими принципами производство товаров, услуг и управление рассматриваются как совокупность взаимосвязанных процессов, а каждый процесс – как система, имеющая вход и выход, своих «поставщиков» и «потребителей». Реализация этих принципов изменяет сложившиеся подходы к управлению, основу которого составляет иерархическая организационная структура. Практика показала, что трудности и проблемы, обусловленные тем, что единые процессы обслуживаются организационно обособленными подразделениями, можно и нужно устранять путем использования группового подхода.
6. **Постоянное улучшение.** Двадцать лет назад стратегия качества базировалась на концепции оптимального качества. Опыт японской, а затем американской и европейской промышленности показал, что устанавливать пределы улучшения недо-

пустимо, само улучшение должно быть системой и составной частью системы управления.

7. **Принятие решений, основанных на фактах.** Реализация принципа призвана исключить необоснованные решения, которые обычно называют волевыми. Необходимо собирать и анализировать фактические данные и принимать решения на их основе. Наиболее распространенными сейчас являются статистические методы контроля, анализа и регулирования.
8. **Взаимовыгодные отношения с поставщиками.** Этот принцип, суть которого в простейших случаях очевидна, необходимо реализовывать по отношению как к внешним, так и внутренним поставщикам.

2. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ДОМАШНЕГО ЗАДАНИЯ ПО КУРСУ «УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ ЭС»

2.1. ВВЕДЕНИЕ

Проблема повышения качества продукции актуальна для любого предприятия, особенно на современном этапе, когда в повышении эффективности производства все большее значение играет фактор «качество продукции», обеспечивающий ее конкурентоспособность.

Почему же актуальность проблемы повышения качества продукции возрастает на современном этапе?

Во-первых, повысились требования НТП, которые диктуют коренные качественные изменения во всех сферах научно-производственной деятельности. Ужесточаются требования к свойствам и характеристикам продукции (надежность, долговечность, сохраняемость, безотказность, эстетичность, экономичность в эксплуатации и др.). Ведь современная техника работает в сложных условиях, при критических режимах и колоссальных нагрузках. Выход из строя единицы техники влечет за собой огромные убытки для предприятия.

Улучшение качества готовой продукции, в свою очередь, требует повышения качества сырья, материалов, комплектующих изделий, внедрения новых прогрессивных технологий и методов организации производства и труда. Поэтому задача повышения качества продукции приобретает комплексный характер и затрагивает все отрасли промышленности.

Во-вторых, происходит дальнейшее углубление общественного разделения и кооперации труда, что приводит к усложнению внутриотраслевых, межотраслевых и межгосударственных производственных связей. Качество даже средней по сложности техники начинает зависеть от работы десятков, а то и сотен предприятий различных отраслей. Сегодня не существует второстепенных участков производства. Высокое качество любого изделия требует равной и безусловной ответственности каждого рабочего, ИТР, независимо от того, на какой ступени производства он находится. Результат их совместного труда – конечный продукт – удовлетворяет потребностям только в том случае, если каждый узел, блок, деталь строго соответствуют стандартам и техническим условиям.

В-третьих, по мере удовлетворения в количественном выражении потребности в средствах производства и предметах потребления (время, когда количество играло решающую роль, прошло) на первый план выдвигается их качественная характеристика. Дело в том, что для количественного потребления существуют естественные границы. Например, предприятия могут использовать только ограниченное количество предметов труда. В качественном развитии потребностей таких границ не существует, так как в результате общественного развития возникают новые потребности, растут требования к качеству продукции.

Повысить качество – это значит из того же количества сырья и материалов выпустить продукцию, более полно удовлетворяющую общественные потребности.

В-четвертых, расширяются торгово-экономические связи с другими странами, что предопределяет постоянное повышение качества продукции (конкурентная борьба за рынки сбыта). Успешно реализуют свою продукцию те предприятия, качество продукции которых выше.

В-пятых, повышение качества продукции позволяет решать не только технические и экономические, но и социальные задачи.

Проблемой повышения качества продукции занимаются во всех странах мира, о чем свидетельствуют многочисленные публикации по вопросам теории и практики повышения качества продукции. Исследования в данной области показывают, что решение проблемных вопросов обеспечения повышения качества продукции во многих странах стало национальным движением.

2.2. ОСНОВНЫЕ ЦЕЛИ И ПРИНЦИПЫ УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ

Система управления качеством продукции разрабатывается с учетом следующих принципов:

- ◆ ориентация на потребителя;
- ◆ продуктовый подход;
- ◆ охват всех стадий жизненного цикла продукции (принцип «петли качества»);
- ◆ сочетание обеспечения управления и улучшения качества;
- ◆ предупреждение проблем и др.

Такая система создается на предприятии как средство, обеспечивающее проведение определенной политики и достижение поставленной цели в области качества.

Комплексное управление качеством – это эффективная система, объединяющая деятельность различных подразделений, ответственных за разработку показателей качества, их достижение, поддержание достигнутого уровня качества, обеспечение производства и эксплуатации продукции на самом экономном уровне при полном удовлетворении требований потребителя. Комплексное управление качеством требует участия всех подразделений предприятия, включая производственное, отделы проектирования, снабжения, сбыта, технического контроля качества, стандартизации и др.

Система комплексного управления качеством имеет две взаимосвязанные цели: выработку привычки к улучшениям и стремление к совершенству.

Главная цель – стремление к совершенству. Чтобы достичь ее, необходимо воспитать у работников привычку постоянно улучшать продукцию. Привычка к улучшению направлена на достижение совершенства. Эта цель, характерная для японской системы управления качеством, одновременно близка и противоположна тому, что практикуется большинством западных компаний.

Общее в том, что уровень качества на данный период времени измеряется степенью его соответствия проектным характеристикам. Однако в западной практике краткосрочная целевая установка в отношении качества исходит из допущения определенного процента бракованных изделий. Целями борьбы за качество в Японии

являются преодоление сложившегося уровня выпуска брака и стремление к полному соответствию продукции технической документации.

Как на Западе, так и в Японии качество зависит от усилий служб маркетинга, проектирования, закупок, отделов разработки технологии, контроля качества, от производственных подразделений. Однако западные предприниматели убеждены, что следует стремиться к какому-то оптимальному уровню качества, так как склонность потребителей оплачивать дополнительные усилия по улучшению продукции имеет свои границы. Японские промышленники следуют стратегии, которая, не игнорируя затраты на повышение качества, базируется на утверждении, что постоянное улучшение качества обуславливает расширение доли рынка.

Японская система комплексного управления качеством с ее ориентацией на создание совершенного изделия связана с полным перераспределением ответственности за обеспечение качества. Она опирается на множество вспомогательных принципов, концепций, методов и средств достижения этой цели.

Выделяют следующие основные принципы системы комплексного управления качеством:

- ◆ *контроль производственного процесса* – регулирование производственного процесса путем измерения показателей качества изделий на всех этапах производства. На Западе контроль ведется на отдельных этапах производственного процесса. Руководство контролем качества имеет указания, как выбрать этап, подлежащий контролю. При этом основное внимание уделяется приемочному контролю партий готовой продукции;
- ◆ *наглядность измерения показателей качества* – дальнейшее развитие общепринятого западного принципа «измеримость показателей качества». На японских заводах везде размещены наглядные стенды. Рабочие, администрация, заказчики продукции и посетители могут ознакомиться с показателями качества, текущими результатами проверки, программами повышения качества и т. д. Западные понятия об измерении показателей качества занимают у японцев особое место, однако обеспечение наглядности – исключительно японское достижение;
- ◆ *соблюдение требований к качеству* также имеет западное происхождение, однако иногда этот принцип игнорируют.

На предприятиях зачастую уступают требованиям производителей и пропускают узлы и детали, которые не полностью соответствуют стандартам;

- ◆ *остановка линий* тесно связана с соблюдением требований к качеству. У японцев задачи обеспечения качества стоят на первом месте, а выполнение плана – на втором. Каждый рабочий может остановить производственную линию для исправления замеченных дефектов. На предприятиях же западных фирм, где на первом месте стоит план производства, производственный процесс не останавливается и не замедляется для ликвидации дефектов;
- ◆ *самостоятельное исправление ошибок* – рабочий или бригада, допустившие брак, сами переделывают бракованные детали;
- ◆ *100% проверка продукции* – контролю подлежит каждое изделие, а не выборка из партии. Этот принцип применяется к контролю готовой продукции, а иногда и к комплектующим узлам и деталям. Если проверять каждое комплектующее изделие нецелесообразно (слишком дорого), используется принцип $n = 2$, т. е. проверяется два изделия: первое и последнее. Долгосрочная цель состоит в усовершенствовании процесса, чтобы можно было осуществлять 100% проверку качества всех изделий. Главное, что отличает японский подход от принятой на Западе практики, – это контроль качества готовой продукции. Стандартная западная методика заключается в оценке всей партии изделий по результатам контроля статистической выборки.

К принципам, способствующим дальнейшему совершенствованию качества, относятся:

- 1) организация процесса улучшения качества – ответственность за обеспечение качества продукции полностью ложится на производственные подразделения, а задача управленческого персонала – обеспечение большей эффективности процесса совершенствования качества;
- 2) последовательное и целеустремленное решение проблем качества на основе передовых достижений теории и практики в этой области;
- 3) последовательная и настойчивая работа по налаживанию системы изучения рекламаций потребителей;

- 4) стремление к всеобщему участию – от национального законодательства до углубленной оценки ошибок, допускаемых изготовителями продукции;
- 5) понимание того, что даже отлично работающая система управления качеством со временем будет терять эффективность;
- 6) систематическое обучение мастеров, бригадиров и других работников передовым методам организации работ по повышению качества;
- 7) мобилизация физического и интеллектуального потенциала работников на конкретных участках производства;
- 8) систематическая пропаганда повышения качества продукции;
- 9) ежедневная проверка технического оборудования, оснастки, инструмента;
- 10) изучение и применение на практике принципов Э. Деминга, как программы действий для руководителей предприятий и их подразделений, которые хотели бы вести дела, основываясь на научных разработках и следуя здравому смыслу.

Философия Деминга основана на всеобъемлющей концепции качества и понимании природы его изменчивости, связанной с третьей стороной – потребителем. Э. Деминг подчеркивает, что потребителя необходимо рассматривать как «самую важную часть производственной цели» и что «всегда необходимо быть впереди потребителя».

2.3. СИСТЕМА КАЧЕСТВА

Система качества создается и внедряется как средство, обеспечивающее проведение определенной политики и достижение поставленной цели. Политика предприятия в области качества формируется высшим руководством предприятия.

Система качества включает: обеспечение качества; управление качеством; контроль качества. Она создается руководством предприятия как средство реализации политики в области качества. Система качества, обеспечивающая политику предприятия и достижение цели в области качества, включает:

1. Маркетинг, поиск и изучение рынка.
2. Проектирование и/или разработка технических требований, разработка продукции.

3. Материально-техническое снабжение.
4. Подготовка и разработка технических процессов.
5. Производство.
6. Контроль, проведение испытаний и обследований.
7. Упаковка и хранение.
8. Реализация и распределение
9. Монтаж и эксплуатация.
10. Техническая помощь в обслуживании.
11. Утилизация после использования.

Первичным является формирование и документальное оформление руководством фирмы (предприятия) политики в области качества.

При формировании политики могут быть следующие направления:

- ◆ улучшение экономического положения предприятия за счет улучшения качества;
- ◆ расширение или завоевание новых рынков сбыта;
- ◆ достижение технического уровня продукции, превышающего уровень ведущих предприятий и фирм;
- ◆ снижение дефектности и др.

Политика в области качества должна быть изложена в специальном документе, оформлена в виде программы (алгоритма действий).

2.4. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ДОМАШНЕГО ЗАДАНИЯ № 1 «ОБЕСПЕЧЕНИЕ КАЧЕСТВА»

Теоретическая часть. В процессе производства любых изделий невозможно получить всю продукцию тождественного качества, т. е. параметры различных единиц изделий колеблются в определенных пределах. Это колебание вызывается комплексом случайных и систематических причин, которые действуют в процессе производства и определяют погрешности данного технологического процесса. Если колебание параметров находится в допустимых пределах (в пределах допуска), то продукция является годной, если же выходит за эти пределы – брак.

Качество изготавливаемой продукции определяется качеством исходных продуктов, степенью настроенности оборудования, со-

блюдением технологических режимов, условиями окружающей среды. Для того чтобы своевременно выявлять брак и вызвавшие его причины, необходимо осуществлять систематический контроль параметров продукции, получать и обрабатывать данные о контролируемых параметрах. При операциях контроля качества приходится иметь дело с большим числом данных, характеризующих параметры изделия, условия процесса и т. д. При этом, как уже отмечалось, всегда наблюдается разброс данных. Анализируя разброс данных, можно найти решение возникающих в процессе производства проблем, например причину появления брака.

Систематизация, обработка и исследование большого числа данных с помощью различных методов с целью выявления закономерностей, которым они подчиняются, называются *статистической обработкой*; данные при этом называются *статистическими данными*, а применяемые методы – *статистическими методами*. Обычно для обработки и анализа данных используют не один, а несколько статистических методов. Это иногда позволяет получить ценную информацию, которая при анализе разброса данных только одним методом может ускользнуть.

Рассмотрим наиболее широко применяемые статистические методы контроля качества и анализа дефектов.

2.4.1. ПРИЧИННО-СЛЕДСТВЕННАЯ ДИАГРАММА

Причинно-следственная диаграмма часто называется также диаграммой Исикавы (по имени ее автора – японского профессора и специалиста в области качества), «рыбья кость», «рыбий скелет». Она позволяет выявить и систематизировать различные факторы и условия, оказывающие влияние на рассматриваемую проблему.

Качество изделия обеспечивается в процессе его изготовления и является результатом действия системы факторов и причин, составляющих процесс. Для изготовления изделий требуемого качества необходимо наиболее важным показателям качества поставить в соответствие различные факторы производства и контролировать зависимость между характеристиками качества (являющимися следствием) и параметрами процесса (системой причинных факторов). Причинно-следственная диаграмма в наглядной форме и показывает зависимость между характеристиками качества и влияющими на них факторами производства.

Как показано на рис. 2.1, характеристики качества, являющиеся следствием, определяются различными причинами – A, B, \dots – обозначенными стрелками. Эти причины являются, в свою очередь, следствием других причин: A_1, A_2, \dots (для причины A); B_1, B_2, \dots (для причины B) и т. д. Все они также обозначены стрелками, направленными к соответствующим следствиям. Вторичным причинам могут соответствовать третичные причины – G'_1 и т. д.

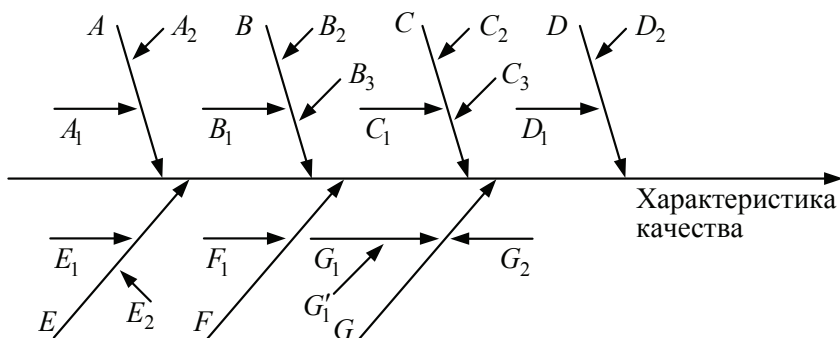


Рис. 2.1. Причинно-следственная диаграмма

При поиске причин важно помнить, что характеристики, являющиеся следствием, обязательно испытывают разброс. Поиск среди этих причин факторов, оказывающих особенно большое влияние на разброс характеристик (т. е. на результат), называют *исследованием причин*.

На рис. 2.2 показана причинно-следственная диаграмма, отражающая зависимость брака от факторов и условий производства.

Для составления причинно-следственной диаграммы необходимо подобрать максимальное число факторов, имеющих отношение к характеристике, которая вышла за пределы допустимых значений. При этом для исследования причин явления необходимо привлекать и третьих лиц, не имеющих непосредственного отношения к работе, так как у них может оказаться неожиданный подход к выявлению и анализу причин, которого могут не заметить лица, привычные к данной работе.

Наиболее эффективным считается групповой метод анализа причин, называемый «мозговым штурмом».



Рис. 2.2. Причинно-следственная диаграмма брака

Рекомендуется следующий порядок составления причинно-следственной диаграммы:

- ♦ выбирается проблема для решения – прямая горизонтальная стрелка;
- ♦ выявляются наиболее существенные факторы и условия, влияющие на проблему (причины первого порядка), – наклонные большие стрелки;
- ♦ выявляется совокупность причин, влияющих на существенные факторы и условия (причины второго, третьего и последующих порядков), – наклонные маленькие стрелки;
- ♦ анализируется диаграмма: расставляются факторы и условия по значимости, устанавливаются те причины, которые в данный момент поддаются корректировке;
- ♦ составляется план дальнейших действий.

В ходе обсуждения выделяются наиболее существенные факторы. Те из них, степень важности которых можно выразить количественно, анализируются с помощью диаграммы Парето.

Сложная причинно-следственная диаграмма анализируется с помощью расслоения по отдельным факторам, таким как мате-

риалы, исполнители, время выполнения операций и др. При выявлении заметной разницы в разбросе между условиями принимают соответствующие меры для ликвидации этой разницы и устранения причины ее появления.

Причинно-следственная диаграмма как метод решения возникающих проблем используется не только в производственной сфере, но и для привлечения новых клиентов, для оценки конфликтов между подразделениями предприятия, для контроля складских операций и др.

2.4.2. ДИАГРАММА ПАРЕТО

Диаграмму Парето, названную по имени итальянского экономиста Парето (1845–1923), часто используют для анализа причин брака. Она применяется, когда требуется наглядно представить относительную важность всех причин появления брака и выявить причины, имеющие наибольшую долю (наибольший процентный вклад), с тем, чтобы выработать меры по первоочередному устранению этих причин. Сравнивая диаграммы Парето, построенные по данным до и после улучшения процесса, оценивают эффективность принятых мер.

Диаграмма Парето используется и в противоположном случае, когда положительный опыт отдельных цехов или подразделений хотят внедрить на всем предприятии. С помощью диаграмм Парето выявляют основные причины успехов и широко пропагандируют эффективные методы работы.

Диаграмма Парето строится в виде столбчатого графика, столбики которого соответствуют отдельным факторам, являющимся причинами возникновения проблемы. Высота столбика соответствует доле фактора в общей величине потерь (дефектов). Затем строится кривая кумулятивной суммы.

На рис. 2.3 приведен пример диаграммы Парето, построенной по данным о дефектной продукции.

Исходя из графика следует, что можно установить сравнительно небольшое число причин, устранение которых значительно уменьшит брак. Устранение причин брака проводится в порядке их значимости до тех пор, пока дальнейшее улучшение процесса окажется экономически неоправданным.

Диаграмму Парето иногда называют У80/20Ф, поскольку в ней находит отражение известный принцип статистики, заключаю-

щийся в том, что 80% выпуска некачественной продукции связано всего с 20% всех возможных причин.

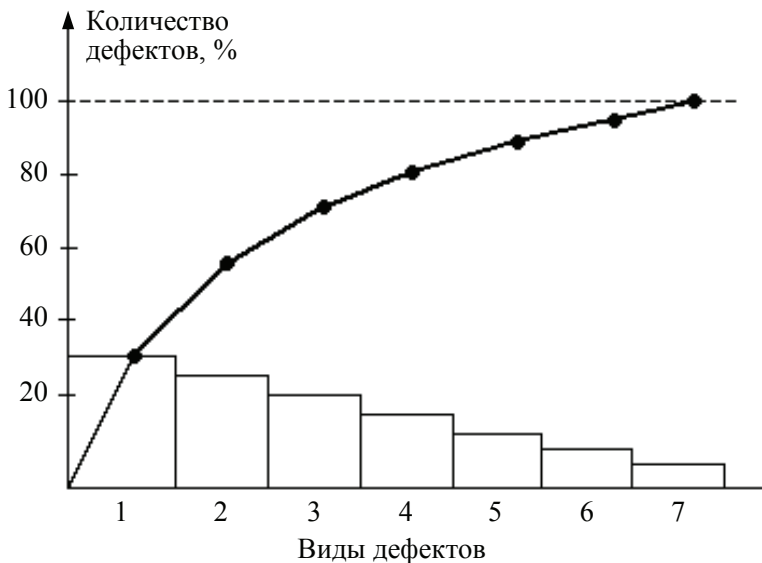


Рис. 2.3. Диаграмма Парето

Если применить методiku построения кривой Парето и построить дополнительный график, отражающий виды дефектов и связанную с ними долю ущерба от брака (рис. 2.4), можно прийти к первоочередному решению по устранению определенного вида брака. При этом область наибольшего числа дефектов может не соответствовать области наибольшего ущерба от брака, поскольку имеющая этот дефект деталь гораздо дешевле, менее важна и легче поддается исправлению.

Диаграмму Парето следует строить в зависимости от конкретной задачи. Если, например, вся дефектная продукция одного типоразмера, то по вертикали лучше откладывать процент дефектных изделий. Если же в анализ входит несколько типов изделий, то по вертикали следует откладывать ущерб от дефектных изделий в процентном или денежном выражении.

Если в цехе изготавливается большое количество типоразмеров изделий, то по горизонтали откладываются типоразмеры деталей, внутри них виды дефектов. Может оказаться, что на один типоразмер приходится очень большая часть всего ущерба от брака.

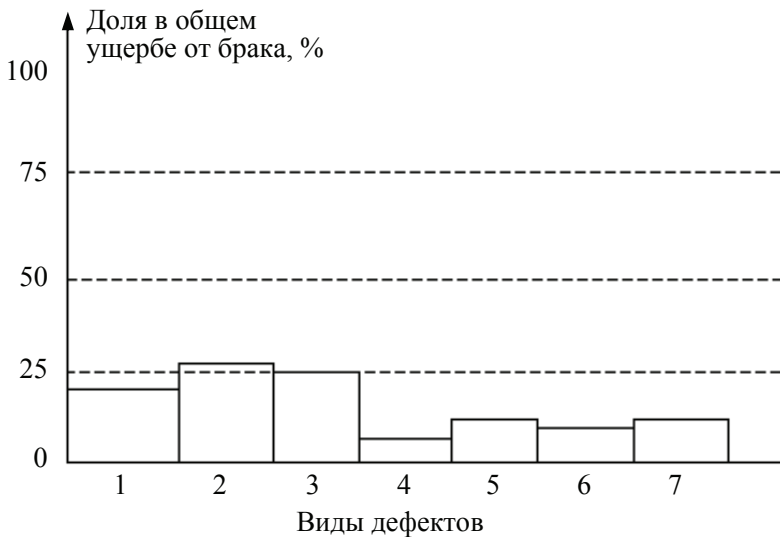


Рис. 2.4. Взаимосвязь дефектов и ущерба

Диаграмму Парето целесообразно применять вместе с причинно-следственной диаграммой. С ее помощью можно оценить эффективность принятых мер по улучшению качества продукции, построив ее до и после внесения изменений. Диаграммы Парето целесообразно строить и для анализа широкого круга проблем в любой сфере деятельности фирмы: в финансовой сфере, в сфере сбыта, в сфере материально-технического обеспечения, в сфере производства, в сфере делопроизводства и др.

Общие правила построения диаграммы Парето:

- ♦ решить, какие проблемы (причины проблем) надлежит исследовать, какие данные собирать и как их классифицировать;
- ♦ разработать формы для регистрации исходных данных (например, контрольный листок);
- ♦ собрать данные, заполнив формы, и подсчитать итоги по каждому исследуемому фактору (показателю, признаку);
- ♦ для построения диаграммы Парето подготовить бланк таблицы, предусмотрев в нем графы для итогов по каждому проверяемому фактору в отдельности, накопленной суммы числа появлений соответствующего фактора, процентов к общему итогу и накопленных процентов;

- ◆ заполнить таблицу, расположив данные, полученные по проверяемому фактору, в порядке убывания значимости;
- ◆ подготовить оси (одну горизонтальную и две вертикальные линии) для построения диаграммы. Нанести на левую ось ординат шкалу с интервалами от 0 до общей суммы числа выявленных факторов, а на правую ось ординат – шкалу с интервалами от 0 до 100, отражающую процентную меру фактора. Разделить ось абсцисс на интервалы в соответствии с числом исследуемых факторов или относительной частотой;
- ◆ построить столбиковую диаграмму. Высота столбца (откладывается по левой шкале) равна числу появлений соответствующего фактора. Столбцы располагают в порядке убывания (уменьшения значимости фактора). Последний столбец характеризует «прочие», т. е. малозначимые факторы, и может быть выше соседних;
- ◆ начертить кумулятивную кривую (кривую Парето) – ломаную, соединяющую точки накопленных сумм (количественной меры факторов или процентов). Каждую точку ставят над соответствующим столбцом столбиковой диаграммы, ориентируясь на его правую сторону;
- ◆ нанести на диаграмму все обозначения и надписи;
- ◆ провести анализ диаграммы Парето.

Примечание. Существуют и другие варианты построения диаграммы Парето.

2.4.3. ГИСТОГРАММА

Гистограмма представляет собой столбчатый график, построенный по полученным за определенный период (за неделю, месяц и т. д.) данным, которые разбиваются на несколько интервалов; число данных, попадающих в каждый из интервалов (частота), выражается высотой столбика. Пример гистограммы зависимости частоты от типоразмера элементов приведен на рис. 2.5.

Для удобства анализа гистограмму обычно изображают в виде плавной аппроксимирующей линии, называемой *кривой распределения частоты*.

На практике могут встречаться различные кривые распределения (рис. 2.6).

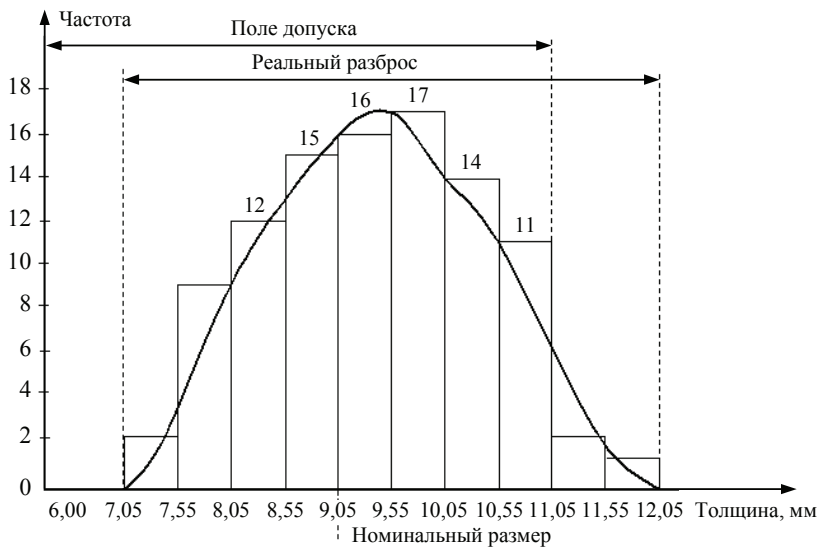


Рис. 2.5. Гистограмма

На рис. 2.6, *a* поле допуска намного шире, чем кривая распределения. В этом случае станок может обеспечить выпуск деталей в пределах поля допуска со значительным запасом точности, а это значит, что можно изготавливать детали на менее точных станках, как правило, менее дорогостоящих.

На рис. 2.6, *б* поле допуска равно ширине кривой распределения. На первый взгляд, это идеальные условия, однако на практике очень трудно обеспечить такое положение, оно неустойчиво и может произойти сдвиг кривой распределения в ту или другую сторону относительно поля допуска, что приведет к появлению брака (рис. 2.6, *з*).

На рис. 2.6, *в* кривая распределения выходит за пределы поля допуска, что свидетельствует о наличии брака. В этом случае проблему можно решить несколькими способами:

- ◆ усовершенствовать процесс, использовать лучшие станки, поручить выполнение работы более квалифицированному рабочему;
- ◆ если возможно, расширить поле допуска;
- ◆ проводить сплошной контроль деталей, бракуя те, которые вышли за пределы допуска. При этом неизбежны потери, связанные с браком;

- ◆ с помощью перенастройки станка сдвинуть кривую в сторону исправимого брака (для диаметра вала в сторону верхнего предела, а для отверстия – в сторону нижнего предела). Однако следует иметь в виду, что в определенный момент расходы на исправление могут превысить ущерб от неисправимого брака.

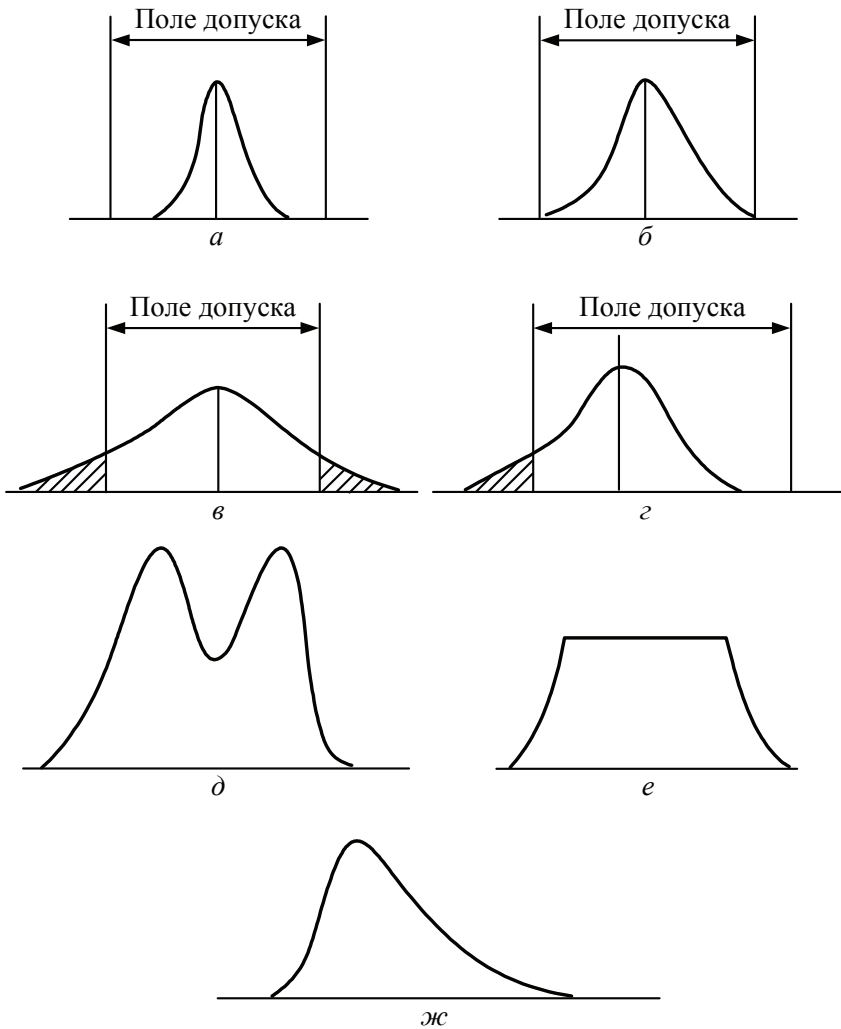


Рис. 2.6. Кривые распределения

Если кривая распределения имеет две вершины с провалом между ними (рис. 2.6, *д*), это отражает случай объединения двух распределений с разными средними значениями, например в случае наличия разницы между двумя станками, между двумя видами материалов, между двумя исполнителями и т. д. В этом случае можно провести расслоение по двум видам фактора, исследовать причины различия и принять соответствующие меры для его устранения. Такое распределение может быть и в том случае, если станок или процесс имеет два устойчивых положения и самопроизвольно переключается с одного на другое.

Кривая с плоской вершиной (рис. 2.6, *е*) означает, что настройка процесса плавно смещается либо объединяются несколько распределений, в которых средние значения имеют небольшую разницу между собой. В последнем случае анализ гистограммы следует проводить, используя метод расслоения.

Кривая, вытянутая в сторону (рис. 2.6, *ж*), получается, когда невозможно получить значения ниже (выше) определенного.

2.4.4. ДИАГРАММА РАЗБРОСА

Диаграмма разброса используется для выявления зависимости одних показателей от других, например для выявления зависимости между показателями качества и основными факторами производства при анализе причинно-следственной диаграммы.

Диаграмма разброса строится как график зависимости между двумя параметрами. С помощью диаграммы разброса можно анализировать зависимость между влияющими факторами (причиной) и характеристиками (следствием), между двумя факторами, между двумя характеристиками.

При построении диаграммы разброса на оси абсцисс откладываются значения параметра аргумента, а на оси ординат – параметра функции. Данные измерений изображаются точками на графике. Для получения достоверных результатов необходимо, чтобы число данных было не менее 30. По виду диаграммы разброса можно судить о наличии или отсутствии между двумя параметрами корреляционной зависимости. О наличии корреляционной зависимости между параметрами можно говорить в том случае, когда разброс данных имеет линейную тенденцию.

Характер корреляционной зависимости, который определяется видом диаграммы разброса, дает представление о том, каким образом будет изменяться один из параметров при определенных изменениях другого (рис. 2.7).

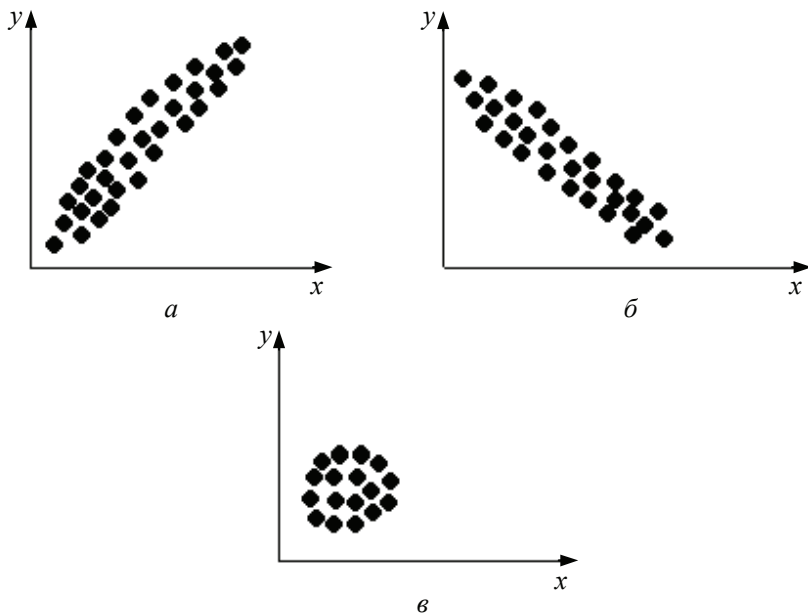


Рис. 2.7. Диаграммы разброса:
a – прямая корреляция; *б* – обратная (отрицательная) корреляция;
в – отсутствие корреляции

Так, при увеличении x на диаграмме, изображенной на рис. 2.7, *a*, y также будет увеличиваться (прямая корреляция). В этом случае, контролируя причинный фактор x , можно удерживать стабильной характеристику y .

На следующей диаграмме (рис. 2.7, *б*) показан пример обратной (отрицательной) корреляции. При увеличении x характеристика y уменьшается. Если причинный фактор x держать под контролем, характеристика y остается стабильной.

На третьей диаграмме (рис. 2.7, *в*) показан пример отсутствия корреляции, когда никакой выраженной зависимости между x и y не наблюдается. В этом случае необходимо продолжить поиск факторов, коррелирующих с y .

Оценка степени корреляционной зависимости осуществляется с помощью коэффициента корреляции, который вычисляется по формуле

$$r = \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y}) \right) / S_x S_y,$$

где X_i, Y_i – значения параметров x и y для i -го измерения; \bar{X}, \bar{Y} – средние арифметические значения величин x и y ; S_x, S_y – стандартные отклонения величин x и y ; n – число измерений (объем выборки).

Если $r = \pm 1$ – это свидетельствует о наличии корреляционной зависимости; если $r = 0$ – корреляционная зависимость отсутствует. Чем ближе r к 1, тем теснее зависимость между параметрами.

С помощью диаграммы разброса можно грамотно решать многие вопросы, например установить зависимость точности обработки детали от параметров станка, технологического приспособления, инструмента, зависимость прибыли от сокращения брака и др.

2.4.5. ПОКАЗАТЕЛИ КАЧЕСТВА

Показатели назначения характеризуют свойства продукции, определяющие основные функции, для выполнения которых она предназначена, и обуславливающие область ее применения. Группа разделена на четыре подгруппы:

- ◆ классификационные показатели;
- ◆ показатели функциональные и технической эффективности;
- ◆ конструктивные показатели;
- ◆ показатели состава и структуры.

Показатели надежности определяют свойство объекта сохранять во времени в установленных пределах значения всех параметров, характеризующих способность выполнять требуемые функции в заданных режимах и условиях применения, технического обслуживания, ремонта, хранения и транспортирования. Надежность – сложное свойство, которое образуется в результате объединения четырех подгрупп показателей: безотказности; долговечности; ремонтпригодности; сохраняемости.

Показатели безотказности характеризуют свойство объекта непрерывно сохранять работоспособность в течение некоторого

времени или некоторой наработке. К ним относятся: вероятность безотказной работы $P(t)$; интенсивность отказов $\lambda(t)$; параметр отказов $\varphi(t)$; установленная безотказная наработка T_y ; средняя наработка на отказ T_0 ; средняя наработка до отказа T_{cp} ; γ -процентная наработка до отказа T_γ .

Показатели долговечности характеризуют свойство объекта сохранять работоспособное состояние до наступления предельного состояния при установленной системе технического обслуживания и ремонта. К ним относят: средний ресурс T_p ; γ -процентный ресурс $T_{p\gamma}$ и др.

Понятие «ресурс» применяют при характеристике долговечности по наработке объекта, а «срок службы» – по календарному времени.

Показатели ремонтпригодности характеризуют свойство объекта, заключающееся в приспособленности к предупреждению и обнаружению причин повреждений и их устранению путем проведения технического обслуживания и ремонта. К ним относят: среднее время восстановления работоспособного состояния T_B ; вероятность восстановления работоспособного состояния $P_B(t)$ и др.

Показатели сохраняемости характеризуют свойство объекта сохранять значения показателей безопасности, долговечности и ремонтпригодности в течение и после хранения и/или транспортирования. К ним относят: средний срок сохраняемости T_c ; γ -процентный срок сохраняемости $T_{c\gamma}$; назначенный срок хранения T_{ch} ; установленный срок сохраняемости (срок сохраняемости) T_{cy} .

Показатели технологичности характеризуют совокупность свойств конструкции изделия, которая определяет ее приспособленность к достижению оптимальных затрат при производстве, эксплуатации и ремонте для заданных показателей качества, объема выпуска и условий выполнения работ.

Показатели унификации характеризуют степень использования в продукции стандартизованных изделий и уровень унификации составных частей изделий. Составные части изделия – это сборочные единицы, комплекты и комплексы. К показателям унификации

относят коэффициенты: применяемости; повторяемости; взаимной унификации для групп изделий; унификации для группы изделий. При расчете указанных показателей применяют два уровня расчета: по деталям и сборочным единицам.

Патентно-правовые показатели характеризуют патентную защиту и патентную чистоту продукции, они важны для определения ее конкурентоспособности. Официальными документами, свидетельствующими о степени патентной защиты и патентной чистоты, являются «Патентный формуляр» и «Карта технического уровня и качества промышленной продукции». В этой группе выделяют две подгруппы показателей: патентной защиты и патентной чистоты.

Эргономические показатели характеризуют систему «человек–изделие» (или «человек–машина») с позиций человека, как бы дают ей «человеческое измерение». Они устанавливают соответствие свойств изделия (машины) тем или иным свойствам человека. Эргономические показатели охватывают всю область факторов, которые влияют на работающего человека и используемое (эксплуатируемое) им изделие.

Расчет показателей влияния

В результате последовательного выполнения технологических операций ЭРЭ оформляются в функциональное устройство. Погрешности ЭРЭ прежде всего определяют точность выходных параметров электронного устройства. Конструкторская точность устройства рассчитывается как погрешность выходного параметра, обусловленная погрешностями ЭРЭ. При этом предполагается известной аналитическая функция, определяющая зависимость выходного параметра от параметров ЭРЭ:

$$y = f(q_1, q_2, \dots, q_i, \dots, q_n), \quad (2.1)$$

где $q_1, q_2, \dots, q_i, \dots, q_n$ – параметры ЭРЭ.

При расчете отклонения параметров от номинальных значений отклонения параметров считаются малыми, а их изменения в пределах допусков – линейными. Разложив выражение (2.1) в ряд Тейлора, удержав первые члены ряда и перейдя к конечным приращениям, получим абсолютное уравнение погрешности выходного параметра:

$$\begin{aligned} \Delta y &= \frac{\partial f(q_1, q_2, \dots, q_n)}{\partial q_1} \Delta q_1 + \frac{\partial f(q_1, q_2, \dots, q_n)}{\partial q_2} \Delta q_2 + \dots \\ &\dots + \frac{\partial f(q_1, q_2, \dots, q_n)}{\partial q_n} \Delta q_n = \sum_{i=1}^n \left. \frac{\partial f(q_1, q_2, \dots, q_n)}{\partial q_i} \right|_{q_i=q_{i_0}} \cdot \Delta q_i, \end{aligned} \quad (2.2)$$

где $\Delta q_1, \Delta q_2, \dots, \Delta q_n$ – конечные приращения параметров ЭРЭ.

Выражение (2.2) удобно для расчетов, если все параметры имеют одинаковую размерность, так как погрешности Δq_i являются размерными величинами. При расчете точности параметров электронных устройств в выражение (2.2) входят погрешности различных физических величин, поэтому удобнее оперировать безразмерными относительными погрешностями. Разделив уравнение (2.2) на (2.1), получим исходное выражение для определения допусков на выходные параметры:

$$\frac{\Delta y}{y} = \sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial f(q_1, q_2, \dots, q_n)}{\partial q_i} \cdot \frac{q_i}{y} \right) \bigg|_{q_i=q_{i_0}} \cdot \frac{\Delta q_i}{q_i}, \quad (2.3)$$

где Δy – абсолютная погрешность выходного параметра; $\Delta y/y$ – относительная погрешность выходного параметра; Δq_i – абсолютные погрешности параметров ЭРЭ; $\Delta q_i/q_i$ – относительные погрешности параметров ЭРЭ.

Анализ уравнений погрешности позволяет определить степень влияния параметров ЭРЭ на выходную характеристику (показатель качества). Степень влияния количественно оценивается с помощью численных значений сомножителей из уравнений погрешностей.

Из абсолютного уравнения погрешности следует:

$$A_{q_i} = \left. \frac{\partial f(q_i)}{\partial q_i} \right|_{q_i=q_{i_0}}$$

– абсолютный коэффициент влияния ЭРЭ, вычисленный при номинальных значениях параметров q_i ;

$$B_{q_i} = \left(\frac{\partial f(q_i)}{\partial q_i} \cdot \frac{q_i}{y} \right) \bigg|_{q_i=q_{i_0}}$$

– относительный коэффициент влияния ЭРЭ, вычисленный при номинальных значениях параметров q_i .

Коэффициенты влияния ЭРЭ на выходной параметр электронного устройства находят в результате преобразования аналитической зависимости, связывающей эти элементы и выходные параметры. В большинстве случаев аналитическое выражение выходного параметра представляет собой дробную линейную, дробную рациональную или, реже, дробную иррациональную функцию параметров ЭРЭ. Для этих функций можно получить формулы определения коэффициентов влияния, исключая сложные промежуточные преобразования и вычисления.

Предположим, что аналитические выражения выходного параметра представляют собой отношения многочленов $y = Q/F$. Подставив это отношение в выражение коэффициента влияния, получим

$$A_i = \left(F \frac{\partial Q}{\partial x_i} - Q \frac{\partial F}{\partial x_i} \right) \frac{x_i}{Q \cdot F}. \quad (2.4)$$

Если показатель степени параметра X в числителе отношения многочленов Q/F равен l , а в знаменателе – t , то, выполнив дифференцирование и необходимые преобразования выражения (2.4), получим

$$A_i = \frac{l \cdot Q(x_i)}{Q} - \frac{t \cdot F(x_i)}{F}, \quad (2.5)$$

где $Q(x_i)$ и $F(x_i)$ – части многочленов Q и F , содержащие X_i .

Выражение (2.5) справедливо, если показатели степени l и t параметра ЭРЭ являются дробными числами, т. е. выражение (2.5) – иррациональная дробь.

Если аналитическое выражение для выходного параметра – дробная линейная функция, то формула определения коэффициента влияния примет вид

$$A_i = \frac{Q(x_i)}{Q} - \frac{F(x_i)}{F}. \quad (2.6)$$

Если параметр i -го КЭ не входит в знаменатель выражения или же знаменатель равен единице, то получим соответственно:

$$A_i = \frac{l \cdot Q(x_i)}{Q};$$

$$A_i = \frac{Q(x_i)}{Q}.$$

Если параметр X_i не входит в числитель исходного выражения или числитель этого выражения равен единице, коэффициенты влияния определяются по формулам:

$$A_i = -\frac{t \cdot F(x_i)}{F};$$

$$A_i = -\frac{F(x_i)}{F}.$$

Расчет производственного допуска

Как правило, все погрешности, входящие в выражение (2.3), являются случайными величинами и описываются законами распределения. На рис. 2.8 показан общий вид распределения случайной величины и основные числовые характеристики распределения. Этими характеристиками являются:

- ◆ математическое ожидание или среднее значение отклонений $M(\Delta q_i/q_i)$ параметра от номинала, которое обычно характеризует центр группирования отклонений случайной величины;
- ◆ среднее квадратическое отклонение $\delta(\Delta q_i/q_i)$, характеризующее меру рассеивания случайной величины от центра группирования и форму кривой плотности распределения $f(\Delta q_i/q_i)$;
- ◆ асимметрия распределения $a = \alpha \cdot \delta(\Delta q_i/q_i)$;
- ◆ коэффициент относительного рассеивания $k_i = \lambda_i/\lambda_n = 3\lambda_i$ (здесь λ_i – относительное среднее квадратическое отклонение данного закона распределения; λ_n – относительное среднее квадратическое отклонение нормального закона распределения), который позволяет привести среднее квадратическое отклонение и допуски любого закона распре-

ления к среднему квадратическому отклонению нормально-го закона и, таким образом, произвести их суммирование.

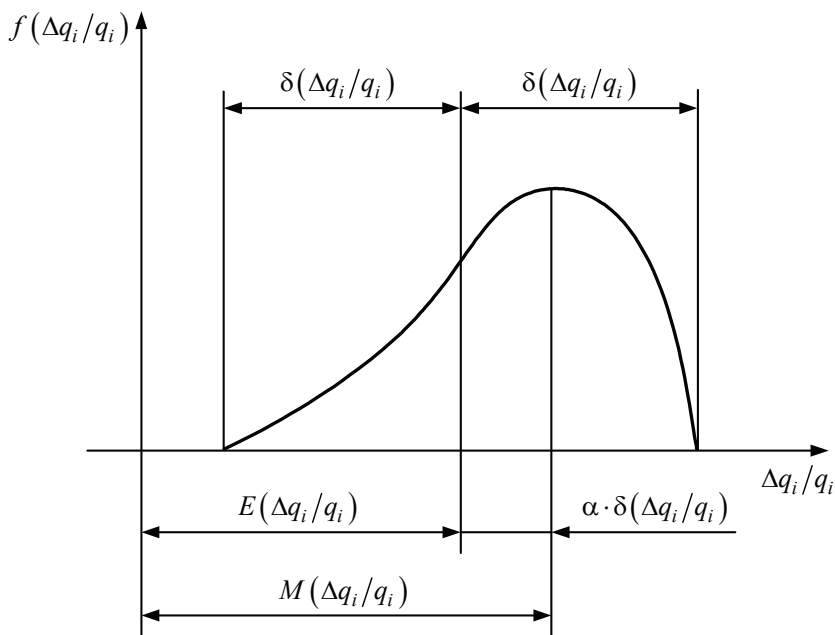


Рис. 2.8. Асимметричный закон распределения

Поскольку для характеристики отклонений параметров элементов в технике используются величины половины поля допусков δ_i с координатой середины поля допуска E_i , а в теории вероятности и математической статистике – величины математического ожидания и среднеквадратичного отклонения, необходимо связать их между собой. Эта связь осуществляется с помощью коэффициента относительного рассеивания k_i и коэффициента относительной асимметрии

$$\alpha_i = \frac{M(x_i) - E(x_i)}{\delta_i}.$$

Используя уравнение погрешности (2.3), с помощью этих коэффициентов можно получить соотношения, устанавливающие связь между числовыми характеристиками законов распределения погрешностей параметров ЭРЭ и выходных параметров электрон-

ных устройств. Значения коэффициентов α_i и k_i при различных законах распределения параметров ЭРЭ приведены в табл. 2.1.

Таблица 2.1

Значение коэффициентов α_i и k_i при различных законах распределения параметров ЭРЭ

Закон распределения	α_i	k_i	Примечание
Нормальный	0	1	
Симпсона (равнобедренного треугольника)	0	1,22	
Равной вероятности	0	1,73	
Равномерного возрастания	0,33	1,41	
Арксинуса (арккосинуса)	0	2,12	
Максвелла	-0,28	1,14	
Композиция нормального закона и закона равной вероятности	0	от 1,1 до 1,5	k_i зависит от отношения $\delta_i/3\sigma_i$
Композиция нормального и равновозрастающего законов	от 0 до 0,33	от 1 до 1,41	
Антимодальное распределение из отрезков прямых	0	2,12	
Антимодальное распределение из ветвей нормального закона	0	2,28	

На основании правила сложения математических ожиданий получим выражение для расчета среднего значения относительной погрешности выходного параметра:

$$M\left(\frac{\Delta y}{y}\right) = E\left(\frac{\Delta y}{y}\right) = \sum_{i=1}^n B_i \left(E\left(\frac{\Delta q_i}{q_i}\right) + \alpha_i \delta \left(\frac{\Delta q_i}{q_i}\right) \right). \quad (2.7)$$

На основании одной из центральных предельных теорем математической статистики можно сделать допущение о том, что погрешность выходного параметра подчиняется нормальному закону распределения. Часто допуски и погрешности ЭРЭ расположены симметрично относительно номинального значения, тогда расчет среднего значения относительной погрешности выходного параметра можно производить по формуле, в которой предполагается равенство величины математического ожидания и середины полей допусков всех параметров схемы:

$$M\left(\frac{\Delta y}{y}\right) = E\left(\frac{\Delta y}{y}\right) = \sum_{i=1}^n B_i \cdot M\left(\frac{\Delta q_i}{q_i}\right). \quad (2.8)$$

Отклонение выходного параметра от его среднего значения (половина допуска на этот параметр) определяется на основании правила сложения дисперсий. В электронных устройствах погрешности большинства параметров полупроводниковых приборов и интегральных микросхем связаны между собой, поэтому отклонение выходного параметра от среднего значения определяется на основании теоремы о суммировании дисперсий случайных величин, связанных корреляционной зависимостью:

$$\delta\left(\frac{\Delta y}{y}\right) = \gamma \sqrt{\sum_{i=1}^n B_i^2 k_i^2 \delta^2\left(\frac{\Delta q_i}{q_i}\right) + 2 \sum_{i \neq j} r_{ij} B_i B_j k_i k_j \delta\left(\frac{\Delta q_i}{q_i}\right) \cdot \delta\left(\frac{\Delta q_j}{q_j}\right)}. \quad (2.9)$$

Коэффициент гарантированной надежности γ корректирует величину $\delta(\Delta y/y)$ для заданной надежности. В формуле (2.9) по i суммируются все независимые и зависимые погрешности, а по $i \neq j$ – пары погрешностей, связанных функциональной или корреляционной зависимостью. Коэффициент корреляции между случайными параметрами x_i и x_j изменяется в пределах $-1 \leq r_{ij} \leq +1$. При функциональной зависимости параметров $r_{ij} = \pm 1$, а если параметры независимы, $r_{ij} = 0$. Значения коэффициента корреляции определяются экспериментально или на основе паспортных данных. Значения коэффициента гарантированной надежности γ при заданной надежности на выходной параметр P_r приведены в табл. 2.2.

Таблица 2.2

Значение коэффициента гарантированной надежности γ
при заданной надежности на выходной параметр P_r

P_r	γ	P_r	γ
0,80	0,427	0,9800	0,777
0,85	0,480	0,9900	0,857
0,90	0,550	0,9973	1,000
0,95	0,653	0,9990	1,100
0,96	0,685	0,9995	1,167
0,97	0,718	0,9999	1,300

Если погрешности параметров ЭРЭ взаимно независимы, выражение (2.9) примет вид

$$\delta\left(\frac{\Delta y}{y}\right) = \gamma \sqrt{\sum_{i=1}^n B_i^2 k_i^2 \delta^2} \left(\frac{\Delta q_i}{q_i}\right). \quad (2.10)$$

Рассчитав среднее значение погрешности выходного параметра и половину поля допуска, можно определить предельные значения погрешности

$$\delta\left(\frac{\Delta y}{y}\right)_{\text{пр}} = M\left(\frac{\Delta y}{y}\right) \pm \delta\left(\frac{\Delta y}{y}\right) \quad (2.11)$$

и предельные значения выходного параметра:

$$y_{\text{пр}} = y_0 + M\left(\frac{\Delta y}{y}\right) \cdot \frac{y_0}{100} \pm \delta\left(\frac{\Delta y}{y}\right) \cdot \frac{y_0}{100}; \quad (2.12)$$

$$y_0 = M(y) = f(q_{1_0}, q_{2_0}, \dots, q_{n_0}) + \frac{1}{2} \sum_{j,k} r_{j,k} B_j B_k \delta_j \delta_k + \frac{1}{2} \sum_i B_{ii} D_i, \quad (2.13)$$

где первое слагаемое определяет численное значение $M(y)$, вычисляется при номинальных значениях параметров ЭРЭ; второе слагаемое является добавлением и уточнением первого слагаемого, если в исследуемом узле имеет место корреляция; третье слагаемое учитывает наличие нелинейности исходного выражения на интервале изменения q_i , где $B_{ii} = \partial^2 f / \partial q_i^2$; D_i – дисперсия.

Расчет погрешностей выходных параметров

Выше определялась конструкторская точность выходных параметров электронного устройства. Обычно погрешность выходного параметра, обусловленная погрешностями ЭРЭ, принимается за производственный допуск. При этом не учитывается влияние технологических операций.

Помимо погрешностей параметров ЭРЭ и влияния технологических операций, на изменение параметров электронных устройств в процессе эксплуатации оказывают влияние старение ЭРЭ, воздействие влажности, температуры. Влияние температуры составляет 60–70%, а совместное действие температуры, влажности и старения – 95–98% нестабильности выходных параметров.

Влияние эксплуатационных факторов учитывается с помощью соответствующих коэффициентов выходного параметра: k_T – температурного коэффициента (ТК) выходного параметра ЭС; k_B – коэффициента влияния влажности (КВ) на выходной параметр; k_C – коэффициента старения (КС).

Исходным уравнением для определения погрешностей выходных параметров, обусловленных старением, влиянием температуры или влажности, является уравнение (2.3). В этом случае под величиной $\Delta q_i/q_i$ понимаются температурные, временные (для старения) и другие эксплуатационные погрешности. Расчетные формулы аналогичны формулам (2.7)–(2.11). При расчете принимается принцип независимости погрешностей, возникающих из-за старения, воздействия влажности и температуры.

Особенности расчета температурных погрешностей. Температурную погрешность выходного параметра электронного устройства определим, переписав выражение (2.3) в виде

$$(\Delta y/y)_T = \left(\sum_{i=1}^n \alpha_i B_i \right) \Delta t,$$

где

$$\Delta t = t - 20^\circ\text{C}$$

– разность между предельной рабочей и нормальной температурой; α_i – температурный коэффициент i -го параметра электронной схемы.

Сомножитель в квадратных скобках в правой части предыдущего выражения представляет собой ТК выходного параметра.

Расчет ТК выходных параметров электронного устройства ведется при допущении, что распределение ТК в заданных пределах подчиняется нормальному закону. Тогда, аналогично выражению (2.8), среднее значение ТК выходного параметра:

$$M(k_T) = \sum_{i=1}^n B_i \cdot M(\alpha_i). \quad (2.14)$$

Величина половины поля рассеивания ТК

$$\delta(k_T) = \gamma \sqrt{\sum_{i=1}^n B_i^2 \delta^2(\alpha_i) + 2 \sum_{i \neq j} r_{ij} B_i B_j \delta(\alpha_i) \delta(\alpha_j)}. \quad (2.15)$$

Предельные значения ТК

$$k_{Tп} = M(k_T) \pm \delta(k_T). \quad (2.16)$$

Предельные значения температурных отклонений выходного параметра рассчитываются как для максимальной, так и для минимальной рабочей температуры. Пределы температурных отклонений параметров электронных устройств:

$$\delta_{Ty} = M\left(\frac{\Delta y}{y}\right)_{\pm} \pm \delta\left(\frac{\Delta y}{y}\right)_{\pm} = k_{Tп} \Delta t_{\pm}. \quad (2.17)$$

Здесь величины с индексами « \pm » вычисляются для положительных и отрицательных значений температуры.

При каждой конкретной температуре распределения плотности вероятности температурных погрешностей соответствуют нормальному закону распределения. При изменении температуры в любую стороны от 20°C происходит смещение и увеличение поля рассеивания температурных погрешностей.

Температурные допуски рассчитываются при допущении, что изменения параметров под воздействием температуры линейны. Чаще эти изменения носят нелинейный характер, а закон этих изменений неизвестен. В документации указывается лишь максимальная величина относительного изменения параметров в крайних точках рабочего интервала температур.

Особенности расчета погрешностей, обусловленных влиянием влаги

Параметры механических деталей, полупроводниковых приборов, конденсаторов и проволочных резисторов под непосредственным воздействием влаги практически не меняются (изменения, вызванные коррозией и плесенью, можно считать независимыми от влажности). Изменениям под действием влажности подвержены параметры непроволочных и пленочных резисторов. Отклонения выходных параметров электронных устройств, обусловленные влажностью, не превышают 15% от общей нестабильности выходных параметров.

Аналогично расчету температурных погрешностей, $M(k_B)$, $\delta(k_B)$ и $k_{Bпр}$ определяются соответственно по формулам (2.14), (2.15) и (2.16) с заменой k_T на k_B и α_i на $k_{B.i}$.

Особенности расчета погрешностей, обусловленных старением ЭРЭ

В зависимости от времени работы нестабильность характеристик ЭРЭ, вызванная старением, колеблется от единиц до нескольких десятков процентов от общей нестабильности. Погрешности старения приводят к постепенным отказам электронных устройств.

Распределения КС элементов схем подчинены нормальному закону. Изменение выходных параметров в результате старения ЭРЭ аналогичны изменениям под воздействием температуры, хотя эти формулы имеют различный физический смысл. Поэтому числовые характеристики КС электронного устройства или его функционального узла определяются из выражений (2.14), (2.15), (2.16) при замене k_T на k_c и α_i на k_{ci} . Предельное отклонение выходного параметра от его номинального значения в результате старения за период работы Δt определяется из выражения (2.17) при замене Δt_{\pm} на Δt .

Определение эксплуатационной точности выходных параметров

Величина эксплуатационной, или суммарной, погрешности определяется по найденным погрешностям: производственной, температурной, влажности и старения. Сначала определяются максимальные пределы смещения среднего значения суммарного поля рассеивания путем раздельного суммирования положительных и отрицательных средних значений всех погрешностей: температурной, влажности и старения. Суммирование ведется относительно среднего значения производственного допуска без компенсации средних значений погрешностей. При суммировании берут две предельные величины среднего значения поля рассеивания температурных погрешностей при крайних положительных и отрицательных значениях температуры, в отличие от полей рассеивания других погрешностей, имеющих одно среднее значение. Расчет производится по формуле

$$M(\Delta y/y)_{\Sigma_{\pm}} = M(\Delta y/y)_p \pm \sum_{i=1}^n M_i(\Delta y/y)_{\pm}. \quad (2.18)$$

Затем определяют случайную составляющую суммарного рассеивания:

$$\delta(\Delta y/y)_{\Sigma} = \sqrt{\sum_{i=1}^n \delta_i^2(\Delta y/y)}. \quad (2.19)$$

Случайная составляющая суммарного поля рассеивания (2.19) определяется при наибольшей величине половины температурной погрешности.

Пределы поля рассеивания:

$$\delta_{\Sigma} = \xi \left(\left(M \left(\frac{\Delta y}{y} \right)_{\Sigma_+} + \delta \left(\frac{\Delta y}{y} \right)_{\Sigma} \right) \dots \left(M \left(\frac{\Delta y}{y} \right)_{\Sigma_-} - \delta \left(\frac{\Delta y}{y} \right)_{\Sigma} \right) \right), \quad (2.20)$$

где $M(\Delta y/y)_{\Sigma_+}$ – сумма положительных средних значений;

$M(\Delta y/y)_{\Sigma_-}$ – сумма отрицательных средних значений; ξ – коэффициент запаса на уход параметров под воздействием дестабилизирующих факторов, неучтенных при расчете: пыль, вибрации, радиация, атмосферное давление и т. д.

Практика показывает, что нестабильность характеристик электронных устройств, обусловленная неучтенными при расчете факторами, не превышает 5–10%, поэтому $\xi = 1,05 \div 1,2$ с некоторым запасом.

2.5. МЕТОДИЧЕСКОЕ УКАЗАНИЕ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ДОМАШНЕГО ЗАДАНИЯ № 2 «УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ»

Теоретическая часть. Системы менеджмента качества на основе требований международных стандартов ИСО серии 9000:2000 начинают все более широко внедряться на предприятиях различных отраслей. Растет и число организаций, стремящихся сертифицировать свою систему качества. Этому способствует тот факт, что наличие сертификата соответствия системы менеджмента качества рассматривается как гарантия качества выпускаемой продукции. В данном разделе представлено теоретическое обоснование некоторых общеизвестных и широко применяемых в мировой практике методов оценки качества выпускаемой продукции и его повышения.

Так как погрешность, полученная в первом разделе, не удовлетворяет требованиям ТЗ, необходимо внести некоторые коррективы в исходные данные.

Для повышения точности, т. е. снижения эксплуатационной погрешности, необходимо изменить типы или параметры некоторых элементов схемы, влияющих на значение длительности импульсов.

Оценить, используя коэффициенты влияния, какие погрешности оказывают наибольшее влияние на итоговую погрешность, и выбрать элементы с меньшим значением данных погрешностей.

Изменив параметры или типы элементов, произвести расчеты, аналогичные приведенным в п. 2.4.5.

2.5.1. АВС-АНАЛИЗ

Функционально-стоимостной анализ (ФСА, Activity Based Costing, ABC) – метод определения стоимости и других характеристик изделий, услуг и потребителей, использующих в качестве основы функции и ресурсы, задействованные в производстве, маркетинге, продаже, доставке, технической поддержке, оказании услуг, обслуживании клиентов, а также обеспечении качества.

Рассмотрим подробно сущность функционально-стоимостного анализа и способы его применения.

Функционально-стоимостной анализ позволяет выполнить следующие виды работ:

- ◆ определение и проведение общего анализа себестоимости бизнес-процессов на предприятии (маркетинг, производство продукции и оказание услуг, сбыт, менеджмент качества, техническое и гарантийное обслуживание и др.);
- ◆ проведение функционального анализа, связанного с установлением и обоснованием выполняемых структурными подразделениями предприятий функций с целью обеспечения выпуска высокого качества продукции и оказания услуг;
- ◆ определение и анализ основных, дополнительных и ненужных функциональных затрат;
- ◆ сравнительный анализ альтернативных вариантов снижения затрат в производстве, сбыте и управлении за счет упорядочения функций структурных подразделений предприятия;
- ◆ анализ интегрированного улучшения результатов деятельности предприятия.

В настоящее время метод ФСА стал всеобъемлющим инструментом оценки систем, процессов и концепций.

В основе метода ФСА лежат данные, которые обеспечивают менеджеров информацией, необходимой для обоснования и принятия управленческих решений при применении таких методов, как:

- ◆ «точно в срок» (Just-in-time, JIT) и KANBAN;
- ◆ глобальное управление качеством (Total Quality Management, TQM);
- ◆ непрерывное улучшение (Kaizen);
- ◆ реинжиниринг бизнес-процессов (Business Process Reengineering, BPR).

ФСА-информацию можно использовать как для текущего (оперативного) управления, так и для принятия стратегических решений. На уровне тактического управления информацию из ФСА-модели можно использовать для формирования рекомендаций по увеличению прибыли и повышению эффективности деятельности организации. На стратегическом – помощь в принятии решений относительно реорганизации предприятия, изменения ассортимента продуктов и услуг, выхода на новые рынки, диверсификации и т. д.

В процессе построения функционально-стоимостных моделей удалось установить методологическую и технологическую взаимосвязь между IDEF0- и ФСА-моделями.

Связанность методов IDEF0 и ФСА заключается в том, что оба метода рассматривают предприятие, как множество последовательно выполняемых функций, а дуги входов, выходов, управления и механизмов IDEF0-модели соответствуют стоимостным объектам и ресурсам ФСА-модели. На рис. 2.9 представлена концептуальная модель ФСА-метода, из которой четко видно, что ресурсы (затраты) в ФСА-модели – это входные дуги, дуги управления и механизмов в IDEF0-модели (см. рис. 2.10), продукты (стоимостные объекты) ФСА-модели – это выходные дуги IDEF0-модели, а действия ФСА-метода – это функции в IDEF0-модели.

На более низком уровне, а именно уровне функционального блока, связь IDEF0- и ФСА-моделей базируется на трех принципах:

1. Функция характеризуется числом, которое представляет собой стоимость или время выполнения этой функции.
2. Стоимость или время функции, которая не имеет декомпозиции, определяется разработчиком системы.
3. Стоимость или время функции, которая имеет декомпозицию, определяется, как сумма стоимостей (времен) всех подфункций на данном уровне декомпозиции.

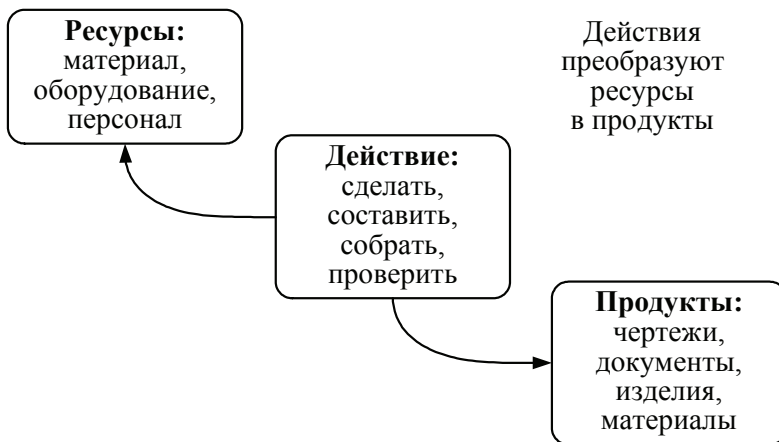


Рис. 2.9. Концептуальная схема ФСА-метода

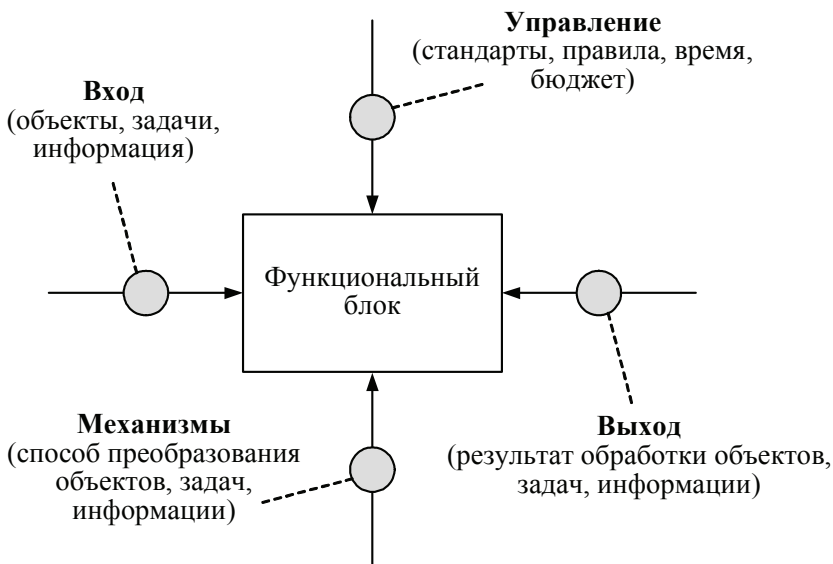


Рис. 2.10. Функциональный блок и интерфейсные дуги

Для обеспечения конкурентоспособности продукции в процессе ее разработки необходимо ясно понимать, что стоимость – это мера выбора потребителя (покупателя). Чтобы гарантировать, что продукция будет востребована, ее следует проектировать в соот-

ветствии с критериями потребителя, т. е. в соответствии со стоимостью. Затраты – это один из двух (помимо качества) основных показателей измерения стоимости. С одной стороны, затраты во многом определяют стоимость и служат одним из главных ее факторов, с другой стороны, добавление затрат не приводит к адекватному росту стоимости. Если перед разработчиками стоит цель – сделать продукцию дешевле, следует ее проектировать исходя из затрат, а если лучше – проектировать исходя из качества. Два других важных показателя измерения стоимости, которые относятся к проектным атрибутам, – это проектирование исходя из заданных сроков (чтобы реализовать точно в срок), противоречащее природе качества, и проектирование исходя из временного цикла (чтобы сократить сроки проектирования), на которое влияет как проектирование исходя из затрат, так и проектирование исходя из заданных сроков.

2.5.2. FMEA-АНАЛИЗ (FAILURE MODE AND EFFECTS ANALYSIS)

FMEA-анализ представляет собой технологию анализа возможности возникновения дефектов и их влияния на потребителя. FMEA-анализ проводится для разрабатываемых продуктов и процессов с целью снижения риска потребителя от потенциальных дефектов, являясь в настоящее время одной из стандартных технологий анализа качества изделий и процессов, поэтому в процессе его развития выработаны типовые формы представления результатов анализа и правила его проведения.

Данный вид функционального анализа используется как в комбинации с функционально-стоимостным и функционально-физическим анализом, так и самостоятельно. Он позволяет снизить затраты и уменьшить риск возникновения дефектов.

FMEA-анализ, в отличие от ФСА, не анализирует прямо экономические показатели, в том числе затраты на недостаточно высокое качество, а позволяет выявить именно те дефекты, которые обуславливают наибольший риск потребителя, определить их потенциальные причины и выработать корректирующие действия по их устранению еще до того, как эти дефекты проявятся, и, таким образом, предупредить затраты на их исправление.

Обычно FMEA-анализ проводится для новой продукции или процесса. FMEA-анализ процессов может проводиться для:

- ◆ процесса производства продукции;
- ◆ процесса эксплуатации изделия потребителем.

FMEA-анализ процесса производства обычно производится у изготовителя ответственными службами планирования производства, обеспечения качества или производства с участием соответствующих специализированных отделов изготовителя и, при необходимости, потребителя. Проведение FMEA-анализа процесса производства начинается на стадии технической подготовки производства и заканчивается своевременно до монтажа производственного оборудования. Целью FMEA-анализа процесса производства является обеспечение выполнения всех требований по качеству процесса производства и сборки путем внесения изменений в план процесса для технологических действий с повышенным риском.

FMEA-анализ бизнес-процессов обычно производится в подразделениях, выполняющих данный бизнес-процесс. В проведении анализа, кроме представителей этих подразделений, обычно принимают участие представители службы обеспечения качества, представители подразделений, являющихся внутренними потребителями результатов бизнес-процесса, и подразделений, участвующих в выполнении этапов бизнес-процесса. Целью этого вида анализа является обеспечение качества выполнения запланированного бизнес-процесса. Выявленные в ходе анализа потенциальные причины дефектов и несоответствий позволят определить причину неустойчивости системы. Выработанные корректирующие мероприятия должны обязательно предусматривать внедрение статистических методов, в первую очередь для тех операций, где выявлен повышенный риск.

Этапы проведения FMEA-анализа:

1. Построение компонентной, структурной, функциональной и потоковой моделей объекта анализа.
2. Исследование моделей.

В ходе исследования моделей определяются потенциальные дефекты для каждого из элементов компонентной модели объекта. Такие дефекты обычно связаны или с отказом функционального элемента (его разрушением, поломкой и т. д.), или с неправильным выполнением элементом его полезных функций (отказом по точности, производительности и т. д.) или с вредными функциями элемента.

В качестве первого шага рекомендуется перепроверка предыдущего FMEA-анализа или анализ проблем, возникших за время

гарантийного срока. Необходимо также рассматривать потенциальные дефекты, которые могут возникнуть при транспортировке, хранении, а также при изменении внешних условий (влажность, давление, температура):

- ◆ потенциальные причины дефектов;
- ◆ потенциальные последствия дефектов для потребителя. Поскольку каждый из рассматриваемых дефектов может вызвать цепочку отказов в объекте, при анализе последствий используются структурная и потоковая модели объекта;
- ◆ возможности контроля появления дефектов. Определяется, может ли дефект быть выявленным до наступления последствий в результате предусмотренных в объекте мер по контролю, диагностике и др.;
- ◆ ряд экспертных оценок.

Определяются следующие параметры:

- ◆ S – параметр тяжести последствий для потребителя (проставляется обычно по 10-балльной шкале; наивысший балл проставляется для случаев, когда последствия дефекта влекут юридическую ответственность);
- ◆ O – параметр частоты возникновения дефекта (проставляется по 10-балльной шкале; наивысший балл проставляется, когда оценка частоты возникновения составляет 1/4 и выше);
- ◆ D – параметр вероятности необнаружения дефекта (является 10-балльной экспертной оценкой; наивысший балл проставляется для «скрытых» дефектов, которые не могут быть выявлены до наступления последствий);
- ◆ R – параметр риска потребителя (показывает, в каких отношениях друг к другу в настоящее время находятся причины возникновения дефектов; дефекты с наибольшим коэффициентом приоритета риска подлежат устранению в первую очередь).

Результаты анализа заносятся в специальную таблицу, представленную на рис. 2.11. Выявленные «узкие места» подвергаются изменениям, т. е. разрабатываются корректирующие мероприятия.

Часто разработанные мероприятия заносятся в последующую графу таблицы FMEA-анализа. Затем пересчитывается потенциальный риск после проведения корректировочных мероприятий. Если не удалось его снизить до приемлемых пределов, разрабатываются дополнительные корректирующие мероприятия и повторяются предыдущие шаги.

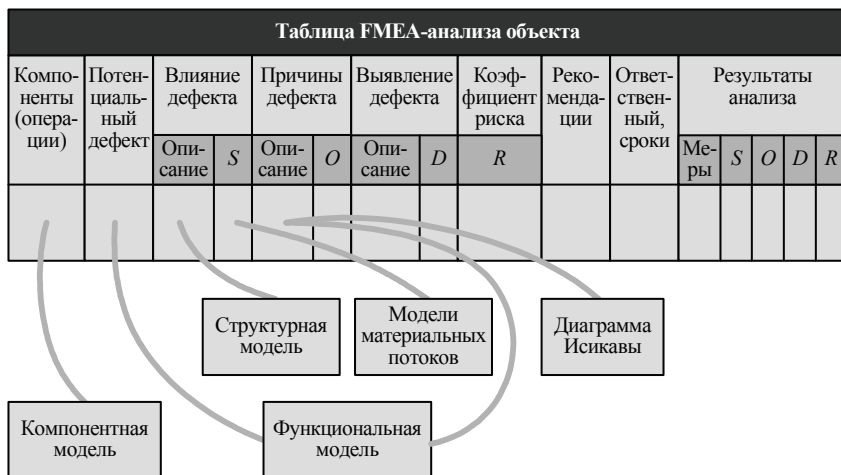


Рис. 2.11. Таблица FMEA-анализа объекта

По результатам анализа для разработанных корректирующих мероприятий составляется план их внедрения. Для этого определяется:

- ♦ в какой временной последовательности следует внедрять эти мероприятия и сколько времени потребуется на проведение каждого мероприятия, через сколько времени после начала его проведения проявится запланированный эффект;
- ♦ кто будет отвечать за проведение каждого из этих мероприятий и кто будет конкретным его исполнителем;
- ♦ где (в каком структурном подразделении) мероприятия должны быть проведены;
- ♦ из какого источника будет производиться финансирование проведения мероприятия.

2.5.3. РЕИНЖИНИРИНГ БИЗНЕС-ПРОЦЕССОВ

Реинжиниринг бизнес-процессов производства, в отличие от известных в последние десятилетия многочисленных методов постепенного совершенствования, означает, по сути, решительную, стремительную и глубокую «прорывную» перестройку основ подхода организации к управлению качеством. Фундаментальное переосмысление бизнес-процессов с целью достижения существен-

ного (в десятки и сотни раз) улучшения ключевых показателей результативности – вот содержание и смысл реинжиниринга.

Реинжиниринг бизнес-процессов принципиально отличается от сменяющих друг друга последние 30–40 лет модных веяний в менеджменте, таких, например, как управление по целям, диверсификация, тотальное управление качеством, предполагающее постоянное «приростное», пошаговое совершенствование и др.

Реинжиниринг бизнес-процессов не предполагает осуществления постоянных, но незначительных изменений, ведущих к небольшому «приростному» (на единицы и даже десятки процентов) улучшению показателей качества. В результате успешно проведенного реинжиниринга – быстрого осуществления глубоких и всесторонних коренных изменений системы управления – компания достигает существенного, «прорывного» роста эффективности (в десятки и сотни раз).

Напомним, что *бизнес-процесс* – это совокупность различных видов деятельности, в рамках которой «на входе» используется один или более видов ресурсов и в результате этой деятельности «на выходе» создается продукт, представляющий ценность для потребителя. Бизнес-процесс можно изобразить как ряд логически взаимосвязанных заданий, нацеленных на достижение результата.

Есть два основных подхода к реинжинирингу. Первый – это «совершенствование бизнес-процессов», а второй – «перепроектирование и реинжиниринг бизнес-процессов».

В результате тщательного и всестороннего анализа часто можно обнаружить обширные области совершенствования бизнес-процессов посредством их упрощения. Так, скорость и качество протекания определенного бизнес-процесса можно увеличить, если параллельно выполнять те виды деятельности, которые ранее выполнялись последовательно, либо обобщить и систематизировать наиболее важную информацию (собираемую в критических точках протекания бизнес-процесса). Перепроектирование и реинжиниринг бизнес-процессов могут позволить организации создать возможности для более тесного взаимодействия со внешней средой.

В то же время существует мнение, что предшествующий опыт всеобщего управления качеством (TQM – Total Quality Management) может препятствовать реализации программы реинжиниринга бизнес-процессов на предприятии, поскольку характерный для реинжиниринга настрой на стремительные кардинальные «прорывные»

изменения может противоречить присущей TQM идеологии постепенных «приростных» улучшений.

2.6. ПРИМЕР ВЫПОЛНЕНИЯ ДОМАШНЕГО ЗАДАНИЯ № 3

В данном разделе методического пособия представлены примеры выполнения и оформления технического задания (ТЗ), а также двух домашних заданий по курсу «Управление качеством микро- и наносистем».

2.6.1. ПРИМЕР ТЕХНИЧЕСКОГО ЗАДАНИЯ

1. Наименование и область применения. Входной фильтр служит для ограничения полосы пропускания микросхемы TDA 1029, которая осуществляет коммутацию нескольких входных сигналов, преобразуя их в выходной.

2. Основания для разработки. Основанием для разработки является домашнее задание по курсу «Управление качеством электронно-вычислительных средств». Так как рассматриваемый узел имеет несколько входных фильтров с одинаковыми номиналами входящих в них элементов, расчет по обеспечению и управлению качеством произведем только для одного из них.

Назначением разработки является: обеспечение стабилизации фильтрации входной частоты микросхемы с заданной точностью и надежностью.

3. Технические требования.

3.1. *Состав продукции и требования к конструкционному устройству.* Разрабатываемое устройство выполняется в виде одно-платного ТЭЗ с габаритами не более 45×95×30 мм, массой не более 200 г.

3.2. *Требования к надежности.* Вероятность безотказной работы устройства в течение 4000 ч должна быть не менее 0,99.

3.3. *Условия эксплуатации.* Входной фильтр узла должен соответствовать требованиям технического задания при следующих условиях эксплуатации:

- ◆ температурный диапазон: от –20°С до + 50°С;
- ◆ относительная влажность: 90% при +25°С;
- ◆ атмосферное давление: от 86 кПа до 116 кПа.

4. Принцип работы (схема электрическая принципиальная).

Схема электрическая принципиальная представлена на рис. 2.12.

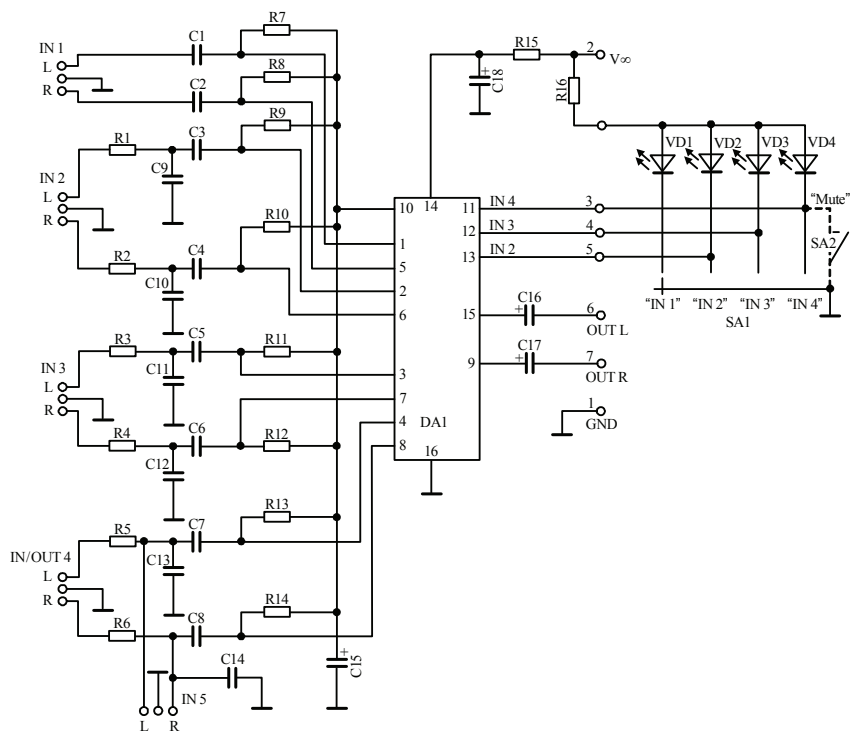


Рис. 2.12. Схема электрическая принципиальная

Модуль имеет пять стереовходов и один выход. Сигналы, подаваемые на вход «IN1», поступают непосредственно на вход микросхемы, что обеспечивает возможность использовать ее полный частотный диапазон, превышающий 1 МГц. Однако рекомендовать его использование можно только для ограниченного набора источников сигналов.

Это связано с тем, что из-за избыточно широкой полосы пропускания микросхемы на ее выход могут проходить паразитные высокочастотные сигналы, например наводки от местных длинноволновых радиостанций или остатки стереоподнесущих УКВ-передач.

Входы «IN2» и «IN3» равноценные, и могут использоваться для любых источников сигналов.

Входы «IN/OUT4» и «IN5» – многофункциональные.

В случае изготовления четырехходового варианта «IN/OUT4» можно использовать как обычный универсальный вход.

Если есть необходимость в микрофонном входе, то в УМЗЧ устанавливается дополнительный микрофонный усилитель (в комплект набора не входит), вход которого подключается на внутренний вход «IN5», а «IN/OUT4» может использоваться как дополнительный выход микрофонного усилителя, например для записи.

В качестве входных разъемов «IN1»–«IN4» используются блоки разъемов RCA («тюльпан»).

Схема выполнена на интегральной микросхеме TDA1029, представляющей собой электронный переключатель, который коммутирует четыре стереовхода и один стереовыход. Чтобы исключить возможность попадания наводок на входы «IN2»–«IN3» и «IN/OUT4», сигналы подаются через RC-фильтры нижних частот (R1–R6; C1–C14). Рассмотрим работу фильтров. Так как номиналы элементов R1–R6 и C1–C14 соответственно равны для каждой входной цепи «IN2»–«IN3» и «IN/OUT4», проведем расчет только для одной из них – «IN2».

5. Принцип работы фильтра. Схема фильтра представлена на рис. 2.13.

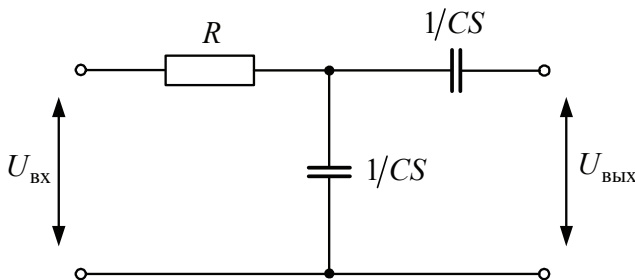


Рис. 2.13. Схема фильтра

Исходя из рис. 2.13 имеем:

$$U_{\text{ВХ}} = U_R + U_C; U_{\text{ВЫХ}} = 2U_C.$$

Пусть коэффициент насыщения конденсатора $\alpha = 1$, тогда

$$\frac{U_{\text{ВЫХ}}}{U_{\text{ВХ}}} = \frac{2\alpha/CS}{R + \alpha/CS} = \frac{2}{RCS + 1} \Big|_{S=j\omega} = \frac{2}{1 - RC \cdot j\omega};$$

$$U_{\text{ВЫХ}}/U_{\text{ВХ}} = 0 \text{ при } \omega = 1/RC.$$

График ЛАЧХ представлен на рис. 2.14.

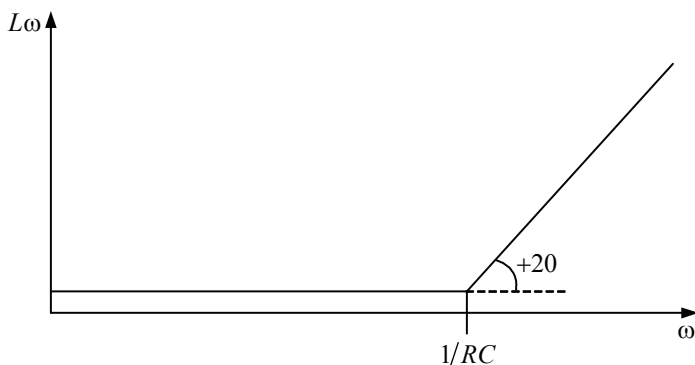


Рис. 2.14. График ЛАЧХ

Вывод: имеем фильтр для сигналов $\omega \geq 1/RC$.

Перечень элементов с допусками приведен в табл. 2.3 (дополнительные сведения).

Таблица 2.3

Перечень элементов с допусками

Обозначение	Номинал, допуск	Коэффициент увлажнения	Коэффициент старения	Температурный коэффициент	
				от -85°C до $+20^{\circ}\text{C}$	от $+20^{\circ}\text{C}$ до $+125^{\circ}\text{C}$
R_1	$5,6 \text{ кОм}$ $\pm 10\%$	$(1,5 \pm 4,5)\%$	$\pm 0,002\%/ч$	$+0,12\%/^{\circ}\text{C}$	$+0,07\%/^{\circ}\text{C}$
C_1	$0,29 \text{ мкФ}$ $\pm 10\%$	–	$\pm 0,001\%/ч$	$+0,25\%/^{\circ}\text{C}$	$+0,17\%/^{\circ}\text{C}$

Остальные элементы схемы не учитываются при расчете, так как не принимают участие в работе фильтра.

2.7. ПРИМЕР ВЫПОЛНЕНИЯ ДОМАШНЕГО ЗАДАНИЯ № 4

2.7.1. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Поставленная задача заключается в расчете суммарных допусков на входную частоту рассматриваемого узла (входного фильт-

ра) по заданным эксплуатационным условиям, типам элементов изделия и допускам на их параметры (суммарный допуск определяется по следующим допускам: производственному, температурному, допуску на старение и влажность). Рассчитанную в итоге погрешность необходимо сравнить с погрешностью, заданной в техническом задании, и сделать соответствующие выводы.

Исходными данными для решения задачи являются:

- ◆ заданные номинальные значения параметров элементов функционального узла;
- ◆ условия эксплуатации устройства (в соответствии с ТЗ);
- ◆ функциональная зависимость выходного параметра от параметров элементов (в соответствии со схмотехнической частью ТЗ);
- ◆ температурные коэффициенты элементов;
- ◆ коэффициенты увлажнения элементов;
- ◆ коэффициенты старения элементов.

При решении задачи следует учитывать, что на работу данного функционального узла оказывают воздействие следующие факторы:

- ◆ производственная погрешность;
- ◆ температура;
- ◆ влажность.
- ◆ старение элементов.

2.7.2. ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

Аналитическое выражение входной частоты. В техническом задании представлена электрическая принципиальная схема всего устройства и расчетная схема фильтра. И согласно этим схемам аналитическое выражение входной частоты ω от параметров ЭРЭ выглядит следующим образом:

$$\omega = \frac{1}{R_1 C_1},$$

где R_1 , C_1 – номиналы соответствующих элементов.

Погрешность входной частоты. Согласно техническому заданию, погрешность частоты на входе фильтра составляет 15%:

$$[\delta] \leq \pm 15\%.$$

Элементы и их параметры. Согласно ТЗ, в табл. 2.4 представлены номинальные значения параметров элементов, их температурные коэффициенты, коэффициенты увлажнения и коэффициенты старения.

Таблица 2.4

Параметры ЭРЭ

Обозначение	Номинал, допуск	Коэффициент увлажнения	Коэффициент старения	Температурный коэффициент	
				от -85°C до $+20^{\circ}\text{C}$	от $+20^{\circ}\text{C}$ до $+125^{\circ}\text{C}$
R_1	5,6 кОм $\pm 10\%$	$(1,5 \pm 4,5)\%$	$\pm 0,002\%/ч$	$+0,12\%/^{\circ}\text{C}$	$+0,07\%/^{\circ}\text{C}$
C_1	0,29 мкФ $\pm 10\%$	–	$\pm 0,001\%/ч$	$+0,25\%/^{\circ}\text{C}$	$+0,17\%/^{\circ}\text{C}$

Условия эксплуатации устройства. В соответствии с техническим заданием заданы следующие условия эксплуатации изделия:

- ◆ температурный диапазон: от -20°C до $+50^{\circ}\text{C}$;
- ◆ относительная влажность: 90% при $+25^{\circ}\text{C}$;
- ◆ атмосферное давление: от 86 кПа до 116 кПа.

Надежность. В соответствии с ТЗ заданы следующие показатели надежности: вероятность безотказной работы устройства в течение 4000 ч должна быть не менее 0,99.

Допущения. Допущениями при расчетах являются:

- ◆ отсутствие корреляционной зависимости между элементами, которые используются в математической модели;
- ◆ параметры элементов подчиняются нормальному закону.

2.7.3. РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ

Расчет коэффициентов влияния. Подставим в аналитическое выражение номинальные значения элементов для получения номинального значения входной частоты:

$$\omega_0(R_0, C_0) = \frac{1}{10^3 \cdot 5,6 \cdot 10^{-6} \cdot 0,29} = 616 \text{ Гц.}$$

Уравнение относительной погрешности входной частоты выглядит следующим образом:

$$\frac{\Delta\omega}{\omega} = \frac{\partial\omega(R_1)}{\partial R_1} \cdot \frac{R_1}{\omega_0} \cdot \frac{\Delta R_1}{R_1} + \frac{\partial\omega(C_1)}{\partial C_1} \cdot \frac{C_1}{\omega_0} \cdot \frac{\Delta C_1}{C_1}.$$

Коэффициенты влияния вычисляются по формуле

$$B_{q_i} = \left(\frac{\partial \omega(q_i)}{\partial q_i} \cdot \frac{q_i}{\omega_0} \right) \Bigg|_{q_i=q_{i0}}.$$

Найдем коэффициенты влияния для каждого компонента:

♦ для R_1 :

$$B_{R_1} = \left(\frac{\partial \omega(R_1)}{\partial R_1} \cdot \frac{R_1}{\omega_0} \right) \Bigg|_{R_1=R_{10}};$$

$$B_{R_1} = \left(-1 \cdot (R_1 C_1)^{-2} C_1 \frac{R_1}{\omega_0} \right) \Bigg|_{R_1=R_{10}};$$

в результате подстановки получаем $B_{R_2} = -1$;

♦ для C_1 :

$$B_{C_1} = \left(\frac{\partial \omega(C_1)}{\partial C_1} \cdot \frac{C_1}{\omega_0} \right) \Bigg|_{C_1=C_{10}};$$

$$B_{C_1} = \left(-1 \cdot (R_1 C_1)^{-2} R_1 \frac{C_1}{\omega_0} \right) \Bigg|_{C_1=C_{10}};$$

в результате подстановки получаем $B_{C_1} = -1$.

Как видно из полученных результатов, коэффициенты влияния на выходную величину всех элементов одинаковы. Это можно было заметить по характеристике выходной величины; независимо от того, по какому параметру брать частные производные, результат будет одинаков. Таким образом,

$$B_{R_1} = B_{C_1} = -1.$$

Расчет производственного допуска частоты на входе. С учетом значений коэффициентов влияния, рассчитанных в предыдущем пункте, уравнение относительной погрешности входной частоты будет выглядеть следующим образом:

$$\frac{\Delta \omega}{\omega} = (-1) \left(\frac{\Delta R_1}{R_1} + \frac{\Delta C_1}{C_1} \right).$$

Так как согласно допущениям (п. 2.7.2) параметры ЭРЭ распределены по нормальному закону и не имеют корреляционной зависимости, то можно утверждать, что:

- ◆ коэффициент относительного рассеивания $K_i = 1, i = \overline{1,4}$;
- ◆ коэффициент относительной асимметрии $\alpha_i = 0, i = \overline{1,4}$;
- ◆ мера положения производственной погрешности входной частоты $M(\Delta\omega/\omega)_{\text{пр}} = 0$.

Отклонение производственной погрешности частоты на входе от среднего значения вычисляется по следующей формуле:

$$\delta\left(\frac{\Delta\omega}{\omega}\right)_{\text{пр}} = \gamma \sqrt{B_{R_1}^2 \delta^2\left(\frac{\Delta R_1}{R_1}\right) K_1^2 + B_{C_1}^2 \delta^2\left(\frac{\Delta C_1}{C_1}\right) K_2^2},$$

где γ – коэффициент гарантированной надежности (для надежности 0,99 $\gamma = 0,875$).

После подстановки получаем:

$$\delta\left(\frac{\Delta\omega}{\omega}\right)_{\text{пр}} = 0,875 \sqrt{(-1)^2 \cdot 10^2 + (-1)^2 \cdot 10^2} = 12,37\%.$$

Таким образом, производственный допуск составит:

$$\Delta_{\text{пр}} = M\left(\frac{\Delta\omega}{\omega}\right)_{\text{пр}} \pm \delta\left(\frac{\Delta\omega}{\omega}\right)_{\text{пр}} = \pm 12,37\%.$$

Тогда исследуемая характеристика с учетом этого допуска будет иметь вид

$$\omega_0 = 616 \pm 12,37\%.$$

Расчет температурных допусков. Температурные коэффициенты элементов представлены в табл. 2.5.

Таблица 2.5

Температурные коэффициенты

Обозначение	Температурный коэффициент	
	от -85°C до $+20^\circ\text{C}$	от $+20^\circ\text{C}$ до $+125^\circ\text{C}$
R_1	$+0,12\%/^\circ\text{C}$	$+0,07\%/^\circ\text{C}$
C_1	$+0,25\%/^\circ\text{C}$	$+0,17\%/^\circ\text{C}$

Так как согласно п. 2.7.2 параметры ЭРЭ распределены по нормальному закону и не имеют корреляционной зависимости, то можно утверждать, что:

- ◆ коэффициент относительного рассеивания $K_i = 1$, $i = \overline{1,4}$;
- ◆ коэффициент относительной асимметрии $\alpha_i = 0$, $i = \overline{1,4}$;
- ◆ мера положения температурного коэффициента входной частоты $M(\alpha_\Sigma) = 0$.

Половина поля рассеивания температурного коэффициента рассчитывается по формуле

$$\delta(\alpha_\Sigma) = \gamma \sqrt{B_{R_i}^2 \delta^2(\alpha_{R_i}) + B_{C_i}^2 \delta^2(\alpha_{C_i})}.$$

Для диапазона температур от -85°C до $+20^\circ\text{C}$

$$\delta(\alpha_\Sigma)_- = 0,875 \sqrt{(-1)^2 \cdot 0,12^2 + (-1)^2 \cdot 0,25^2} = 0,25\%/^\circ\text{C}.$$

Предельные значения ТК:

$$\alpha_{\Sigma-} = 0 \pm 0,25\%/^\circ\text{C}.$$

Для диапазона температур от $+20^\circ\text{C}$ до $+125^\circ\text{C}$

$$\delta(\alpha_\Sigma)_+ = 0,875 \sqrt{(-1)^2 \cdot 0,07^2 + (-1)^2 \cdot 0,17^2} = 0,16\%/^\circ\text{C}.$$

Предельные значения ТК:

$$\alpha_{\Sigma+} = 0 \pm 0,16\%/^\circ\text{C}.$$

Теперь определим величину температурного допуска на частоту узла при его работе в диапазоне температур от -20°C до $+50^\circ\text{C}$:

- ◆ при $T = -20^\circ\text{C}$:

$$\delta\left(\frac{\Delta\omega}{\omega}\right)_- = \alpha_{\Sigma-} \cdot \Delta T = \pm 0,25 \cdot (-20 - 20) = \pm 10\%;$$

- ◆ при $T = +50^\circ\text{C}$:

$$\delta\left(\frac{\Delta\omega}{\omega}\right)_+ = \alpha_{\Sigma+} \cdot \Delta T = \pm 0,25 \cdot (50 - 20) = \pm 4,8\%.$$

Таким образом, погрешность, вызванная воздействием температуры, составит:

$$\Delta T_- = M(\alpha_\Sigma) \pm \delta\left(\frac{\Delta\omega}{\omega}\right)_- = (0 \pm 10)\%;$$

$$\Delta T_+ = M(\alpha_\Sigma) \pm \delta \left(\frac{\Delta \omega}{\omega} \right)_+ = (0 \pm 4,8)\%$$

Расчет допусков влажности. Коэффициенты увлажнения элементов представлены в табл. 2.6.

Таблица 2.6

Коэффициенты увлажнения

Обозначение	Коэффициент увлажнения
R_1	$(1,5 \pm 4,5)\%$
C_1	–

Математическое ожидание коэффициента увлажнения входной частоты

$$M(h_\Sigma) = B_{R_1} \cdot M(h_{R_1}) = -1 \cdot 1,5 = -1,5\%$$

Рассчитаем половину поля рассеивания коэффициента увлажнения:

$$\delta(h_\Sigma) = \gamma \sqrt{B_{R_1}^2 \delta^2(h_{R_1})} = 0,875 \sqrt{(-1)^2 \cdot 4,5^2 + (-0,5)^2 \cdot 4,5^2} = 3,9\%$$

Значит погрешность, обусловленная влажностью, будет следующая:

$$\Delta_{\text{вл}} = M(h_\Sigma) \pm \delta(h_\Sigma) = (-1,5 \pm 3,9)\%$$

Расчет допусков старения. Коэффициенты старения элементов приведены в табл. 2.7.

Таблица 2.7

Коэффициенты старения

Обозначение	Коэффициент старения
R_1	$\pm 0,002\%/ч$
C_1	$\pm 0,001\%/ч$

Так как согласно п. 2.7.2 параметры ЭРЭ распределены по нормальному закону и не имеют корреляционной зависимости, то можно утверждать, что:

- ◆ коэффициент относительного рассеивания $K_i = 1$, $i = \overline{1,4}$;
- ◆ коэффициент относительной асимметрии $\alpha_i = 0$, $i = \overline{1,4}$;

- ♦ мера положения коэффициента старения входной частоты $M(C_{\Sigma}) = 0$.

Половина поля рассеивания коэффициента старения рассчитывается по формуле

$$\begin{aligned}\delta(C_{\Sigma}) &= \gamma \sqrt{B_{R_1}^2 \delta^2(C_{R_1}) + B_{C_1}^2 \delta^2(C_{C_1})} = \\ &= 0,875 \sqrt{(-1)^2 \cdot 0,002^2 + (-1)^2 \cdot 0,001^2} = 1,95 \cdot 10^{-3}\%.\end{aligned}$$

Половина поля рассеивания коэффициента старения после $\Delta t = 3000$ ч эксплуатации устройства будет равна:

$$\delta\left(\frac{\Delta\omega}{\omega}\right)_{\text{ст}} = \delta(C_{\Sigma}) \cdot \Delta t = 1,95 \cdot 10^{-3} \cdot 4000 = 7,8\%.$$

Значит погрешность, обусловленная старением, будет следующей:

$$\Delta_{\text{ст}} = M(C_{\Sigma}) \pm \delta\left(\frac{\Delta\omega}{\omega}\right)_{\text{ст}} = (0 \pm 7,8)\%.$$

Расчет эксплуатационной погрешности. В результате расчетов были получены следующие данные.

Меры положения входной частоты:

$$M\left(\frac{\Delta\omega}{\omega}\right)_{\text{пр}} = M(\alpha_{\Sigma}) = M(C_{\Sigma}) = 0;$$

$$M(h_{\Sigma}) = -1,5\%.$$

Максимальные пределы смещения среднего значения суммарного поля рассеивания вычисляются по следующим формулам:

$$\begin{aligned}M\left(\frac{\Delta\omega}{\omega}\right)_{\Sigma-} &= M\left(\frac{\Delta\omega}{\omega}\right)_{\text{пр-}} + M(\alpha_{\Sigma})_- + M(h_{\Sigma})_- + M(C_{\Sigma})_- = \\ &= 0 + 0 - 1,5 + 0 = -1,5\%;\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}M\left(\frac{\Delta\omega}{\omega}\right)_{\Sigma+} &= M\left(\frac{\Delta\omega}{\omega}\right)_{\text{пр+}} + M(\alpha_{\Sigma})_+ + M(h_{\Sigma})_+ + M(C_{\Sigma})_+ = \\ &= 0 + 0 + 0 + 0 = 0\%.\end{aligned}$$

Поля рассеивания:

$$\delta\left(\frac{\Delta\omega}{\omega}\right)_{\text{пр}} = \pm 12,34\%;$$

$$\delta\left(\frac{\Delta\omega}{\omega}\right)_{-} = \pm 10\% \text{ (выбираем бóльший из двух);}$$

$$\delta(h_{\Sigma}) = \pm 3,9\%;$$

$$\delta\left(\frac{\Delta\omega}{\omega}\right)_{\text{ст}} = \pm 7,8\%.$$

Путем квадратичного суммирования случайных погрешностей определим случайную составляющую суммарного поля рассеивания:

$$\begin{aligned} \delta\left(\frac{\Delta\omega}{\omega}\right)_{\Sigma} &= \sqrt{\delta^2\left(\frac{\Delta\omega}{\omega}\right)_{\text{пр}} + \delta^2\left(\frac{\Delta\omega}{\omega}\right)_{-} + \delta^2(h_{\Sigma}) + \delta^2\left(\frac{\Delta\omega}{\omega}\right)_{\text{ст}}} = \\ &= \sqrt{12,34^2 + 10^2 + 3,9^2 + 7,8^2} = 18,2\%. \end{aligned}$$

Найдя средние значения и случайные составляющие суммарного поля рассеивания, определим величину суммарного допуска. Для этого зададимся коэффициентом запаса $\varepsilon = 1,2$ на уход параметров под воздействием дестабилизирующих факторов, не учтенных при расчете: пыль, вибрации, солнечная радиация, атмосферное давление и т. д.

Тогда суммарное поле допуска найдем по формуле

$$\begin{aligned} \delta_{\Sigma} &= \varepsilon \left(\left(M\left(\frac{\Delta\omega}{\omega}\right)_{\Sigma-} - \delta\left(\frac{\Delta\omega}{\omega}\right)_{\Sigma} \right) \dots \left(M\left(\frac{\Delta\omega}{\omega}\right)_{\Sigma+} + \delta\left(\frac{\Delta\omega}{\omega}\right)_{\Sigma} \right) \right) = \\ &= 1,2 \cdot ((-1,5 - 18,2) \dots (0 + 18,2)) = (-23,6 \dots + 21,8)\%. \end{aligned}$$

Анализ результатов и выводы. В результате проведения расчетов была найдена погрешность допустимой входной частоты – одного из параметров, влияющих на работу микросхемы, осуществляющей коммутацию:

$$\delta_{\Sigma\text{расч}} = (-23,6 \dots + 21,8)\%.$$

В соответствии с техническим заданием данная погрешность должна удовлетворять условию

$$[\delta] \leq \pm 15\%.$$

Однако в итоге полученная погрешность не удовлетворяет требованиям ТЗ ($\delta_{\Sigma \text{расч}} > [\delta]$).

Для того чтобы получить суммарное поле допуска, удовлетворяющее требованиям технического задания, необходимо изменить параметры одного или нескольких ЭРЭ. Наибольшее влияние на величину погрешности имеют те элементы, для которых коэффициенты влияния имеют большее значение. Но в нашем случае они все одинаковые ($B_{R_1} = B_{C_1} = -1$). Значит, можно выбрать любой элемент, значение параметра которого участвует в аналитическом выражении частоты (R_1, C_1). Каждый из них оказывает одинаковое влияние на производственную погрешность.

2.8. ПРИМЕР ВЫПОЛНЕНИЯ ДОМАШНЕГО ЗАДАНИЯ № 5

2.8.1. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Задача состоит в изменении параметров или типов элементов схемы входного фильтра таким образом, чтобы эксплуатационная погрешность при заданных условиях не превышала погрешности входной частоты, заданной в техническом задании.

2.8.2. ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

Аналитическое выражение входной частоты. В техническом задании представлен расчет входного фильтра. И согласно этой схеме аналитическое выражение входной частоты ω от параметров ЭРЭ выглядит следующим образом:

$$\omega(R_1, C_1) = \frac{1}{R_1 C_1}.$$

Погрешность входной частоты. Согласно техническому заданию погрешность входной частоты составляет 15%:

$$[\delta] \leq \pm 15\%.$$

Элементы и их параметры. Согласно ТЗ в табл. 2.8 представлены номинальные значения параметров элементов, их темпера-

турные коэффициенты, коэффициенты увлажнения и коэффициенты старения.

Таблица 2.8

Параметры ЭРЭ

Обозначение	Номинал, допуск	Коэффициент увлажнения	Коэффициент старения	Температурный коэффициент	
				от -85°C до $+20^{\circ}\text{C}$	от $+20^{\circ}\text{C}$ до $+125^{\circ}\text{C}$
R_1	5,6 кОм $\pm 10\%$	$(1,5 \pm 4,5)\%$	$\pm 0,002\%/ч$	$+0,12\%/^{\circ}\text{C}$	$+0,07\%/^{\circ}\text{C}$
C_1	0,29 мкФ $\pm 10\%$	–	$\pm 0,001\%/ч$	$+0,25\%/^{\circ}\text{C}$	$+0,17\%/^{\circ}\text{C}$

Условия эксплуатации устройства. В соответствии с техническим заданием заданы следующие условия эксплуатации изделия:

- ♦ температурный диапазон: от -20°C до $+50^{\circ}\text{C}$;
- ♦ относительная влажность: 90% при $+25^{\circ}\text{C}$;
- ♦ атмосферное давление: от 86 кПа до 116 кПа.

Надежность. В соответствии с ТЗ заданы следующие показатели надежности: вероятность безотказной работы устройства в течение 4000 ч должна быть не менее 0,99.

Допущения. Допущениями при расчетах являются:

- ♦ отсутствие корреляционной зависимости между элементами, которые используются в математической модели;
- ♦ параметры элементов подчиняются нормальному закону.

Коэффициенты влияния. В п. 2.7.3 были определены коэффициенты влияния погрешностей элементов на погрешность входной частоты:

$$B_{R_1} = B_{C_1} = -1.$$

2.8.3. РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ

Статистический метод

Выбор и замена необходимых элементов. В соответствии с первой частью данной работы проанализируем элементную базу и рассмотрим соответствующие коэффициенты влияния. Как известно, все коэффициенты влияния одинаковы, значит можно выбирать любые элементы (их вклад в общую погрешность одинако-

вый). Руководствуясь удобством для замены – произведем замену резистора с меньшим допуском на сопротивление и более низкими коэффициентами (температурным и старения). Также поменяем резисторы, заданные в перечне элементов:

$$R_1 = 5,6 \text{ кОм} \pm 10\%$$

на резистор той же модели, но с меньшим допуском на сопротивление:

$$R_1 = 5,6 \text{ кОм} \pm 1\%.$$

Кроме этого, данные резисторы имеют коэффициент старения $\pm 0,001\%/ч$ и следующие температурные коэффициенты (табл. 2.9).

Таблица 2.9

Температурные коэффициенты

Обозначение	Температурный коэффициент	
	от -85°C до $+20^{\circ}\text{C}$	от $+20^{\circ}\text{C}$ до $+125^{\circ}\text{C}$
R_1	$+0,05\%/^{\circ}\text{C}$	$+0,008\%/^{\circ}\text{C}$

Заменим конденсаторы

$$C_1 = 0,29 \text{ мкФ} \pm 10\%$$

на конденсаторы той же модели, но с меньшим допуском на емкость:

$$C_1 = 0,29 \text{ мкФ} \pm 1\%.$$

Никакими другими параметрами новые конденсаторы не отличаются от предыдущих.

В связи с обновлением элементной базы придется пересчитать производственный допуск и допуски, связанные со старением изделия и перепадами температур. Коэффициенты влияния останутся теми же. Можно также заметить, что стоимость элементной базы возрастет приблизительно на 30%, но это практически не влияет на стоимость конечного продукта.

Расчет производственного допуска квазирезонансной частоты. Так как согласно п. 2.8.2 параметры ЭРЭ распределены по нормальному закону и не имеют корреляционной зависимости, то можно утверждать, что:

- ◆ коэффициент относительного рассеивания $K_i = 1, i = \overline{1,4}$;
- ◆ коэффициент относительной асимметрии $\alpha_i = 0, i = \overline{1,4}$;

- ♦ мера положения производственной погрешности входной частоты $M\left(\frac{\Delta\omega}{\omega}\right)_{\text{пр}} = 0$.

Отклонение производственной погрешности входной частоты от среднего значения вычисляется по следующей формуле:

$$\delta\left(\frac{\Delta\omega}{\omega}\right)_{\text{пр}} = \gamma \sqrt{B_{R_1}^2 \delta^2\left(\frac{\Delta R_1}{R_1}\right) K_1^2 + B_{C_1}^2 \delta^2\left(\frac{\Delta C_1}{C_1}\right) K_2^2},$$

где γ – коэффициент гарантированной надежности (для надежности 0,99 $\gamma = 0,875$).

После подстановки получаем скорректированную погрешность:

$$\delta\left(\frac{\Delta\omega}{\omega}\right)_{\text{пр(кор)}} = 0,875 \sqrt{(-1)^2 \cdot 1^2 + (-1)^2 \cdot 1^2} = 1,23\%.$$

Таким образом, скорректированный производственный допуск составит:

$$\Delta_{\text{пр(кор)}} = M\left(\frac{\Delta\omega}{\omega}\right)_{\text{пр}} \pm \delta\left(\frac{\Delta\omega}{\omega}\right)_{\text{пр(кор)}} = \pm 1,23\%.$$

Тогда исследуемая характеристика с учетом этого допуска будет иметь вид

$$\omega_0 = 616 \pm 1,23\%.$$

Расчет допусков старения. Коэффициенты старения новой элементной базы приведены в табл. 2.10.

Таблица 2.10

Коэффициенты старения элементов

Обозначение	Коэффициент старения
R_1	$\pm 0,001\%/ч$
C_1	$\pm 0,001\%/ч$

Так как согласно п. 2.8.2 параметры ЭРЭ распределены по нормальному закону и не имеют корреляционной зависимости, то можно утверждать, что:

- ♦ коэффициент относительного рассеивания $K_i = 1, i = \overline{1,4}$;
- ♦ коэффициент относительной асимметрии $\alpha_i = 0, i = \overline{1,4}$;

- ♦ мера положения коэффициента старения входной частоты $M(C_\Sigma) = 0$.

Половина поля рассеивания коэффициента старения рассчитывается по формуле

$$\delta(C_\Sigma) = \gamma \sqrt{B_{R_i}^2 \delta^2(C_{R_i}) + B_{C_i}^2 \delta^2(C_{C_i})}.$$

Тогда получим скорректированное значение поля рассеивания

$$\delta(C_\Sigma)_{\text{(кор)}} = 0,875 \sqrt{(-1)^2 \cdot 0,001^2 + (-1)^2 \cdot 0,001^2} = 1,23 \cdot 10^{-3}\%.$$

Половина поля рассеивания коэффициента старения после $\Delta t = 4000$ ч эксплуатации устройства будет равна:

$$\delta\left(\frac{\Delta\omega}{\omega}\right)_{\text{ст(кор)}} = \delta(C_\Sigma)_{\text{(кор)}} \cdot \Delta t = 1,23 \cdot 10^{-3} \cdot 4000 = 4,92\%.$$

Значит, скорректированная погрешность, обусловленная старением, будет следующей:

$$\Delta_{\text{ст(кор)}} = M(C_\Sigma) \pm \delta\left(\frac{\Delta\omega}{\omega}\right)_{\text{ст(кор)}} = (0 \pm 4,92)\%.$$

Расчет температурных допусков. Температурные коэффициенты новых элементов представлены в табл. 2.11.

Таблица 2.11

Температурные коэффициенты

Обозначение	Температурный коэффициент	
	от -85°C до $+20^\circ\text{C}$	от $+20^\circ\text{C}$ до $+125^\circ\text{C}$
R_i	$+0,05\%/^\circ\text{C}$	$+0,008\%/^\circ\text{C}$

Так как согласно п. 2.8.2 параметры ЭРЭ распределены по нормальному закону и не имеют корреляционной зависимости, то можно утверждать, что:

- ♦ коэффициент относительного рассеивания $K_i = 1$, $i = \overline{1,4}$;
- ♦ коэффициент относительной асимметрии $\alpha_i = 0$, $i = \overline{1,4}$;
- ♦ мера положения температурного коэффициента частоты $M(\alpha_\Sigma) = 0$.

Половина поля рассеивания температурного коэффициента рассчитывается по формуле

$$\delta(\alpha_{\Sigma}) = \gamma \sqrt{B_{R_1}^2 \delta^2(\alpha_{R_1}) + B_{C_1}^2 \delta^2(\alpha_{C_1})}.$$

Для диапазона температур от -85°C до $+20^{\circ}\text{C}$

$$\delta(\alpha_{\Sigma})_{-(\text{кор})} = 0,875 \sqrt{(-1)^2 \cdot 0,05^2 + (-1)^2 \cdot 0,25^2} = 0,22\%/^{\circ}\text{C}.$$

Скорректированные предельные значения ТК:

$$\alpha_{\Sigma-(\text{кор})} = 0 \pm 0,22\%/^{\circ}\text{C}.$$

Для диапазона температур от $+20^{\circ}\text{C}$ до $+125^{\circ}\text{C}$

$$\delta(\alpha_{\Sigma})_{+(\text{кор})} = 0,875 \sqrt{(-1)^2 \cdot 0,008^2 + (-1)^2 \cdot 0,17^2} = 0,15\%/^{\circ}\text{C}.$$

Скорректированные предельные значения ТК:

$$\alpha_{\Sigma+(\text{кор})} = 0 \pm 0,15\%/^{\circ}\text{C}.$$

Теперь определим величину температурного допуска на входную частоту узла при его работе в диапазоне температур от -20°C до $+50^{\circ}\text{C}$:

- ◆ при $t = -20^{\circ}\text{C}$:

$$\delta\left(\frac{\Delta\omega}{\omega}\right)_{-(\text{кор})} = \alpha_{\Sigma-(\text{кор})} \cdot \Delta t = \pm 0,22 \cdot (-20 - 20) = \pm 8,8\%;$$

- ◆ при $t = +50^{\circ}\text{C}$:

$$\delta\left(\frac{\Delta\omega}{\omega}\right)_{+(\text{кор})} = \alpha_{\Sigma+(\text{кор})} \cdot \Delta t = \pm 0,15 \cdot (50 - 20) = \pm 4,5\%.$$

Таким образом, скорректированная погрешность, вызванная воздействием температуры, составит:

$$\Delta_{T-(\text{кор})} = M(\alpha_{\Sigma}) \pm \delta\left(\frac{\Delta\omega}{\omega}\right)_{-(\text{кор})} = (0 \pm 8,8)\%;$$

$$\Delta_{T+(\text{кор})} = M(\alpha_{\Sigma}) \pm \delta\left(\frac{\Delta\omega}{\omega}\right)_{+(\text{кор})} = (0 \pm 4,5)\%.$$

Расчет эксплуатационной погрешности. После корректировки всех необходимых погрешностей рассчитаем эксплуатационную погрешность:

- ◆ меры положения входной частоты (остались без изменений):

$$M\left(\frac{\Delta\omega}{\omega}\right)_{\text{пр}} = M(\alpha_{\Sigma}) = M(C_{\Sigma}) = 0;$$

$$M(h_{\Sigma}) = 1,5\%.$$

Тогда, аналогично п. 2.7.3, получаем:

$$M\left(\frac{\Delta\omega}{\omega}\right)_{\Sigma-} = -1,5\%;$$

$$M\left(\frac{\Delta\omega}{\omega}\right)_{\Sigma+} = 0\%.$$

Поля рассеивания входной частоты:

$$\delta\left(\frac{\Delta\omega}{\omega}\right)_{\text{пр(кор)}} = \pm 1,23\%;$$

$$\delta\left(\frac{\Delta\omega}{\omega}\right)_{-(\text{кор})} = \pm 8,8\% \text{ (выбираем бóльший из двух);}$$

$$\delta(h_{\Sigma}) = \pm 3,9\%;$$

$$\delta\left(\frac{\Delta\omega}{\omega}\right)_{\text{ст(кор)}} = \pm 4,92\%.$$

Путем квадратичного суммирования случайных погрешностей определим случайную составляющую суммарного поля рассеивания:

$$\delta\left(\frac{\Delta\omega}{\omega}\right)_{\Sigma} = \sqrt{\delta^2\left(\frac{\Delta\omega}{\omega}\right)_{\text{пр}} + \delta^2\left(\frac{\Delta\omega}{\omega}\right)_{-} + \delta^2(h_{\Sigma}) + \delta^2\left(\frac{\Delta\omega}{\omega}\right)_{\text{ст}}}.$$

После подстановки получаем скорректированную случайную составляющую:

$$\delta\left(\frac{\Delta\omega}{\omega}\right)_{\Sigma(\text{кор})} = \sqrt{1,23^2 + 8,8^2 + 3,9^2 + 4,92^2} = 10,8\%.$$

Найдя средние значения и случайные составляющие суммарного поля рассеивания, определим величину суммарного допуска. Для этого зададимся коэффициентом запаса $\varepsilon = 1,2$ на уход параметров под воздействием дестабилизирующих факторов, не учтен-

ных при расчете: пыль, вибрации, солнечная радиация, атмосферное давление и т. д.

Тогда скорректированное суммарное поля допуска найдем по формуле

$$\begin{aligned} \delta_{\Sigma(\text{кор})} &= \varepsilon \left(\left(M \left(\frac{\Delta\omega}{\omega} \right)_{\Sigma-} - \delta \left(\frac{\Delta\omega}{\omega} \right)_{\Sigma(\text{кор})} \right) \dots \right. \\ &\quad \left. \dots \left(M \left(\frac{\Delta\omega}{\omega} \right)_{\Sigma+} + \delta \left(\frac{\Delta\omega}{\omega} \right)_{\Sigma(\text{кор})} \right) \right) = \\ &= 1,2 \cdot ((-1,5 - 10,9) \dots (0 + 10,9)) = (-14,88 \dots + 13,08)\%. \end{aligned}$$

Анализ результатов и выводы. В результате приведенных выше расчетов была найдена скорректированная погрешность частоты на входе рассматриваемого узла. Коррекция погрешности производилась изменением элементной базы (компоненты R_1 , C_1). Новые параметры элементов приведены в табл. 2.12.

Таблица 2.12

Новая элементная база

Обозначение	Номинал, допуск	Коэффициент старения	Температурный коэффициент	
			от -85°C до $+20^{\circ}\text{C}$	от $+20^{\circ}\text{C}$ до $+125^{\circ}\text{C}$
R_1	5,6 кОм $\pm 1\%$	$\pm 0,001\%/ч$	+0,05%/°C	+0,008%/°C
C_1	0,29 мкФ $\pm 1\%$	$\pm 0,001\%/ч$	+0,25%/°C	+0,17%/°C

В результате корректировки погрешности было получено следующее значение:

$$\delta_{\Sigma(\text{кор})} = (-14,88 \dots + 13,08)\%.$$

Полученное значение удовлетворяет требованиям технического задания, где

$$[\delta] \leq \pm 15\%.$$

Следовательно, можно сделать вывод, что поставленная задача выполнена, т. е. изменены параметры элементов схемы таким образом, что эксплуатационная погрешность при заданных элементах не превышает показателя, заданного в ТЗ.

Анализ последствий и причин отказов (FMEA)

Общие положения. Анализ последствий и причин отказов (Failure Mode & Effects Analysis – далее FMEA) представляет собой технологию анализа возможности возникновения дефектов и их влияние на потребителя. FMEA проводится для разрабатываемых продуктов и процессов с целью снижения риска потребителя от потенциальных дефектов.

FMEA не предусматривает изучение экономических показателей, в том числе затрат, связанных с качеством управления; его задача – выявить именно те дефекты, которые обуславливают наибольший риск для потребителя, определить их потенциальные причины и выработать корректирующее воздействие до того, как эти дефекты проявятся, и, таким образом, предупредить затраты на их исправление.

Объектами FMEA могут быть:

- 1) конструкция изделия;
- 2) процесс производства продукции;
- 3) бизнес-процессы (документооборот, финансовые процессы);
- 4) процесс эксплуатации изделия.

Проведем анализ 2-го и 3-го объектов FMEA с использованием пакета программ BP Win.

Анализ процесса производства. После моделирования процесса сборки узла (рис. 2.15) необходимо произвести экспертный анализ модели. В данной работе будет произведен лишь анализ компонентов фильтра (R_1, C_1), так как в самой работе контролируются лишь их входные параметры. Анализ компонентов представлен в табл. 2.13.

Классификация параметров дефектов при экспертном анализе:

- ◆ A – параметр частоты возникновения дефекта (от 0 до 10, наивысший балл проставляется в случае, если оценка частоты возникновения более 25%);
- ◆ B – параметр тяжести последствий для потребителя (от 0 до 10, наивысший балл проставляется в случае, если последствия дефекта влекут юридическую ответственность);
- ◆ C – параметр вероятности обнаружения дефекта (от 0 до 10, наивысший балл проставляется в случае «скрытых» дефектов, которые не могут быть выявлены до наступления последствий);

- ♦ D – параметр риска потребителя (от 0 до 10, показывает, в каких отношениях друг к другу в данный момент времени находятся причины возникновения дефектов).



Рис. 2.15. Диаграмма сборки узла

Таблица 2.13

Таблица FMEA-объекта

Таблица FMEA-объекта								
Компонент	Потенциальный дефект	Потенциальные причины	Потенциальные последствия	Контроль	A^1	B	C	D
R_1	Отказ работы компонента	Брак поставщика, некачественная пайка	Плохая коммутация внутри микросхемы, помехи	Визуальный и электрический	10	4	2	2
C_1	Отказ работы компонента	Брак поставщика, некачественная пайка, зависимость от входного напряжения	Плохая коммутация внутри микросхемы, помехи	Визуальный и электрический	10	4	3	3
C_1	Отказ работы компонента	Брак поставщика, некачественная пайка, зависимость от входного напряжения	Плохая коммутация внутри микросхемы, помехи	Визуальный и электрический	10	4	4	3

¹ В нашем случае тождественно равен 10, так как нет необходимых статистических данных с производства, а значит, мы считаем его максимальным.

Более высокие параметры оценки влияния дефектов для конденсаторов по отношению к резистору вызваны наличием зависимости по отношению к входному напряжению.

По результатам анализа должны быть разработаны корректирующие мероприятия, такие как:

- 1) исключить причину возникновения дефекта (параметр *B*);
- 2) воспрепятствовать возникновению дефекта – по средствам статистического регулирования (параметр *C*);
- 3) снизить влияние дефекта (параметр *D*);
- 4) облегчить достоверность выявления дефекта (параметр *A*).

При анализе причин дефектов было решено произвести контроль параметров ЭРЭ согласно экспертного анализа по параметрам типа *A* и *C*.

Управление статистическими параметрами (по параметру *C*) рассмотрено выше.

Результатом корректировки по параметру *A* является модель производственного процесса, представленная на рис. 2.16, в которой предложено производить контроль и анализ бракованных компонент на всех уровнях сборки узла.

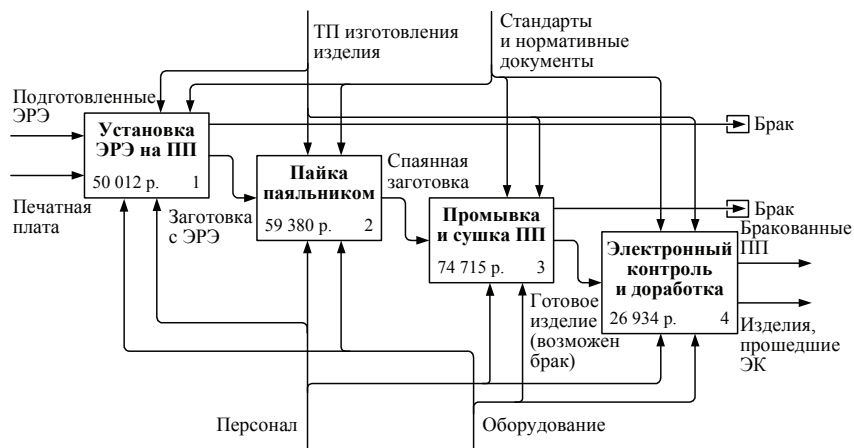


Рис. 2.16. Альтернативная диаграмма – снижение влияние дефектов

Анализ бизнес-процессов. Для модели бизнес-процесса сборки с точки зрения технолога с помощью программного пакета Vp Win произведем UDP-анализ модели, т. е. анализ определенных пользователем свойств модели.

UDP-критерием в данной модели выступает комплексный коэффициент технологичности. В качестве основных критериев оценки технологичности операций выбраны следующие: сложность операции (что сильно сказывается на требованиях к персоналу), общая степень автоматизации (сюда входят коэффициенты использования установок для монтажа и подготовки к нему, контроля), а также степень повторяемости операций. В табл. 2.14 приведены коэффициенты технологичности операций.

Таблица 2.14

Коэффициенты технологичности операций

Имя	UDP
Визуальный контроль качества	0,30
Входной контроль и комплектование ЭРЭ	0,40
Доработка паяльником	0,16
Извлечение из шкафа	0,36
Извлечение конденсаторов из тары	0,55
Извлечение резисторов из тары	0,35
Комплектование ЭРЭ	0,50
Контроль качества пайки	0,29
Окончательный контроль	0,52
Отметка о бракованном изделии	0,36
Отметка о годности изделия	0,36
Пайка паяльником вручную	0,25
Передача на следующую операцию	0,23
Подготовка к установке ЭРЭ	0,24
Поиск места и установка конденсаторов	0,33
Поиск места и установка резисторов	0,33
Поиск ЭРЭ	0,19
Проведение функционального контроля	0,66
Размещение в установке контроля	0,23
Разупаковка ЭРЭ	0,39
Установка ЭРЭ на ПП	0,44
Формовка ЭРЭ	0,36
Функциональный контроль	0,44
Электронный контроль и доработка	0,22

Анализ модели показывает, что самыми технологичными операциями являются операции, связанные с большей степенью автоматизации, например функциональный контроль (0,44). А самыми низкотехнологичными – операции, связанные с ручной работой: поиск ЭРЭ (0,19), доработка паяльником (0,16).

Анализ результатов и выводы. После проведенного FMEA-анализа процесса производства и бизнес-процесса, с точки зрения

технолога, для повышения общего качества производимых предприятием изделий рекомендуется автоматизировать процесс сборки изделия и перейти на технологии поверхностно монтируемых компонентов с приобретением соответствующего оборудования для автоматического установления элементов на плату и инфракрасных или конвекционных печей, а также более производительных приспособлений или автоматов формовки компонентов, автомата, разделяющего элементы из лент-кассет поставщиков по таре в соответствии с заданной программой, а также полный переход на электронный документооборот и внедрение автоматизированной информационной системы.

Реинжиниринг бизнес-процессов

Общие положения. Реинжиниринг бизнес-процессов (Business Process Reengineering – BPR) резко повышает эффективность деятельности всего предприятия.

Принципиальными положениями реинжиниринга бизнес-процессов являются:

1. Перестройка бизнес-процессов должна осуществляться без учета предыдущего опыта.
2. BPR ставит под сомнение общепринятые предположения, которые делают при анализе бизнес-процессов.
3. Реинжиниринг требует нестандартного подхода.
4. Радикальные изменения осуществляются на основе применения современных технологий.

Проект по реинжинирингу состоит из следующих этапов:

- 1) моделирование и анализ существующих бизнес-процессов (подробно было рассмотрено выше);
- 2) переосмысление и разработка принципиально новых бизнес-процессов;
- 3) внедрение новых бизнес-процессов.

Проведем реинжиниринг бизнес-процесса с использованием методики RUP.

Реинжиниринг процесса сборки. Так как основой процесса реинжиниринга бизнес-процессов является автоматизация входящих в него процессов, остановимся на моделировании процесса сборки при наличии автоматизированной системы управления. На рис. 2.17 представлена диаграмма взаимосвязей внутри процесса сборки, реализованная для подсистемы АСУ. В табл. 2.15 приве-

дена спецификация диаграммы, изображенной на рис. 2.17. Данная диаграмма позволяет описать интерфейс подсистемы, а также действия, которые она должна выполнять (табл. 2.16).

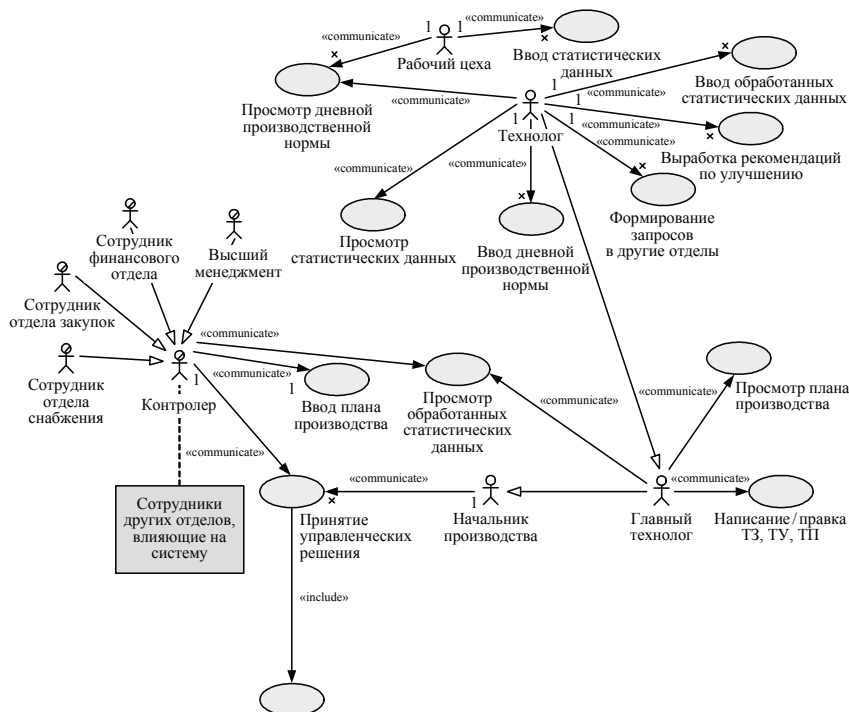


Рис. 2.17. Диаграмма вариантов использования внутри процесса сборки

Таблица 2.15

Спецификация специалистов в диаграмме вариантов использования

№	Специалист	Описание
1	Технолог	Сотрудники-технологи, аналитики
2	Главный технолог	Аналитик, управленец
3	Начальник производства	Управленец
4	Контролер	Сотрудник отдела снабжения, сотрудник отдела закупок, сотрудник финансового отдела, высший менеджмент
5	Рабочий цеха	Сборщики в цеху

Таблица 2.16

**Спецификация действий
в диаграмме взаимосвязей**

№	Действие	Описание
1	Просмотр обработанных статистических данных	Просмотр данных. Анализ
2	Просмотр статистических данных	Просмотр данных. Анализ. Составление общего анализа
3	Просмотр дневной производственной нормы	Просмотр личного плана сотрудника
4	Ввод обработанных статистических данных	Обработка отчетов сотрудников производства о состоянии оборудования, количестве брака и прочее
5	Ввод плана производства	Составление общего плана производства
6	Ввод дневной производственной нормы	Расчет нормы производительности на человека
7	Выработка рекомендаций по улучшению ТП	Анализ недостатков ТП. Отчеты
8	Формирование запросов в другие отделы	Запросы на оборудование, ремонт, комплектующие, персонал и т. д.
9	Просмотр плана производства	Просмотр плана
10	Принятие управленческих решений	Принятие решений о финансировании, кадровой политике и т. д.
11	Разработка/корректировка ТЗ/ТУ	Внесение изменений в ТЗ и ТУ. Оформление КД и отчетов
12	Модернизация производства	Принятие решение о модернизации существующих ТП или производства

Анализ результатов и выводы. Последствия реинжиниринга бизнес-процесса сборки заключается в следующем:

- ◆ происходит переход от функциональной структуры подразделений к операционной модели;
- ◆ сотрудник должен принимать самостоятельные решения и самостоятельно выбирать возможные варианты достижения поставленных целей;
- ◆ уменьшение значения работы менеджера: смещение его функций от контролирующих к обучающим;
- ◆ организационная структура предприятия становится горизонтальной;
- ◆ функции руководства перемещаются от организационных в сторону лидерских.

2.9. ВЫВОДЫ ПО РАБОТЕ

В ходе выполнения работы произведен анализ систем контроля и управления качеством на примере выбранного узла. Проведен статистический анализ контроля его параметров, даны рекомендации по технологическому процессу сборки узла и внедрению автоматизированной системы управления. На основе анализа полученных данных составлен алгоритм решения задачи управления качеством, основанный на контроле статистических параметров элементов, а также составлена структурная схема системы управления качеством.

3. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ КУРСОВОЙ РАБОТЫ ПО КУРСУ «УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ ЭС»

3.1. ЗАДАНИЕ НА КУРСОВУЮ РАБОТУ

Темы курсовой работы выбираются студентом самостоятельно или по рекомендации преподавателя. В качестве темы может выступать как устройство, так и технологический процесс производства какого-либо устройства.

Задание на КП является комплексным и предусматривает:

- ◆ общий анализ системы управления качеством, включающий в себя выбор показателей качества и изучение основных методологических подходов обеспечения качеством;
- ◆ обоснование применения различных видов контроля для данного устройства/ТП;
- ◆ анализ влияния различных факторов на качество параметров деталей или сборочной единицы;
- ◆ проектирование системы входного контроля;
- ◆ проектирование системы операционного контроля;
- ◆ проектирование системы выходного контроля;
- ◆ непосредственный синтез системы управления качеством на основе проведенного анализа подсистем.

Начало – 2-я неделя семестра.

Защита КП проводится на 15-й неделе семестра.

Студент должен выполнить следующие объемы работ:

- ◆ 25% (2–4-я недели) – общий анализ системы управления качеством, выбор показателей качества, анализ динамики их отказов;

- ◆ 50% (5–8-я недели) – обоснование необходимости мероприятий по обеспечению и контролю качества для выбранного устройства/ТП, проектирование системы входного контроля;
- ◆ 75% (9–12-я недели) – проектирование систем операционного и выходного контроля;
- ◆ 100% (13–15-я недели) – синтез системы управления качеством, оформление КП.

3.2. ПРИМЕР КУРСОВОЙ РАБОТЫ

При проектировании системы контроля и системы управления качеством ТП контроля и испытаний интегральных микросхем на стадии сборки необходимо предварительно произвести тщательный анализ объекта (ТП) с целью последующего выбора наиболее оптимальных методов и средств контроля и управления.

Построение системы управления качеством (СУК) сводится к анализу ТП, определению важнейших операций для контроля и управления, принятия решения о методах контроля качества на каждой из рассматриваемых операций.

Необходимо, чтобы предварительное проектирование СУК ТП контроля и испытаний интегральных микросхем на стадии сборки проводилось по определенному алгоритму, охватывая основные цели комплексного контроля и наиболее полно исследуя полученную информацию. При анализе априорной информации необходимо применять методiku, позволяющую в зависимости от объема, качества и содержания информации рационально использовать различные метрологические, логические и статистические операции, обеспечивающие проведение анализа в нескольких направлениях с минимальными затратами времени и средств.

При производстве ЭС контроль качества следует производить на всех этапах, начиная от разработок принципиальных схем и заканчивая выходным контролем перед реализацией заказчику.

3.2.1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ АНАЛИЗА ТП ИСПЫТАНИЙ ЭС ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ

На рис. 3.1 представлен алгоритм оценки качества, который основан на выделении из конструкции ЭС «элементов качества»

и анализе механизмов их отказов в зависимости от условий и режимов работы схем, и последующем синтезе с учетом конструктивно-технологических и схемо-топологических особенностей ЭС.



Рис. 3.1. Алгоритм оценки качества ЭС
(ЭС – микро- и наносистемы)

При исследовании системы управления качеством необходимо учитывать, что контроль функционально незаконченных схем традиционными методами контроля (функциональный контроль) значительно сложнее контроля функционально законченных схем.

Для построения СУК ТП контроля и испытаний ЭС на стадии сборки на основе анализа априорной информации необходимо определить:

- ◆ основные операции;
- ◆ состав и последовательность операций;
- ◆ расчет норм, условий и режимов для каждой операции;
- ◆ методы измерения и контроля;
- ◆ методы обработки и анализа экспериментальных данных;

- ♦ оценку соответствия разработанной СУК ТП контроля и испытаний интегральных микросхем на стадии сборки заданным требованиям.

Методы измерений и контроля следует выбирать исходя из специфики разработанного ТП, причем на операциях необходимо комплексно применять методы измерения электрических параметров и метеорологических факторов, методы неразрушающего контроля, физические и физико-химические методы разрушающего контроля и измерений.

На рис. 3.2 показана модель, которая предусматривает проведение работ по определенному циклу, включающему предварительный анализ, планирование, эксперимент и последующий анализ, что отвечает принципам оптимального планирования исследований. Предлагаемая модель описывает структуру системы в целом, однако следует учитывать, что в рамках каждого этапа должен проводиться свой комплекс исследований.

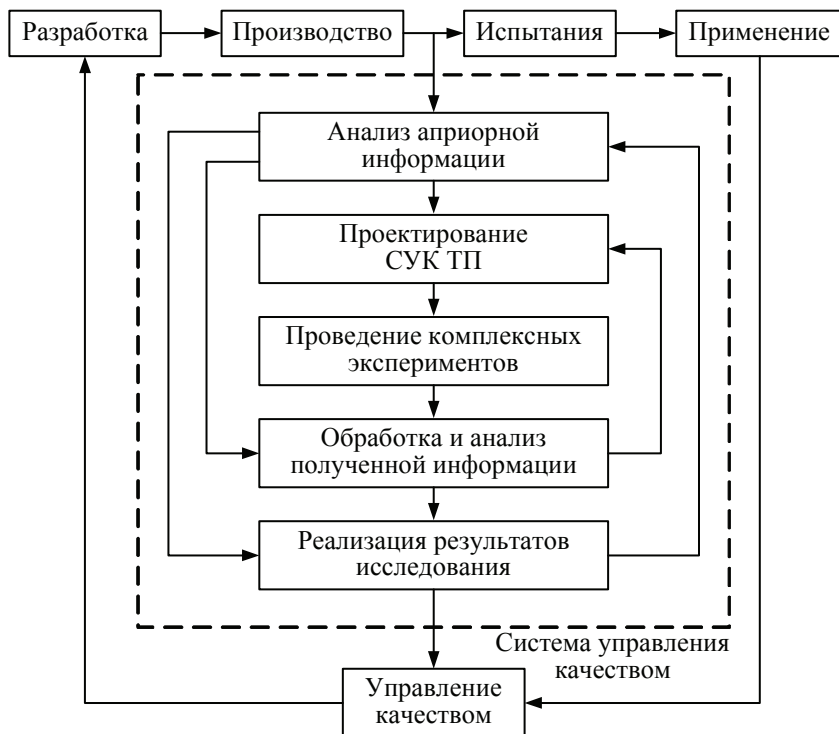


Рис. 3.2. Структурная модель системы управления качеством

Выбор показателей качества

Для выбора параметров качества ТП сборки ИС необходимо:

- ◆ провести структурный анализ процесса и по его аппаратурно-технологической схеме определить места контроля, т. е. выявить те точки, в которых контроль необходим;
- ◆ по возможности полностью классифицировать контролируемые параметры и ранжировать их по важности (ценности) информации для технологического процесса; ввести критерии ценности информации;
- ◆ проанализировать контролируемые параметры, оценивающие отдельную операцию, аппаратурно-процессную единицу, часть технологической линии или технологический процесс в целом;
- ◆ разработать наиболее рациональную (оптимальную) структуру потоков информации, ее переработки и представления оператору и руководству участка (цеха);
- ◆ определить наличие и возможности оснащения технологического процесса необходимыми средствами контроля, доступность этих средств.

Надежность ЭС при эксплуатации характеризуется кривой зависимости интенсивности отказов от времени (рис. 3.3). Данная кривая показывает относительно высокую интенсивность отказов в период ранних отказов (период приработки), сравнительно низкую и стабильную интенсивность отказов в период эксплуатации и возрастающую интенсивность в период износа (примерно после 25 лет нормальной работы). Ранние отказы возникают, как правило, вследствие конструкторских и технологических недостатков. В нормальных условиях работы этот период длится до 1000 ч или примерно 6 недель. На окончание этого этапа указывает выравнивание кривой интенсивности отказов. Интенсивность отказов в период приработки имеет тенденцию к уменьшению по мере совершенствования конструкции и технологии.

В настоящее время общеприняты два основных направления увеличения надежности выпускаемых ЭС:

- ◆ устранение причин отказов при изготовлении изделий путем изучения, совершенствования производственного процесса и повышения контроля, т. е. воздействие на процесс произ-

водства посредством обратной связи передачи информации и создание в конечном счете бездефектной технологии;

- ♦ выявление и удаление изделий с отказами (действительными и потенциальными) из готовой партии до поставки потребителю.

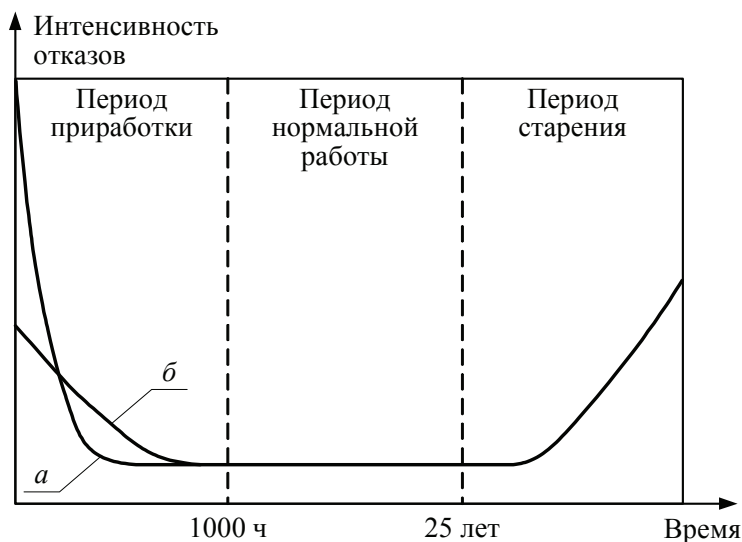


Рис. 3.3. Типовая зависимость интенсивности отказов ЭС от времени:

a – без отбраковочных испытаний;

б – с проведением отбраковочных испытаний

Наиболее эффективным методом повышения качества и надежности выпускаемых изделий является первый метод.

Известно, что отказы возможны даже в хорошо освоенном производстве. По этой причине распространенным способом повышения качества и надежности выпускаемой партии является проведение отбраковочных испытаний в процессе выходного контроля этих партий на заводе-изготовителе.

Считается, что случайных отказов не бывает, каждый отказ имеет причину и является следствием приложения некоторой нагрузки. Для того чтобы отбраковочные испытания были эффективными, нужно знать, какие нагрузки и как ускоряют появление отказов. В табл. 3.1 даны характеристики отдельных видов отбраковочных испытаний, преимущества и недостатки этих испытаний.

Таблица 3.1

Механизмы отказов, выявляемые при отбраковочных испытаниях

Отбраковочные испытания	Механизмы отказов									
	Дефекты монтажа кристалла	Дефекты в кристалле кремния	Дефекты металлизации кристалла	Дефекты в сварных внутренних соединениях	Загрязнения поверхности	Дефекты герметизации	Дефекты корпуса	Дефекты внешних выводов	Несогласованность тепловых коэффициентов расширения	Электрическая нестабильность
Визуальный осмотр						■	■	■		
Повышенная температура		■		■						■
Вибрации	■			■			■	■		
Одиночные удары	■			■			■	■		
Многократные удары	■			■			■	■		
Линейное ускорение	■			■			■	■		
Термоциклирование	■	■	■	■		■	■		■	
Испытания на герметичность						■	■			
Рентгеноскопия	■			■		■	■			
Электротермотренировка		■	■		■					■
Энергоциклирование	■								■	■
Электрические испытания		■	■		■					■
Повышенная влажность			■	■	■	■				■

Многие различные по природе слабые места приводят к одним и тем же механизмам отказов, многие одинаковые механизмы отказов ускоряются различными нагрузками и многие различные механизмы отказов – одними и теми же нагрузками. В частности, работа ЭС при повышенной температуре и термоциклы ускоряют многие механизмы отказов. Повышенные температуры вызывают ускоряющие ряды химических реакций, ведущих к усилению коррозии, старению, ухудшению изоляции, способствуют снижению

пробивного напряжения, растрескиванию пластмассы, увеличению токов утечки.

Большинство механизмов отказов ЭС ускоряется под воздействием температуры и напряжения или тока, поэтому в процессе тренировки изделия должны работать при максимально допустимом напряжении и максимально возможной температуре. Однако при этой температуре не должно быть тепловой перегрузки, изменений логических состояний, а также недопустимо большой плотности тока в металлизации. Тепловая перегрузка должна быть исключена, так как в противном случае температура полупроводникового перехода не поддается контролю, что приводит к быстрому отказу изделия.

Электротермотренировка (ЭТТ) общепризнана эффективным средством ускорения эксплуатационных механизмов отказов. Она дает много информации за короткое время, но достоверные результаты можно получить только на основе правильного выбора электрических и тепловых нагрузок, выявления видов и механизмов отказов, соответствующих реальным условиям эксплуатации, а также статистической обработки полученных результатов.

Для ЭТТ могут использоваться те же методы, что и для электротренировки, плюс внешнее воздействие повышенной температуры. Температуры, при которых проводятся тренировки, составляют 70, 85, 100, 125 и 150°C. ЭТТ ведется в специальных стендах при строгом контроле температуры.

Например, кремниевые ИС могут подвергаться дополнительной тренировке с использованием обратного смещения при высокой температуре.

Эффективность ЭТТ сложных БИС зависит от используемых цепей возбуждения и нагрузки, а также от температуры и продолжительности процесса тренировки. В отношении сравнительной эффективности динамических и статических режимов испытаний МОП БИС нет единой точки зрения. ЭТТ в статическом режиме способствует выявлению устройств с дефектами поверхности, которые проявляются в виде токов утечки или уменьшения быстродействия. ЭТТ в динамическом режиме выявляет дефекты ячеек ЗУ на КМОП-транзисторах, обусловленные плохим качеством.

Наибольшее распространение получила ЭТТ КМОП БИС в статическом режиме на уровне устройств, когда на все входы и выходы схемы подается напряжение определенного уровня. Некоторые фирмы применяют данный вид тренировки совместно с тренировкой в динамическом режиме, проводимой на уровне плат или систем.

ЭТТ различные фирмы проводят при температурах до 300°C. Установлено, что при повышенных температурах постоянное значение интенсивности отказов достигается в течение более короткого времени, чем при более низких температурах (рис. 3.4).

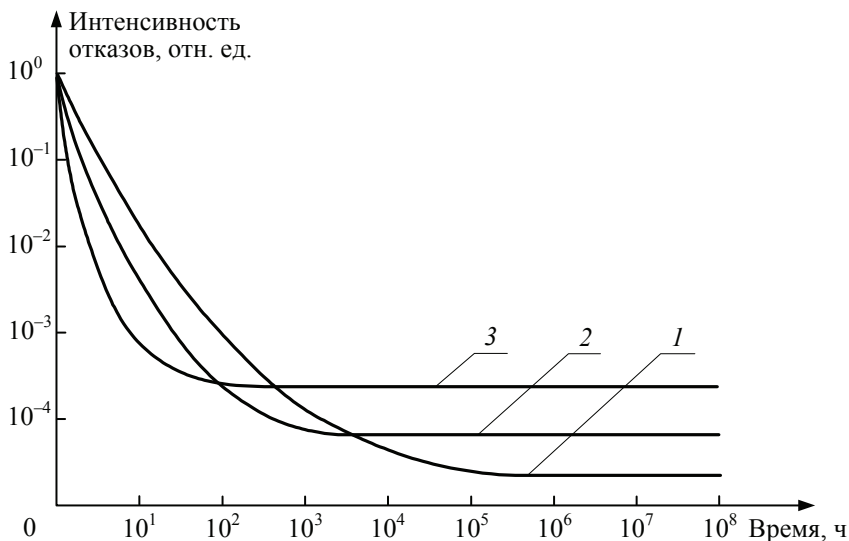


Рис. 3.4. Зависимость периода приработки ИМС от температуры:
1 – 50°C; 2 – 125°C; 3 – 250°C

Продолжительность тренировок остается проблемой как для изготовителя, так и для потребителя изделий. Малая доза отказов может трактоваться как следствие недостаточной продолжительности испытаний, и наоборот, большое количество отказов может служить свидетельством чрезмерной продолжительности тренировки.

Итак, выбран оптимальный режим тренировки и необходимо найти оптимальное время тренировки. В настоящее время длительность ЭТТ различных схем в разных режимах составляет 48, 72, 96, 150, 168, 240 ч, а в отдельных случаях – до 1000 ч. По данным фирмы Fairchild Semiconductor, большинство отказов происходило в первые 96 ч. В большинстве национальных стандартов, а также в международных стандартах (публикации № 747 МЭК и № 9000 СЭСС) устанавливаются объем и последовательность проведения отбраковочных испытаний ИМС, которые включают ЭТТ продолжительностью 168, 96 и 48 ч.

В ходе всего производственного процесса могут появляться разнообразные дефекты. Выявление этих дефектов на последующих этапах производства может на порядок повысить стоимость всего изделия и снизить конкурентоспособность. Следовательно, одной из основных задач при производстве является хорошо поставленный контроль, который осуществляется на каждом его этапе.

При проведении отбраковочных испытаний составляют перечень дефектов (табл. 3.2), которые были обнаружены на стадии сборки, а также была составлена диаграмма распределения этих дефектов по частоте обнаружения (рис. 3.5).

Номера на диаграмме (рис. 3.5) определяют номера дефектов в табл. 3.2.

Таблица 3.2

Дефекты при отбраковочных испытаниях

№ п/п	Описание дефекта
1	2
1	Трещины на кристалле
2	Сколы кристалла
3	Царапины, риски на кристалле
4	Царапины от игл зонда, выходящие за пределы контактных площадок
5	Выступы по периметру кристалла больше нормы
6	Загрязнения на поверхности кристалла
7	Размеры кристалла не в норме
8	Разрывы, коррозия и отслаивание металлизации на кристалле
9	Невскрытые контактные площадки кристалла
10	Наличие клея на кристалле и траверсах
11	Наличие клея по периметру кристалла меньше нормы
12	Прочность монтажа кристалла меньше нормы
13	Смещение кристалла
14	Расположение кристалла не соответствует чертежу
15	Сквозные царапины на траверсах основания корпуса
16	Линейные размеры сварного соединения не в норме
17	Смещение сварной точки за пределы контактных площадок
18	Повторная сварка на контактных площадках кристалла
19	Отсутствие части сварного соединения
20	Разводка межсоединений в натяг, без прогиба
21	Касание проволочным межсоединением края кристалла
22	Высота петли проволочного межсоединения больше нормы
23	Обрыв проволочного межсоединения
24	Пережатие сварного межсоединения
25	Отслоение золотого покрытия
26	Потемнение золотого покрытия

Продолжение табл. 3.2

1	2
27	Инородный материал внутри основания корпуса
28	Уменьшение диаметра проволочного соединения
29	Прочность монтажа межсоединений меньше нормы
30	Выплески металла
31	Прожоги сварного шва
32	Смещение крышки относительно ободка основания
33	Щели в сварном шве
34	Негерметичность микросхемы (малые течи)
35	Негерметичность микросхемы (большие течи)
36	Посторонние частицы внутри корпуса микросхемы
37	Состав маркировки не соответствует КД
38	Нечеткая маркировка
39	Электрические характеристики при НУ перед ЭТТ не соответствуют нормам
40	Электрические характеристики при НУ после ЭТТ не соответствуют нормам
41	Брак при ФК микросхемы при НУ
42	Брак при ФК микросхемы при повышенной температуре
43	Брак при ФК микросхемы при пониженной температуре
44	Сколы корпуса
45	Трещины корпуса
46	Деформация выводов
47	Облом выводов
48	Несоответствие габаритных размеров чертежу

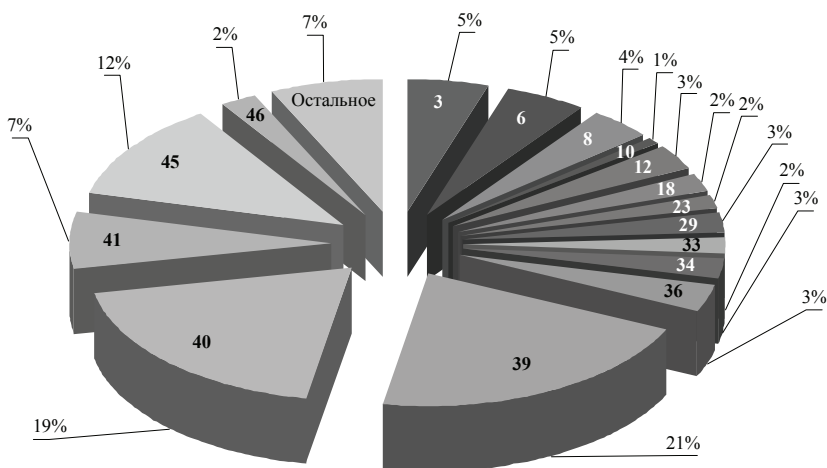


Рис. 3.5. Распределение дефектов по частоте обнаружения при отбраковочных испытаниях ИМС

Такой разброс дефектов обуславливается различными факторами. Например, сложность самого изготавливаемого устройства, точность оборудования, квалификация рабочего персонала, ошибки в конструкторской и технологической документации, нарушение условий транспортировки и хранения и многое другое.

Как видно из диаграммы, наибольший «отсев» ИМС происходит по причине ухода электрических характеристик до и после ЭТТ. Это и неудивительно, поскольку ЭТТ – это не что иное, как кратковременное испытание на срок службы ИМС. Однако ЭТТ является прекрасным механизмом для повышения надежности выпускаемой партии продукции, кроме того, 100% тренировка все время дает новые отказы, результаты анализа которых можно непосредственно использовать для эффективного воздействия на производственный процесс или для разработки конструктивно-технологических мер по ликвидации причин отказов.

Данные ЭТТ оценивают общее состояние производственного процесса, его управляемости и стабильности. Пользуясь данными тренировки, можно:

- ◆ сократить расходы на испытания;
- ◆ определить доверительную вероятность найденной надежности или интенсивности отказов;
- ◆ обеспечить непрерывный контроль производственного процесса.

Обоснование применения методов входного, операционного и приемочного контроля как механизмов управления качеством

В ходе технологического процесса возникают систематические и случайные составляющие производственной погрешности. Если систематические составляющие погрешности регулярно выявляются, затем устраняются и остаются только случайные составляющие погрешности, то процесс производства считается контролируемым. При этом в период времени, когда $t = 0$, технологический процесс производства является отлаженным.

В общем случае статистический контроль – это процесс установления соответствия между состоянием объекта и заданными на него нормами.

Контролем охватываются все этапы производства ЭС. В зависимости от стадии жизненного цикла изделия (производство, хране-

ние, эксплуатация) различают производственный контроль и эксплуатационный.

Производственный контроль (т. е. статистический контроль, осуществляемый на стадии производства) охватывает все вспомогательные, подготовительные и технологические операции. В зависимости от места в цепи технологического процесса, производственный контроль подразделяют на входной, операционный и приемочный.

Входной контроль – это контроль продукции поставщика, поступившей к потребителю или заказчику и предназначенной для использования при изготовлении, ремонте или эксплуатации ЭС. Поступающие в производство материалы, полуфабрикаты, комплектующие изделия подвергаются входному контролю на соответствие требованиям технической документации (ТУ, ТЗ).

Операционный контроль включает в себя контроль продукции после завершения какой-либо операции.

Приемочный контроль предусматривает контроль готовой продукции по окончании всех технологических операций.

Эксплуатационный контроль (т. е. статистический контроль, осуществляемый на стадии эксплуатации продукции) охватывает эксплуатируемые ЭС.

Статистический контроль в основном базируется на контроле фактических значений параметров качества и сравнении их значений с запланированными в соответствии с разработанной нормативно-технической документацией (НТД). Поэтому такой контроль качества часто называют параметрическим контролем. Кроме того, при приемочном и операционном контроле качества ЭС на конечных операциях их изготовления, а также при эксплуатационном контроле ЭС, как правило, производится их контроль на качество функционирования в соответствии с их дальнейшим назначением. Этот вид контроля ЭС называют функциональным контролем.

Перечисленные виды контроля могут быть сплошными (100%) или выборочными. Сплошной контроль предусматривает проверку каждой единицы продукции. При выборочном контроле проверке подвергаются выборки, производимые из больших партий изделий.

Для выбора показателей качества необходимо провести анализ разработанного ТП сборки. Необходимо учитывать возможности проведения контроля при помощи современных средств контроля, а также следует применять методы неразрушающего контроля.

Для выбора контролируемых операций можно использовать метод экспертных оценок. Экспертам рассылается таблица для заполнения (таблица содержит перечень всех операций данного ТП и поля для заполнения), эксперт оценивает важность каждой операции. После заполнения таблицы рассчитываются средние баллы каждого параметра и коэффициенты значимости j -й операции.

Необходимо назначить 7 экспертов, оптимальное число экспертов составляет 7–10 человек, так как при дальнейшем увеличении произойдет выравнивание коэффициентов значимости. При производстве ЭС контролируется порядка сотни операций.

3.2.2. АНАЛИЗ И ИССЛЕДОВАНИЕ ТП ИСПЫТАНИЙ ЭС С ЦЕЛЬЮ ВЫБОРА ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА

Описание ТП

На данном этапе выполнения КП по курсу «Управление качеством ЭС» необходимо составить ТП, описывающий процесс жизненного цикла, заданного согласно заданию ЭС, и произвести ранжирование операций, выбрав наиболее критичные из них.

1. Составьте маршрутный ТП согласно заданию. Пример ТП представлен в табл. 3.3.

Таблица 3.3

Маршрутная карта ТП

№	Название операции	Оборудование и оснастка	Описание
1	Операция комплектования поступивших в лабораторию материалов	Тара для ЭС – поддон Т-008; контейнер для тары Т-008 СП-021; пинцет Xitronic 00-sa ИВ-003	Производится распределение материалов по таре
...			
25	Контроль внешнего вида ЭС	SIT AG (Швейцария)	Проверка внешнего вида ЭС

2. Выберите контролируемые операции в ТП. Так как результаты всех операций технологического процесса контролировать экономически нецелесообразно, то для организации эффективной системы управления качеством необходимо произвести выбор операций, подлежащих контролю. Это можно сделать путем назначения для каждой операции технологического процесса

соответствующего весового коэффициента, который будет отражать степень важности операции. Выбор значений коэффициентов должен производиться группой экспертов либо главным технологом, который руководит данным ТП. Кроме того, необходимо нормировать коэффициенты. В нашем случае нормируем коэффициенты по единице.

Произведем выбор (по рекомендации главного технолога) весовых коэффициентов для каждой операции технологического процесса (табл. 3.4).

Таблица 3.4

Значения весовых коэффициентов для операций ТП

№	Название операции	Значение весового коэффициента	Обоснование выбора весового коэффициента
1	Операция комплектования	0,1	Данная операция не критична
...			
25	Контроль внешнего вида микросхем	0,3	В случае обнаружения внешних дефектов ЭС отправляется в изолятор брака

Для произведения операционного контроля необходимо выбрать операции с максимальным весовым коэффициентом, так как эти операции наиболее критичны, и наличие дефектов при их выполнении приводит к отбраковке микросхемы.

Для предотвращения брака на данных операциях необходимо проводить выборочный контроль качества испытуемых ЭС. Как уже отмечалось ранее, одной из основополагающих операций является электротермотренировка, поэтому дефектами будут являться отклонения электрических параметров ЭС от нормативных значений, а объектом контроля – сами электрические параметры ЭС.

Помимо операционного контроля, система управления качеством должна включать входной контроль качества, чтобы исключить брак, обусловленный наличием дефектов и несоответствием стандартам расходных материалов и другой продукции, закупаемой предприятием, а также приемочный контроль для окончательной проверки изделия на соответствие техническим требованиям.

3. Выверите показатели качества ТП. В предыдущем разделе был произведен выбор контролируемых операций. Следующим шагом является выбор показателей качества, т. е. параметров, измерив которые можно делать вывод о пригодности ЭС.

На этапе входного контроля показателем качества являются характеристики используемых компонентов и материалов, а для операционного и приемочного контроля показателем качества будет выбранный нами показатель, до и после испытаний соответственно. В табл. 3.5 приведены выбранные показатели качества для операционного, входного и выходного контроля.

Таблица 3.5

Показатели качества при входном, операционном
и приемочном контроле

Название операции	Показатель качества
Входной контроль	Количество дефектов в материалах и компонентах
Операционный контроль	Выбранный показатель до испытаний
Приемочный контроль	Выбранный показатель после испытаний

Контроль качества выбранных показателей будем осуществлять с использованием количественных статистических оценок на основе анализа заданного количества измерений.

Анализ причин изменений показателей качества ТП

Существует множество причин, влияющих на изменения показателей качества. Для их определения необходимо произвести анализ для конкретного ТП. Существуют, однако, некоторые общие особенности.

1. Входной контроль. В рамках входного контроля осуществляется контроль материалов. Причины, влияющие на изменения данного показателя качества, приведены в табл. 3.6.

Таблица 3.6

Причины изменения показателя качества
при входном контроле

№ п/п	Причина изменения показателя качества
1	Уровень системы управления качеством предприятия поставщика
2	Точность измерительных приборов, используемых при входном контроле
3	Уровень соответствия контрольных мероприятий установленным требованиям

Показателем качества в таком случае является количество дефектов в проверяемой партии.

2. Операционный контроль. В качестве контролируемой операции на этапе операционного контроля представлена операция,

выбранная в ходе анализа ТП как наиболее критичная. Существуют различные причины, влияющие на показатели качества, оцениваемые при контроле выбранной операции.

Возможные причины, влияющие на изменение показателя качества, приведены в табл. 3.7.

Таблица 3.7

Причины изменения показателя качества до испытаний

№ п/п	Причина изменения показателя качества
1	Режимы термообработки
2	Режимы термоциклирования
3	Точность измерительного оборудования
4	Качество технологии изготовления ЭС

Показателем качества, оцениваемым на этапе операционного контроля, являются параметры, измерив которые можно делать вывод о пригодности ЭС.

3. Приемочный контроль. На этапе приемочного контроля осуществляется измерение выбранного показателя качества после испытаний. Возможные причины, влияющие на изменение выбранного показателя качества, приведены в табл. 3.8.

Таблица 3.8

Причины изменения показателя качества на операции приемочного контроля

№ п/п	Причина изменения показателя качества
1	Режимы электротермотренировки
2	Качество ЭС
3	Точность измерительного оборудования

Приемочный контроль обычно осуществляется в присутствии обеих сторон – представителей изготовителя и заказчика.

Обоснование входного, операционного и приемочного контроля

Производство не может существовать без эффективной системы управления качеством, так как любая операция технологического процесса способствует получению как готовой годной продукции, так и неработоспособных изделий.

В рамках производства необходимо стремиться к минимизации количества отбракованных изделий и повышению качества произ-

водимой продукции. Для этого необходимо постоянно контролировать качество выпускаемой продукции, а также результат отдельных, наиболее важных операций, а также качество поступающих расходных материалов и комплектующих.

При организации подсистемы контроля системы управления качеством необходимо учитывать особенности, характерные для каждого конкретного предприятия. Наличие продукции, не удовлетворяющей установленным требованиям, как правило, обусловлено проникновением в производственный процесс некачественных расходных материалов, а также появлением дефектов на каждой стадии производственного процесса.

Входной контроль. С целью предотвращения попадания в производственный цикл расходных материалов, не удовлетворяющих техническим требованиям, вводится входной контроль.

Данное контрольное мероприятие может быть сплошным и выборочным. В случае выборочного входного контроля, он может быть реализован методом однократной выборки, методом двукратной выборки и методом последовательного контроля.

Метод однократной выборки – момент времени $t_{\text{МГН}}$ случайный; в это $t_{\text{МГН}}$ случайным образом берется выборка, элементы которой подвергаются статистическому контролю. По результатам этого контроля делается вывод о годности или отбраковке всей генеральной партии.

Метод двукратной выборки – в момент времени $t_{\text{МГН}1}$ случайным образом берется выборка, элементы которой подвергаются статистическому контролю. По результатам этого контроля делается вывод о качестве генеральной партии либо о переходе ко второй выборке $t_{\text{МГН}2}$, элементы которой тоже подвергаются статистическому контролю. По результатам контроля обеих выборок делается вывод о годности или отбраковке всей генеральной партии.

Метод последовательного контроля – в каждый момент времени $t_{\text{МГН}1}, \dots, t_{\text{МГН}N}$ случайным образом берется выборка, элементы которой подвергаются статистическому контролю. По результатам контроля всех выборок делается вывод о годности или отбраковке всей генеральной партии.

Метод сплошного контроля – статистический контроль всех без исключения компонентов. По результатам всех выборок делается вывод о годности или отбраковке всей генеральной партии.

В случае когда присутствует мелкосерийное производство, то целесообразно в качестве метода входного контроля взять *метод однократной выборки*.

Операционный контроль. Операционный контроль служит для того, чтобы отсеять негодную продукцию на ранних стадиях ТП производства ЭС и предотвратить затраты на изготовление бракованных изделий.

При производстве ЭС необходимо постоянно следить за тенденцией изменения направления протекания технологического процесса, так как данный вид производства является очень чувствительным к малейшим изменениям условий производства, и отсутствие такого вида контроля может привести к получению целой партии негодной продукции и существенным экономическим потерям.

По заданию курсовой работы для операционного контроля ТП испытаний ЭС на стадии сборки выбираем метод контрольных карт.

Приемочный контроль. Приемочный контроль на производстве необходим для недопущения попадания на рынок некачественной продукции. При мелкосерийном производстве для обеспечения высокого качества выпускаемой продукции целесообразно использовать сплошной контроль.

3.2.3. ОСНОВНЫЕ ЭТАПЫ УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ ТП ИСПЫТАНИЙ ИМС НА СТАДИИ СБОРКИ

Обеспечение качества

При разработке ТП испытаний ЭС необходимо стремиться к минимизации экономических затрат, а также к обеспечению требуемого качества производимой продукции.

Под качеством производимой продукции будем понимать соответствие параметров производимой продукции требованиям заказчика, а также государственным стандартам.

Понятие качества можно определить, пользуясь следующими показателями:

- ◆ соответствие параметров изделия нормам надежности;
- ◆ соответствие параметров изделия нормам технологичности;
- ◆ эргономичность изделия;
- ◆ уровень стандартизации и унификации;
- ◆ экономические показатели технологического процесса производства.

Для получения качественной продукции на выходе технологического процесса контролем должны охватываться все этапы производства и жизненного цикла изделия. Для реализации данной системы управления качеством можно воспользоваться циклом Деминга (рис. 3.6).

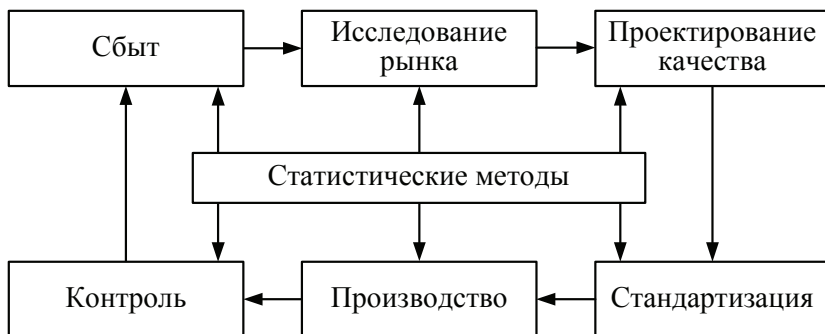


Рис. 3.6. Жизненный цикл изделия (цикл Деминга)

Входной контроль

В качестве объектов входного контроля могут выступать расходные материалы, закупаемая оснастка и т. д.

Контроль качества зачастую сводится к контролю качества их поверхности, который производится визуально (выявление присутствия дефектов, царапин, рисок, двойной пайки на контактных площадках и т. д.).

На данном этапе необходимо определить перечень контролируемых параметров для реализации входного контроля. Ниже приведем пример перечня контролируемых дефектов (табл. 3.9).

Таблица 3.9

Перечень дефектов кристалла ИМС

№ п/п	Описание дефекта
1	Трещины
2	Царапины, риски
3	Царапины от игл зонда, выходящие за пределы КП
4	Загрязнения на поверхности
5	Разрывы, коррозия и отслаивание металлизации
6	Невскрытые контактные площадки
7	Наличие клея
8	Наличие клея по периметру меньше нормы

В качестве метода входного контроля в рамках КП целесообразно выбрать метод однократной выборки (одноступенчатый контроль). План одноступенчатого контроля можно наглядно представить в виде так называемой предельной диаграммы (рис. 3.7). Для этого в прямоугольной системе координат по оси абсцисс откладывается количество отобранных изделий выборки n , а по оси ординат – число забракованных изделий m . Каждое контролируемое изделие отмечается на диаграмме правее предыдущего: годное – на том же уровне, дефектное – на единицу выше. В результате каждая выборка характеризуется случайной траекторией, которая заканчивается в точке с абсциссой n .

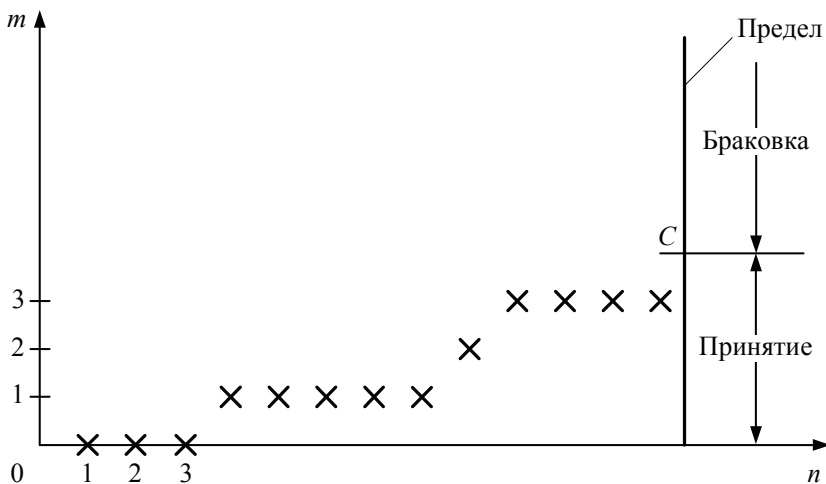


Рис. 3.7. Предельная диаграмма одноступенчатого контроля

На рис. 3.7 показано приемочное число C , и в зависимости от точки окончания случайного пути (выше или ниже C) партия бракуется или принимается. Важнейшими параметрами одноступенчатого контроля являются объем выборки n и приемочное число C . Они определяются требованиями, предъявляемыми к качеству партий в результате соглашения между заказчиком и изготовителем. С точки зрения изготовителя желательно, чтобы на основании одной выборки партии с низким процентом брака в большинстве случаев принимались. Однако заказчик, со своей стороны, хочет иметь гарантию того, что партии с большим процентом брака при одноступенчатом контроле будут браковаться.

Схема одноступенчатого контроля качества продукции показана на рис. 3.8.

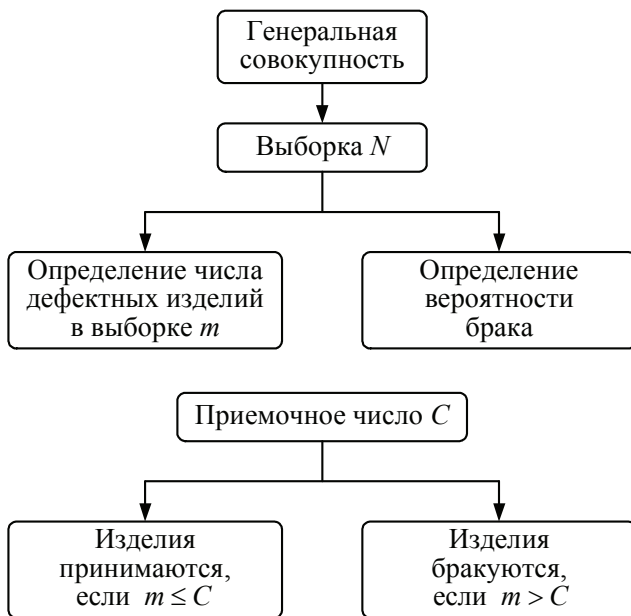


Рис. 3.8. Схема одноступенчатого контроля

Постановка задачи входного контроля. Задаваясь вероятностью, с которой изготовитель гарантирует годность поставляемой продукции, и вероятностью, необходимой заказчику, требуется найти оптимальную мощность выборки для входного контроля.

Зависимость риска изготовителя от мощности выборки. Риск изготовителя примем равным $\alpha = 0,05$.

В качестве функции распределения риска изготовителя используем распределение Пуассона. Запишем законы распределения риска изготовителя:

$$\alpha = 1 - \sum_{m=0}^C \frac{1}{m!} (n \cdot q_n)^m e^{-n \cdot q_n},$$

где m – число дефектных изделий; n – мощность выборки; C – приемочное число; q_n – браковочный уровень качества.

Пример. Примем браковочный уровень качества равный $q_n = 0,15$.

Трудоемкость операции входного контроля характеризуется мощностью выборки, следовательно, при решении задачи входного контроля необходимо минимизировать этот параметр, а также обеспечить заданные риски заказчика и изготовителя.

Зададимся значением норматива приемки $C = 5$ на первом шаге итераций. Это означает, что в выборке не должно быть более 5 бракованных изделий.

Построим график зависимости риска изготовителя от мощности выборки (рис. 3.9):

$$\alpha = 1 - \sum_{m=0}^5 \frac{1}{m!} (n \cdot 0,15)^m e^{-n \cdot 0,15}.$$

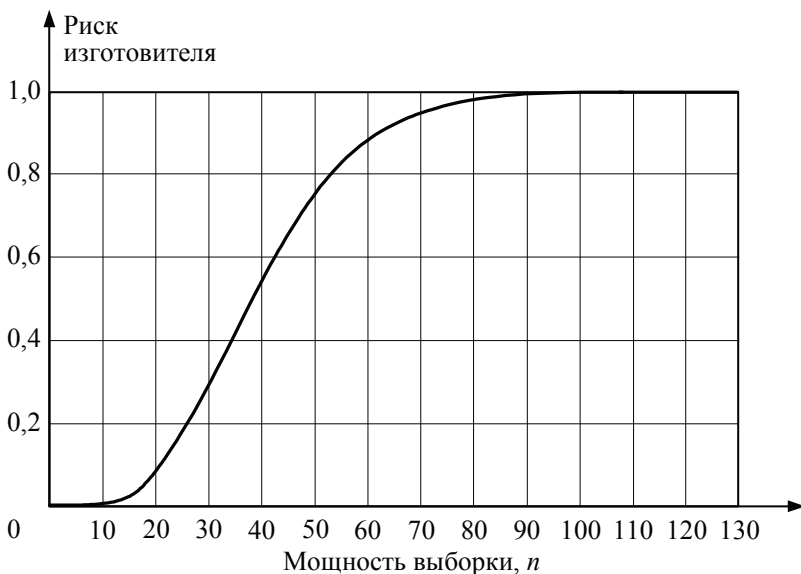


Рис. 3.9. Зависимость риска изготовителя от мощности выборки

Зависимость риска заказчика от мощности выборки. Риск изготовителя примем равным $\beta = 0,15$.

В качестве функции распределения риска заказчика используем распределение Пуассона. Запишем законы распределения риска заказчика:

$$\beta = \sum_{m=0}^C \frac{1}{m!} (n \cdot q_3)^m e^{-n \cdot q_3},$$

где m – число дефектных изделий; n – мощность выборки; C – приемочное число; q_3 – приемочный уровень качества.

Пример. Примем приемочный уровень качества равный $q_3 = 0,05$.

Построим график зависимости риска заказчика от мощности выборки (рис. 3.10):

$$\beta = \sum_{m=0}^5 \frac{1}{m!} (n \cdot 0,05)^m e^{-n \cdot 0,05}.$$

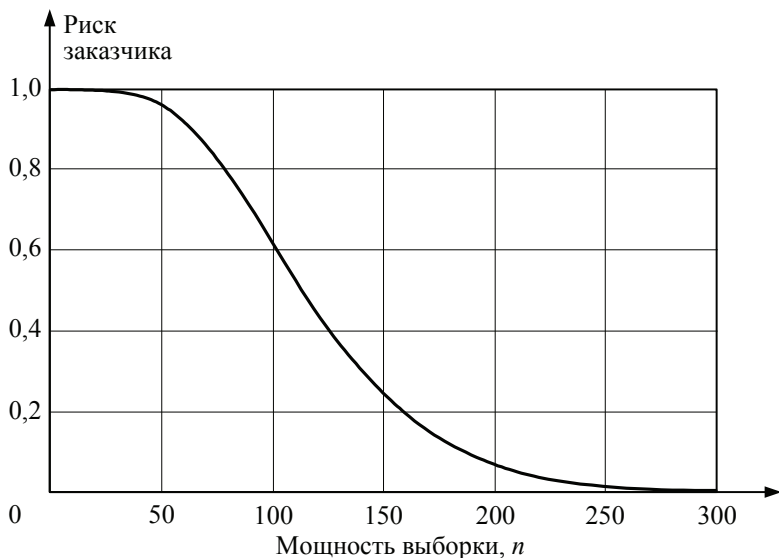


Рис. 3.10. Зависимость риска заказчика от мощности выборки

Поиск оптимальной мощности выборки. Искомую мощность выборки можно определить как абсциссу точки пересечения графиков риска заказчика и риска изготовителя, при этом необходимо, чтобы сами риски заказчика и изготовителя не превышали заданного значения (рис. 3.11).

Пример. Точка пересечения графиков риска заказчика и изготовителя обладает следующими характеристиками:

- ◆ $\alpha = 0,05$;
- ◆ $\beta = 0,15$;
- ◆ $n = 62$.

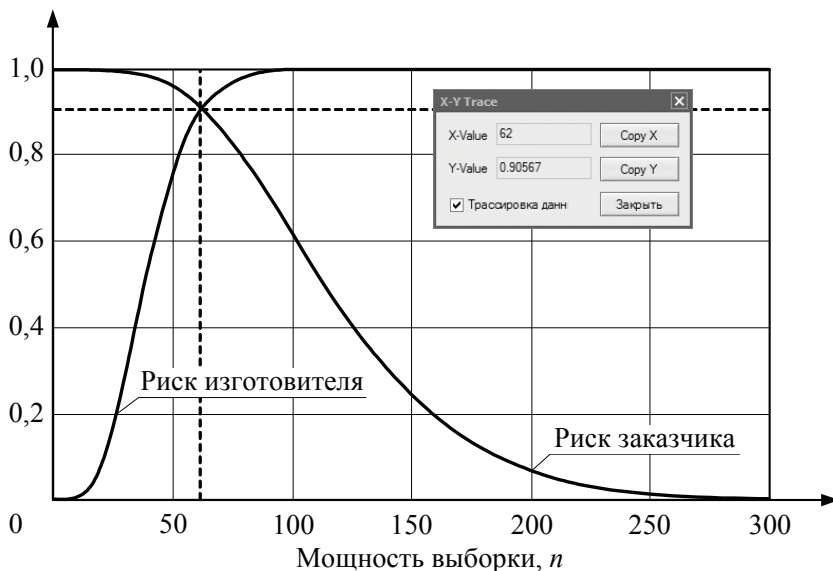


Рис. 3.11. Риски заказчика и изготовителя

В результате решения задачи входного контроля были получены значения параметров, которыми необходимо руководствоваться при проведении контроля:

- ◆ $n = 62$ – необходимая мощность выборки (т. е. то количество кристаллов, которое необходимо визуально проверить на наличие дефектов);
- ◆ $C = 5$ – приемочное число.

Алгоритмы решения задачи входного контроля со стороны заказчика и изготовителя. Схема алгоритма решения задачи входного контроля со стороны изготовителя представлена на рис. 3.12.

Схема алгоритма решения задачи входного контроля со стороны заказчика изображена на рис. 3.13.

Стоимостная оценка входного контроля. Себестоимость входного контроля важна для оценки продуктивности введения метода контроля на данной операции. Чтобы выяснить, оправдывает ли внедрение системы входного контроля затраченные средства, следует провести предварительный (ориентировочный) расчет стоимости спроектированной системы входного контроля.



Рис. 3.12. Алгоритм решения задачи входного контроля со стороны изготовителя

Затраты на контроль собираемых модулей рассчитываются из соотношения

$$C = A + \frac{B}{N},$$

где A – текущие (переменные) затраты, руб.; B – единовременные (постоянные) затраты; N – годовая программа выпуска изделий.

A рассчитывается по формуле

$$A = C_m + C_3 + C_{нр},$$

где C_m – затраты на материалы; C_3 – затраты на зарплату основных рабочих; $C_{нр}$ – накладные расходы, руб.

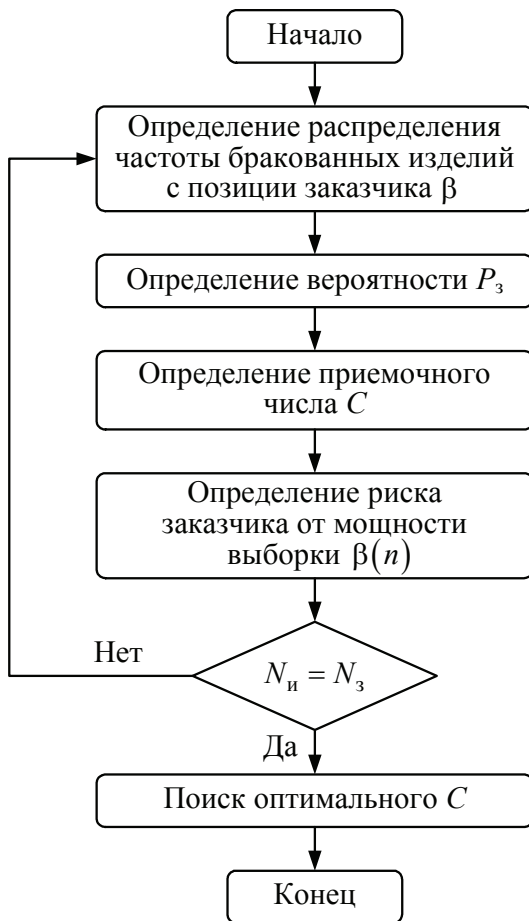


Рис. 3.13. Алгоритм решения задачи входного контроля со стороны заказчика

Пример. $B = 450\,000$ руб.; $C_m = 80\,000$ руб.; $C_3 = 100\,000$ руб.; $C_{np} = C_3$; $N = 3000$ шт./год.

Построим графическую зависимость себестоимости контроля от программы выпуска изделий при выбранных затратах (рис. 3.14).

Как показывает рис. 3.14, для годовой программы выпуска изделий $N = 3000$ шт./год себестоимость системы входного контроля, с учетом выбранных рисков изготовителя и заказчика, составит порядка $280\,000$ руб./год.

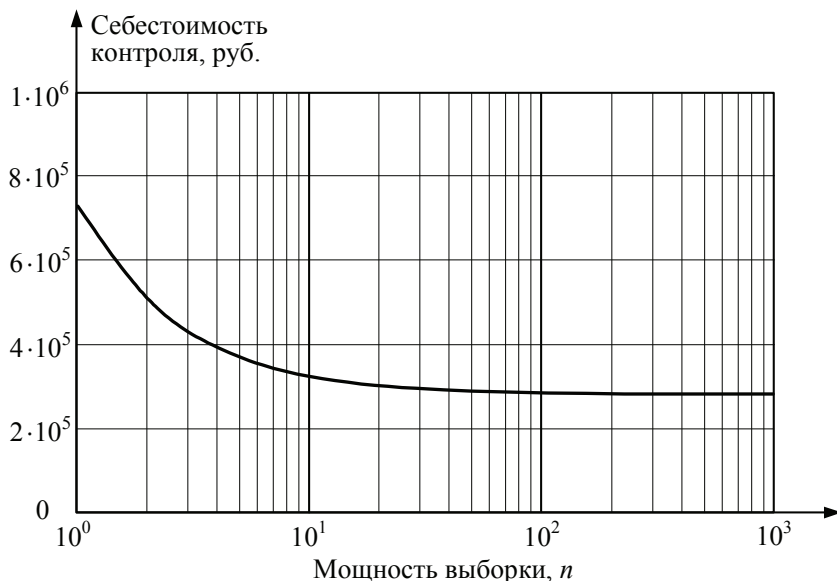


Рис. 3.14. Себестоимость входного контроля

Операционный контроль

На данном этапе необходимо собрать статистические данные для выбранных показателей качества и соответствующих им операций с занесением в таблицу, пример которой дан ниже (табл. 3.10).

Приведенные статистические данные могут считаться достаточными для проведения исследований в области управления качеством на выбранной операции, так как должны быть получены при непосредственном измерении на приведенном выше оборудовании.

Так как в процессе контроля выбранной операции необходимо контролировать как распределение параметров внутри выборки, так и изменения направления протекания техпроцесса, то необходимо составить \bar{x} - и R -контрольные карты.

Постановка задачи операционного контроля. На основании статистических данных рассчитать параметры \bar{x} - и R -контрольных карт. Построить \bar{x} - и R -контрольные карты и при необходимости произвести их корректировку.

Таблица 3.10

Статистические данные контроля динамического
тока потребления

№	I, A	№	I, A	№	I, A	№	I, A	№	I, A	№	I, A	№	I, A
1	0,453	1	0,439	1	0,446	1	0,448	1	0,398	1	0,400	1	0,406
2	0,455	2	0,459	2	0,438	2	0,439	2	0,466	2	0,394	2	0,457
3	0,452	3	0,456	3	0,448	3	0,468	3	0,402	3	0,395	3	0,465
4	0,474	4	0,450	4	0,442	4	0,453	4	0,401	4	0,400	4	0,470
5	0,453	5	0,454	5	0,464	5	0,460	5	0,399	5	0,397	5	0,453
6	0,477	6	0,458	6	0,404	6	0,400	6	0,397	6	0,399	6	0,407
7	0,348	7	0,453	7	0,467	7	0,403	7	0,396	7	0,402	7	0,456
8	0,447	8	0,444	8	0,402	8	0,430	8	0,443	8	0,405	8	0,452
9	0,456	9	0,400	9	0,392	9	0,406	9	0,401	9	0,413	9	0,397
10	0,470	10	0,445	10	0,444	10	0,466	10	0,443	10	0,398	10	0,347
11	0,455	11	0,471	11	0,454	11	0,470	11	0,400	11	0,400	11	0,460
12	0,386	12	0,454	12	0,403	12	0,400	12	0,396	12	0,452	12	0,455
13	0,454	13	0,458	13	0,440	13	0,452	13	0,399	13	0,409	13	0,453
14	0,475	14	0,455	14	0,403	14	0,463	14	0,385	14	0,453	14	0,480
15	0,456	15	0,451	15	0,447	15	0,449	15	0,411	15	0,457	15	0,460
16	0,458	16	0,451	16	0,450	16	0,400	16	0,403	16	0,459	16	0,404
17	0,451	17	0,453	17	0,396	17	0,398	17	0,401	17	0,456	17	0,392
18	0,453	18	0,452	18	0,468	18	0,399	18	0,461	18	0,443	18	0,406
19	0,444	19	0,457	19	0,448	19	0,449	19	0,397	19	0,455	19	0,408
20	0,461	20	0,442	20	0,448	20	0,444	20	0,402	20	0,396	20	0,398

Проектирование \bar{x} -контрольной карты. Контрольная карта типа \bar{x} представляет собой карту, иллюстрирующую рассеивание между средними значениями различных выборок. Для того чтобы построить \bar{x} -контрольную карту, необходимо определить границы регулирования (верхнюю, нижнюю и среднюю границы).

Так как математическое ожидание генеральной совокупности неизвестно, то для построения средней линии контрольной карты необходимо произвести оценку математического ожидания с использованием выборок:

$$\bar{\bar{x}} = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k \bar{x}_i$$

– оценка математического ожидания генеральной совокупности;

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_i^n x_i$$

– оценка математического ожидания выборки.

Для оценки математического ожидания генеральной совокупности рекомендуется взять $k = 20 \dots 30$, причем, увеличивая количество анализируемых выборок, повышают точность оценки.

Пример. Для нашего случая ограничимся $k = 20$. Произведем оценку математического ожидания для каждой выборки (табл. 3.11).

Таблица 3.11

Оценка математических ожиданий выборок

№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
\bar{x}	0,449	0,450	0,435	0,435	0,410	0,419	0,431	0,404	0,416	0,411
№	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
\bar{x}	0,411	0,404	0,431	0,435	0,419	0,410	0,435	0,450	0,416	0,449

Произведем оценку математического ожидания генеральной совокупности:

$$\bar{\bar{x}} = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k \bar{x}_i = 0,426.$$

Произведем оценку среднеквадратичного отклонения каждой из выборок (табл. 3.12):

$$s = \sum_{i=1}^n \sqrt{\frac{(\bar{x} - x_i)^2}{n-1}}.$$

Таблица 3.12

Оценка среднеквадратичных отклонений в выборках

№	s	№	s
1	0,030 09	1	0,026 16
2	0,013 69	2	0,044 13
3	0,025 07	3	0,054 80
4	0,027 32	4	0,026 44
5	0,023 14	5	0,023 14
6	0,026 44	6	0,027 32
7	0,035 50	7	0,035 50
8	0,054 80	8	0,025 07
9	0,044 13	9	0,013 69
10	0,026 16	10	0,030 09

Произведем оценку среднеквадратичного отклонения генеральной совокупности:

$$\bar{s} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n s_i = 0,03063.$$

Теперь мы можем определить границы регулирования для \bar{X} -карты:

$$K_H = \bar{\bar{x}} - A_1 \bar{s};$$

$$K_B = \bar{\bar{x}} + A_1 \bar{s},$$

где

$$A_1 = \frac{3}{C_2 \sqrt{n}} = \frac{3}{0,9619 \sqrt{20}} = 0,697,$$

где C_2 – коэффициент, взятый из таблицы коэффициентов для расчета границ контрольных карт для $k = 20$.

Тогда

$$K_H = 0,426 - 0,697 \cdot 0,03063 = 0,4047;$$

$$K_B = 0,426 + 0,697 \cdot 0,03063 = 0,4573.$$

Проектирование контрольной R -карты. Применяется для контроля за степенью изменчивости непрерывной величины. В контрольной карте этого типа строятся значения размахов выборок.

Определим стандартное отклонение распределения размахов:

$$\sigma_R = b_2 \sigma.$$

Стандартное отклонение генеральной совокупности:

$$\sigma = \frac{\bar{s}}{C_2}.$$

Определим среднюю линию R -карты:

$$\bar{R} = d_2 \sigma.$$

Границы регулирования для R -карты:

$$K_H = \bar{R} - 3\sigma_R;$$

$$K_B = \bar{R} + 3\sigma_R.$$

Пример. Для нашей выборки имеем:

$$\sigma = \frac{\bar{s}}{C_2} = \frac{0,03063}{0,9619} = 0,0318.$$

С учетом $b_2 = 0,729$ получим

$$\sigma_R = 0,729 \cdot 0,0318 = 0,0232.$$

Тогда с учетом $d_2 = 3,735$ средняя линия

$$\bar{R} = 3,735 \cdot 0,0318 = 0,1144.$$

Теперь мы можем определить границы регулирования для R -карты:

$$K_H = 0,1144 - 3 \cdot 0,0232 = 0,0448;$$

$$K_B = 0,1144 + 3 \cdot 0,0232 = 0,184.$$

Построение контрольных карт. На данном этапе необходимо по полученным результатам составить \bar{x} - R -контрольные карты для выбранных показателей качества и соответствующих им операций согласно заданию для конкретной ЭС. Пример \bar{x} - R -контрольных карт приведен ниже на рис. 3.15 и 3.16.

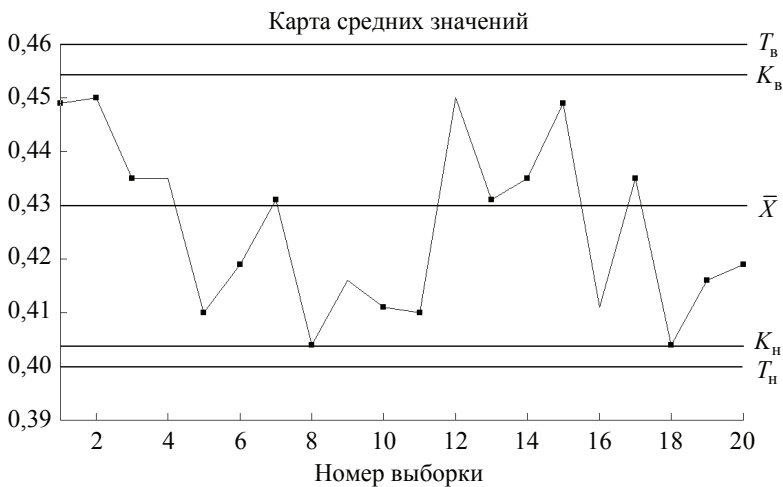


Рис. 3.15. Карта средних значений

Выходной контроль

Исходные данные для решения задачи выходного контроля. Выходной контроль качества ЭС является определяющим. В процессе выходного контроля оценивают соответствие параметров ЭС после прохождения ими всех этапов ТП, включая различные испы-

тания, данным, приведенным в техническом задании на изделие. Для реализации данного пункта необходимо повторно собрать статистические данные для выбранного показателя качества и проанализировать их.

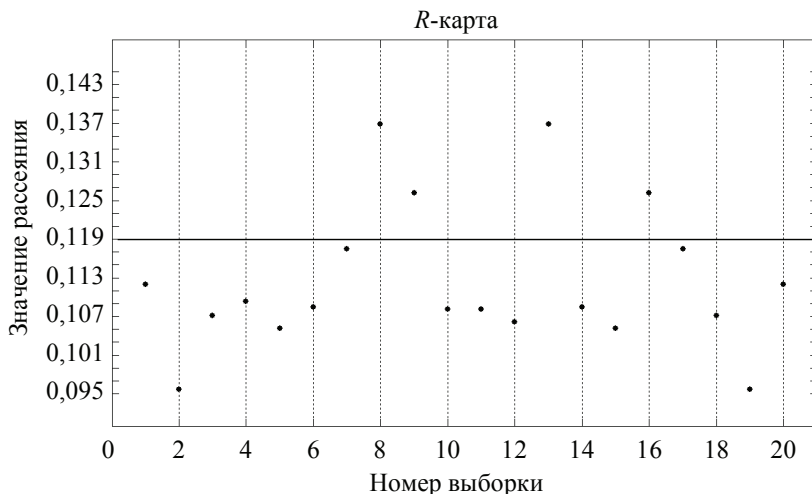


Рис. 3.16. *R*-карта

Для решения задачи выходного контроля необходимо располагать сведениями о требуемом значении контролируемого параметра качества и процентом выхода годных ЭС. Для дальнейшего выполнения конструкторского проекта необходимо задаться значениями этих параметров:

- ◆ для определения контролируемого параметра качества необходимо проанализировать предыдущий раздел, а также вновь полученные статистические данные и ТЗ и задать номинальное значение показателя качества;
- ◆ процент выхода годных изделий необходимо задать не менее 90%.

Параметры контролируемой характеристики. Для стабильного технологического процесса параметры должны быть распределены по закону Гаусса. Аналитическая запись распределения Гаусса выглядит следующим образом:

$$\Phi_{m\sigma}(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-m)^2}{2\sigma^2}}.$$

Определим математическое ожидание:

$$\bar{x} = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k x_i.$$

Определим выборочное среднеквадратичное отклонение:

$$s = \sum_{i=1}^n \sqrt{\frac{(\bar{x} - x_i)^2}{n-1}}.$$

Дальнейший расчет проведем для нашего примера. Пусть вероятность безотказной работы $P = 0,9$; согласно ТЗ, $I = 0,44$ А. Статистические данные выходного контроля приведены в табл. 3. 13.

Таблица 3.13

Статистические данные выходного контроля

№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
I, А	0,406	0,454	0,463	0,456	0,413	0,454	0,461	0,411	0,450	0,400

Определим математическое ожидание:

$$\bar{x} = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k x_i = 0,4368.$$

Определим выборочное среднеквадратичное отклонение:

$$s = \sum_{i=1}^n \sqrt{\frac{(\bar{x} - x_i)^2}{n-1}} = 0,02569.$$

Руководствуясь критерием Стьюдента, определим значение t_T для вероятности $(1-P) = 1 - 0,9 = 0,1$ и степени свободы $n = 10 - 1 = 9$. Искомое значение $t_T = 1,8$. Определим значение допустимого отклонения:

$$\varepsilon = \frac{t_T s}{\sqrt{n}} = \frac{1,8 \cdot 0,02569}{\sqrt{10}} = 0,015.$$

Определим значение дисперсии:

$$\varepsilon = \alpha \cdot \sigma.$$

Для нашего случая $\alpha = 1,65$, отсюда

$$\sigma = \frac{\varepsilon}{\alpha} = \frac{0,015}{1,65} = 0,0091.$$

Закон распределения контролируемой характеристики. Построим график распределения среднего значения выборок, используя полученную дисперсию $\sigma = 0,0091$ и $\bar{x} = 0,44$ (рис. 3.17).

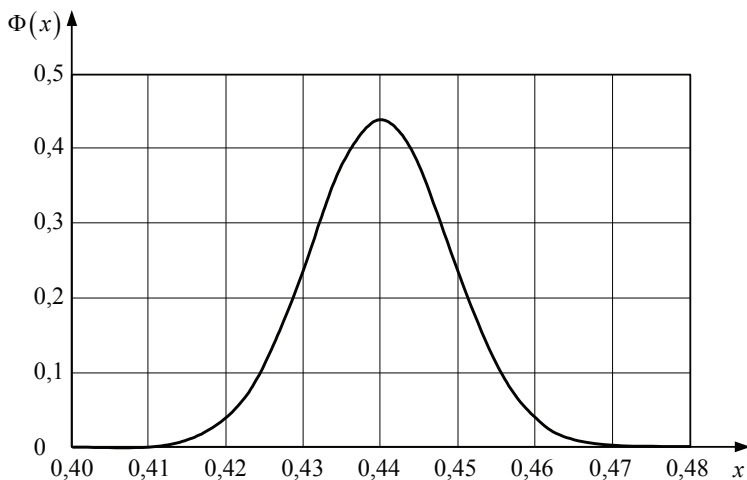


Рис. 3.17. График распределения, обеспечивающий выход годных изделий 90%

Построим график распределения среднего значения выборок, используя реальные значения $\sigma = 0,02569$ и $\bar{x} = 0,4368$ (рис. 3.18).

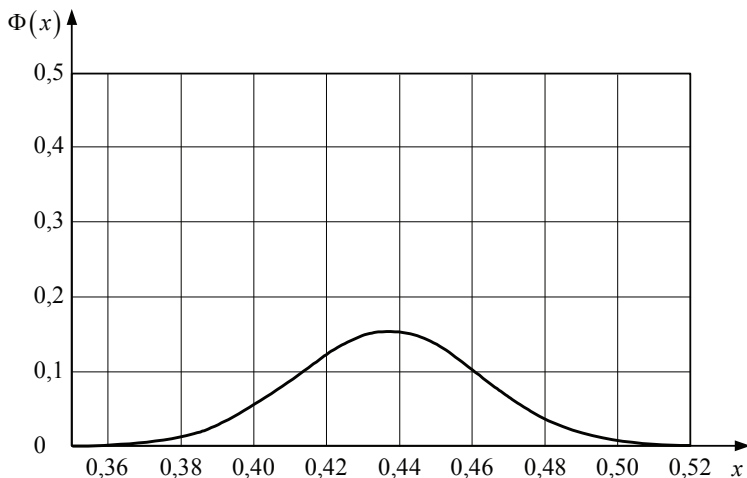


Рис. 3.18. График нескорректированного распределения

Построим на одном графике законы нескорректированного и желаемого распределений (рис. 3.19).

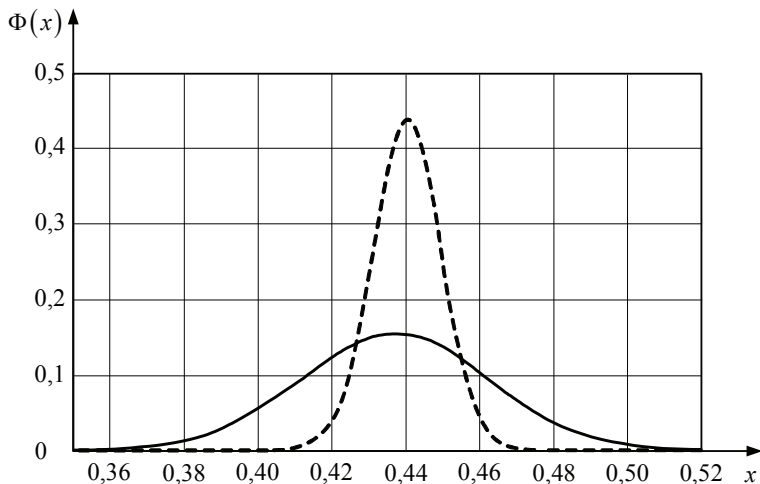


Рис. 3.19. Законы нескорректированного (сплошная линия) и желаемого распределений (пунктирная линия)

Анализ результатов и поиск решения. Проанализируем график (рис. 3.19). Как видно, реальные результаты сильно не совпадают с желаемым распределением параметров, следовательно, необходимо принять меры для устранения неполадок и стабилизировать технологический процесс. Произведем коррекцию технологического процесса, в результате которой вновь получим данные для анализа, приведенные в табл. 3.14.

Таблица 3.14

Скорректированные статистические данные
выходного контроля

№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
I, А	0,436	0,445	0,451	0,442	0,432	0,437	0,445	0,449	0,440	0,443

Определим математическое ожидание:

$$\bar{x} = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k x_i = 0,442.$$

Определим выборочное среднеквадратичное отклонение:

$$s = \sum_{i=1}^n \sqrt{\frac{(\bar{x} - x_i)^2}{n-1}} = 0,00591.$$

Построим график распределения среднего значения выборок, используя реальные значения $\sigma = 0,00591$ и $\bar{x} = 0,442$ (рис. 3.20).

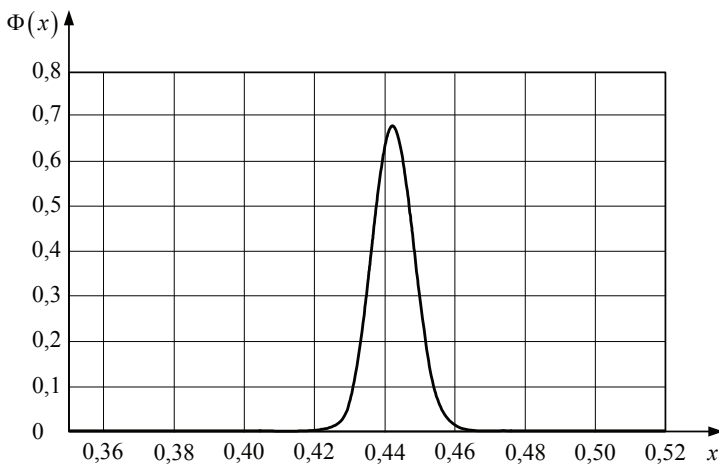


Рис. 3.20. График скорректированного распределения

Построим совместные графики для сравнения (рис. 3.21).

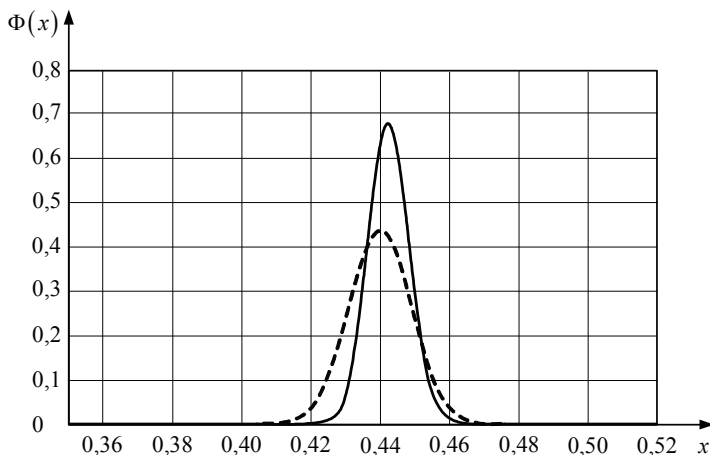


Рис. 3.21. Законы скорректированного (сплошная линия) и желаемого распределений (пунктирная линия)

Как видно из графика на рис. 3.21, скорректированный технологический процесс полностью удовлетворяет требованиям к проценту выхода годных изделий.

3.2.4. СИНТЕЗ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ

Синтез структурной схемы системы управления качеством

В качестве основы разрабатываемой системы управления качеством возьмем обобщенную структурную схему управления качеством простого технологического процесса (рис. 3.22).

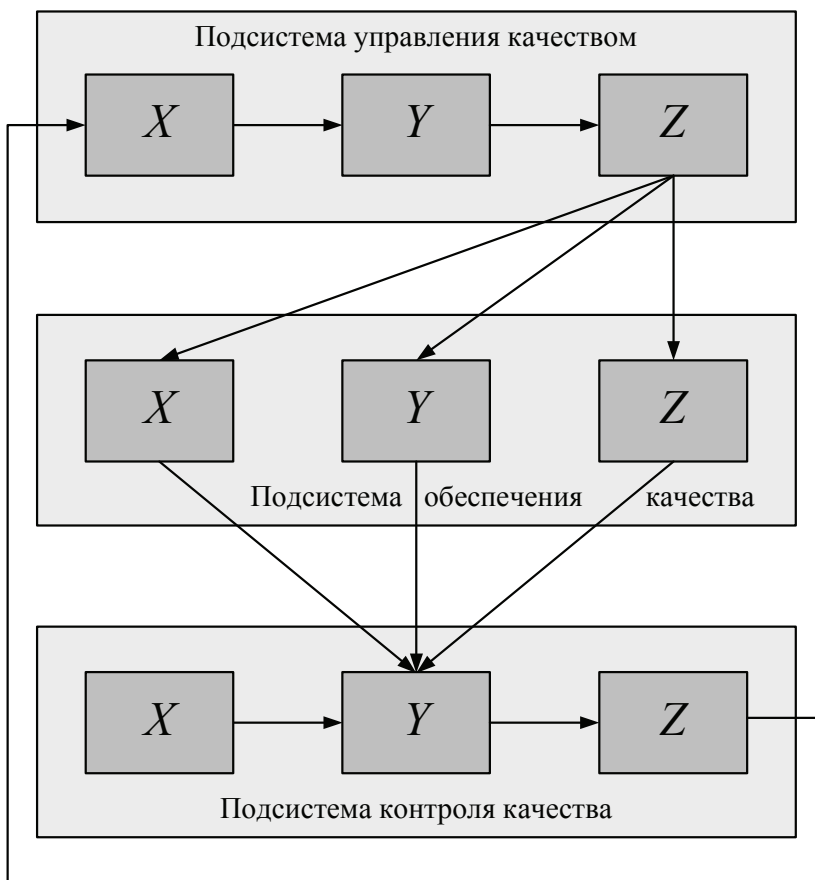


Рис. 3.22. Структурная схема системы управления качеством

Определение содержания блоков системы управления качеством

Рассмотрим каждую из подсистем обобщенной системы управления качеством, а также блоки, входящие в каждую подсистему.

Подсистема обеспечения качества. Блок X подсистемы обеспечения качества содержит:

- ◆ необходимую технологическую и/или конструкторскую документацию;
- ◆ технологическое оборудование;
- ◆ исходные материалы;
- ◆ обслуживающий персонал;
- ◆ помещение.

Блок Y подсистемы обеспечения качества содержит:

- ◆ технологический процесс, который обеспечивает «промежуточное» качество в соответствии с требованиями технической документации на данном этапе;
- ◆ соответствующее (по точности и производительности) оборудование.

Блок Z подсистемы обеспечения качества содержит:

- ◆ готовое изделие с показателями качества, соответствующими ТЗ.

Подсистема контроля качества. Подсистема контроля качества содержит выбранные параметры качества, контролируемые операции, а также методы контроля качества на каждом этапе производства.

Блок X подсистемы обеспечения качества содержит:

- ◆ необходимую технологическую и/или конструкторскую документацию.

Блок Y подсистемы контроля качества содержит:

- ◆ процесс измерения параметров качества;
- ◆ организацию процесса контроля (последовательность контрольных операций);
- ◆ разработку измерительного тракта и его отладку;
- ◆ результаты (требуемые характеристики) измерительного тракта.

Блок Z подсистемы контроля качества содержит:

- ◆ необходимую информацию о показателях качества.

Подсистема управления качеством. Подсистема управления качеством – совокупность квалифицированного персонала, программных и аппаратных средств, обеспечивающих такое функционирование системы, которое обеспечивало бы выпуск продукции с наилучшими показателями параметров качества.

Блок *X* подсистемы обеспечения качества содержит:

- ♦ необходимую технологическую и/или конструкторскую документацию.

Блок *Y* подсистемы управления качеством содержит:

- ♦ анализ различных ситуаций, которые могут привести к отклонениям от норм показателей качества;
- ♦ процесс подготовки решения (выбор оптимального варианта из нескольких).

Блок *Z* подсистемы управления качеством содержит:

- ♦ готовое изделие с показателями качества, соответствующими ТЗ.

Структурная схема системы управления качеством

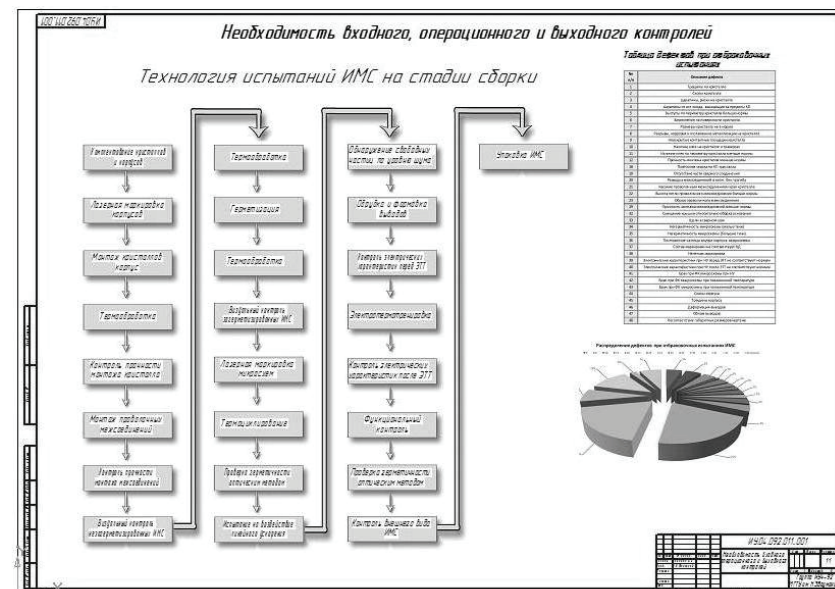
Структурная схема системы управления качеством содержит в себе информацию обо всех уровнях обеспечения качества заданного ЭС и объединяет в себе результаты анализов для всех видов контроля на всех этапах жизненного цикла ЭС. Формально представляет собой объединение трех описанных выше подсистем (управления, контроля и обеспечения качества).

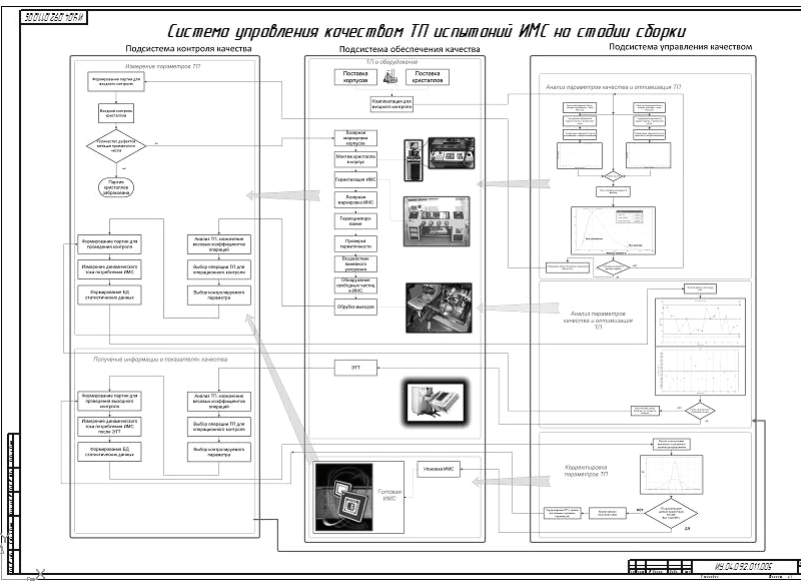
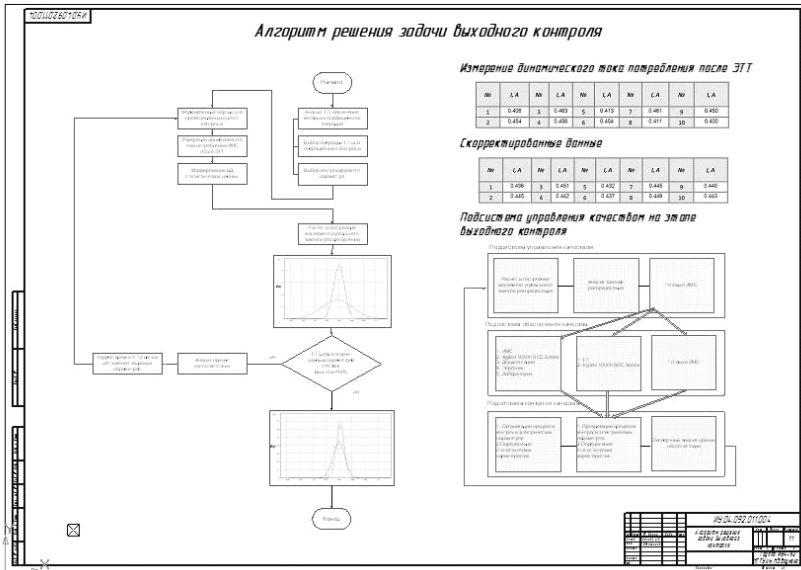
3.3. ПЕРЕЧЕНЬ ДОКУМЕНТОВ, КОТОРЫЕ НЕОБХОДИМО ПРЕДСТАВИТЬ К ЗАЩИТЕ КУРСОВОЙ РАБОТЫ

1. Расчетно-пояснительная записка, которая содержит:
 - 1.1. Аннотацию.
 - 1.2. Описание и общие сведения о разрабатываемой ЭС, отражающие актуальность выполнения данной курсовой работы.
 - 1.3. Описание и обоснование методов входного контроля и соответствующие расчеты.
 - 1.4. Описание и обоснование методов операционного контроля и соответствующие расчеты.

- 1.5. Описание и обоснование методов приемочного контроля и соответствующие расчеты.
- 1.6. Описание общей структуры системы управления качеством ЭС.
2. Пять листов формата А1, которые содержат:
 - 2.1. Структурную схему рассматриваемого ТП.
 - 2.2. Структурную схему входного контроля, а также графики, поясняющие полученные в результате выполнения курсовой работы результаты.
 - 2.3. Структурную схему операционного контроля, а также графики, поясняющие полученные в результате выполнения курсовой работы результаты.
 - 2.4. Структурную схему выходного контроля, а также графики, поясняющие полученные в результате выполнения курсовой работы результаты.
 - 2.5. Структурную схему обобщенной системы управления качеством ЭС.

3.4. ПРИЛОЖЕНИЕ





4. МЕТОДИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ

4.1. НОРМАТИВНАЯ ДОКУМЕНТАЦИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

4.1.1. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС ПО ДИСЦИПЛИНЕ

УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ ЭС
Направление 211000 «Конструирование и технология электронных средств»
Кафедра ИУ-4
Канд. техн. наук, доцент Виктор Васильевич Маркелов, тел. (499) 263-65-52; Анастасия Сергеевна Кабаева, тел. (499) 263-65-52
Основная цель дисциплины: общая профессиональная подготовка бакалавров / магистров в области управления качеством.
<p>Планируемые результаты изучения дисциплины</p> <p>Задачи дисциплины: получение теоретических и практических навыков по созданию комплексной системы управления качеством производства ЭС, а также формирование знаний, умений и навыков по следующим направлениям деятельности:</p> <ul style="list-style-type: none">◆ оценка качества функциональных узлов ЭС;◆ контроль и оценка качества технологических процессов производства функциональных узлов ЭС;◆ обеспечение качества функциональных узлов ЭС;◆ проектирование систем управления качеством производства ЭС;

- ◆ управление качеством ЭС;
- ◆ поиск новых конструкторско-технологических решений и методических приемов в управлении качеством ЭС.

В результате изучения дисциплины приобретаются следующие профессиональные знания, умения и навыки.

Студент должен знать:

- ◆ виды систем управления качеством ЭС;
- ◆ методы оценки качества функциональных узлов ЭС по критерию точности выходных характеристик;
- ◆ методы обеспечения точности выходных параметров функциональных узлов ЭС;
- ◆ методы испытаний и виды испытательного оборудования;
- ◆ основы статистического контроля качества технологических процессов;
- ◆ основные виды контрольных карт и их применение для контроля качества технологических процессов;
- ◆ способы определения степени влияния параметров элементов на выходные характеристики функциональных узлов ЭС;
- ◆ типы контроля ЦФУ ЭС;
- ◆ типы автоматизированных систем контроля качества ЭС.

Студент должен уметь:

- ◆ обрабатывать экспериментальные данные и анализировать их соответствие данным технического задания;
- ◆ осуществлять выбор метода оценки качества функциональных узлов ЭС по критерию точности выходных характеристик;
- ◆ осуществлять выбор показателей для оценки качества технологических процессов;
- ◆ осуществлять управление качеством технологических процессов по выбранным показателям качества;
- ◆ разрабатывать автоматизированные системы контроля качества ЭС;
- ◆ разрабатывать обобщенные алгоритмы контроля качества ЭС;
- ◆ разрабатывать системы управления качеством ЭС;
- ◆ решать задачи анализа точности при обеспечении качества ЭС;
- ◆ составлять контрольные карты и анализировать их результаты при управлении качеством ЭС.

Студент должен приобрести навыки:

- ◆ анализа и выбора блоков при проектировании автоматизированных систем контроля качества ЭС;
- ◆ анализа и обобщения полученной информации для управления качеством ЭС;
- ◆ обработки и анализа информации контрольных карт при управлении качеством технологических процессов;
- ◆ оценки точности выходных характеристик функциональных узлов при обеспечении качества ЭС.

Место дисциплины в учебном плане специальности

Дисциплина способствует формированию навыков по созданию комплексной системы управления качеством производства ЭС на основе различных подходов к решению данной задачи, формализации подходов к обеспечению, контролю и управлению качеством.

Дисциплина требует активного применения ранее полученных знаний и умений по технологии, математике.

Структура**1. Методические и теоретические основы систем управления качеством.**

Качество и возможности его оценки: показатели качества, классификация показателей качества, выбор показателей качества при проектировании системы управления качеством ЭС; структурные схемы систем управления качеством ЭС.

2. Управление качеством ЭС по критерию точности выходных характеристик.

Точность выходных характеристик ЭС, аналитические методы оценки точности выходных характеристик ЭС, определение степени влияния параметров элементов на выходные характеристики ЭС.

3. Анализ качества технологических процессов производства.

Основные показатели качества технологических процессов производства ЭС: настроенность, точность и стабильность (устойчивость), их характеристика, анализ качества технологических процессов производства ЭС по выбранным показателям.

4. Статистический контроль качества технологических процессов производства ЭС с помощью контрольных карт.

Виды статистического контроля, границы регулирования для контрольных карт, контрольные карты для количественных признаков, контрольные карты качественных признаков, управление качеством технологических процессов производства ЭС по результатам построения и анализа контрольных карт.

5. Автоматизированные системы контроля и управления качеством производства.

АСК управления качеством производства ЭС: общие сведения, основные понятия и определения; микропроцессорные автоматизированные системы контроля ЭС.

6. Испытания ЭС и испытательное оборудование.

Механические испытания, климатические испытания, программа испытаний, методика испытаний. Особенности испытаний. Критерии выбора и необходимости проведения того или иного вида испытаний. Критерий успешности их проведения.

Организация учебных занятий по дисциплине

Дисциплина построена по модульному принципу, изучение модулей завершается сдачей студентами зачета. Отдельные вопросы предлагаются для самостоятельного ознакомления.

Все лабораторные занятия проходят в специализированном компьютерном классе с использованием специализированного компьютерного программного обеспечения и стендов измерений.

Задание к ДЗ: создание системы управления качеством для выбранного студентом функционального узла ЭС по критерию точности выходных параметров и ее дальнейшая оптимизация по выбранному критерию с обоснованием применяемых для этого методов. Итог: защита ДЗ, выполненного в рамках курса.

По всем объемам курса разработаны мультимедийные презентации, которые используются при проведении лекционных занятий.

Семестр – 7-й (зачет).**Методическое обеспечение****Основная литература:**

1. Всеобщее управление качеством / О. П. Глудкин [и др.]. – М. : Радио и связь, 1999. – 600 с.

2. Управление качеством электронных средств / Под ред. О. П. Глудкина. – М. : Высшая школа, 1994. – 414 с.

Дополнительная литература

3. Гусев В. П. Технология радиоаппаратостроения. – М. : Высшая школа, 1983. – 230 с.
4. Технические средства АСУ ТП / Под ред. В. Б. Яковлева. – М. : Высшая школа, 1989. – 262 с.

Перечень пособий

5. Еськин А. К., Зиновьев Л. Е., Маркелов В. В. Методические указания по выполнению домашних заданий по курсу «Сборка, наладка и испытания ЭВА». – М. : РИО МВТУ, 1982. – 34 с.
6. Еланцев А. В., Маркелов В. В. Диагностирование функциональных узлов электронной аппаратуры при контроле на функционирование. Методические указания к лабораторным работам по курсам «Специальная технология ЭВА» и «Специальная технология РЭА». – М. : РИО МВТУ, 1988. – 48 с.

Мультимедийные и интерактивные средства, электронные учебники

Для информационно-методического обеспечения курса разработан интерактивный портал <http://nanotech.iu4.bmstu.ru/>. На портале в электронном виде размещены методические материалы для лекций и самостоятельного изучения разделов курса, электронная рабочая тетрадь для лабораторных работ. Представлены дополнительные справочные материалы, библиотека литературы и глоссарий терминов.

Объем. Всего 85 ч, в том числе лекции – 51 ч, лабораторных работ – 17 ч, самостоятельная проработка разделов курса, подготовка к контрольным мероприятиям – 17 ч. Курсовая работа – 51 ч.

Приложения (на CD-диске)

- ◆ Конспект лекций по курсу.
- ◆ Рабочая тетрадь для проведения лабораторных работ по курсу.
- ◆ Билеты по курсу.
- ◆ Примеры ДЗ.

Дополнительные методические материалы.

4.1.2. ПРИМЕРНАЯ БАЗОВАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования



«Московский государственный технический
университет имени Н. Э. Баумана»
(МГТУ им. Н. Э. Баумана)

УТВЕРЖДАЮ
Первый проректор –
проректор по учебной работе
МГТУ им. Н. Э. Баумана

« ___ » _____ г.

Дисциплина для учебного плана специальности(ей): 211000
«Конструирование и технология электронных средств».
Факультета(ов) – **Информатика и системы управления (ИУ)**

УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ ЭС

Автор(ы): доцент В. В. Маркелов, А. С. Кабаева
Кафедра ИУ-4 «Проектирование и технология производства
электронной аппаратуры»

Виды занятий	Объем занятий, зач. ед.				
	Всего	7-й семестр 17 недель	8-й семестр 17 недель		
Лекции	1,5	1,5	–		
Семинары	–	–	–		
Лабораторные работы	0,5	0,5	–		
Самостоятельная работа	2,5	1	1,5		
Итого:	4,5	3	1,5		
Проверка знаний:		Зачет	Зачет		

Виды самостоятельной работы и контрольных мероприятий	Объем, зач. ед./выполнение, неделя выдачи-сдачи				
	Всего, зач. ед.	7-й семестр 17 недель	8-й семестр 17 недель		
Домашнее задание № 1 № 2	0,6	0,3/6–9 0,3/6–9	–		
Рубежный контроль № 1 № 2 № 3	–	–	–		
Контрольные работы № 1 № 2	–	–	–		
Курсовой проект	–	–	–		
Курсовая работа	1,5	–	1,5/1–14		

Москва, _____

Программа составлена на основании Государственного образовательного стандарта высшего профессионального образования. Государственные требования к минимуму содержания и уровня подготовки бакалавра по направлению подготовки 211000 «Конструирование и технология электронных средств».

Раздел 1. Цели и задачи дисциплины

Цель дисциплины: общая профессиональная подготовка бакалавров/магистров в области управления качеством.

Задачей дисциплины является изучение:

- ◆ оценки качества функциональных узлов ЭС;
- ◆ контроля и оценки качества технологических процессов производства функциональных узлов ЭС;
- ◆ обеспечения качества функциональных узлов ЭС;
- ◆ проектирования систем управления качеством производства ЭС;
- ◆ управления качеством ЭС.

Примечание. Изучение данной дисциплины базируется на следующих курсах (разделах курсов):

- ◆ «Математический анализ».

После освоения данной дисциплины студент подготовлен для изучения следующих курсов учебного плана:

- ◆ исследовательской части курсового проекта, курсовых работ, квалификационной работы бакалавра.

Раздел 2. Знания, умения и навыки, получаемые после освоения дисциплины

Студент должен знать:

- ◆ автоматизированные системы контроля качества ЭС;
- ◆ виды контрольных карт и их применение для контроля качества технологических процессов;
- ◆ контроль ЦФУ ЭС;
- ◆ методы испытаний и виды испытательного оборудования;
- ◆ методы оценки качества функциональных узлов ЭС по критерию точности выходных характеристик;
- ◆ методы обеспечения точности выходных параметров функциональных узлов ЭС;
- ◆ основы статистического контроля качества технологических процессов;

- ◆ системы управления качеством ЭС;
- ◆ способы определения степени влияния параметров элементов на выходные характеристики функциональных узлов ЭС.

Студент должен уметь:

- ◆ обрабатывать экспериментальные данные и анализировать их соответствие данным технического задания;
- ◆ осуществлять выбор метода оценки качества функциональных узлов ЭС по критерию точности выходных характеристик;
- ◆ осуществлять выбор показателей для оценки качества технологических процессов;
- ◆ осуществлять управление качеством технологических процессов по выбранным показателям качества;
- ◆ разрабатывать автоматизированные системы контроля качества ЭС;
- ◆ разрабатывать обобщенные алгоритмы контроля качества ЭС;
- ◆ разрабатывать системы управления качеством ЭС;
- ◆ решать задачи анализа точности при обеспечении качества ЭС;
- ◆ составлять контрольные карты и анализировать их результаты при управлении качеством ЭС.

Студент должен приобрести навыки:

- ◆ анализа и выбора блоков при проектировании автоматизированных систем контроля качества ЭС;
- ◆ анализа и обобщения полученной информации для управления качеством ЭС;
- ◆ обработки и анализа информации контрольных карт при управлении качеством технологических процессов;
- ◆ оценки точности выходных характеристик функциональных узлов при обеспечении качества ЭС.

Раздел 3. Содержание дисциплины

№ п/п	Раздел дисциплины	Лекции, ч	Семинары, ч	Лабораторные работы, ч	Литература
1	2	3	4	5	6
7-й семестр		51	–	17	
3.1	Методические и теоретические основы систем управления качеством ЭС	8	–	–	[2, 3]

1	2	3	4	5	6
3.2	Управление качеством ЭС по критерию точности выходных характеристик	12	–	4	[2]
3.3	Анализ качества технологических процессов производства ЭС	9	–	4	[2]
3.4	Статистический контроль качества технологических процессов производства ЭС с помощью контрольных карт	9	–	3	[2]
3.5	Автоматизированные системы контроля и управления качеством производства	7	–	2	[2]
3.6	Испытания ЭС и испытательное оборудование	6	–	4	[2]

Содержание

3.1. Методические и теоретические основы систем управления качеством ЭС.

3.1.1. Введение. Качество и возможности его оценки.

3.1.2. Показатели качества, классификация показателей качества, выбор показателей качества при проектировании системы управления качеством ЭС; структурные схемы систем управления качеством ЭС; подсистема обеспечения контроля качества, подсистема контроля качества и подсистема принятия решений, состав и содержание основных блоков; организационные работы по обеспечению и управлению качеством на предприятиях, проектирующих и выпускающих ЭС.

3.2. Управление качеством ЭС по критерию точности выходных характеристик.

3.2.1. Точность выходных характеристик ЭС. Аналитические методы оценки точности выходных характеристик ЭС: метод наилучшего случая, аналитический вероятностный и численный вероятностный методы. Экспериментальные методы оценки точности выходных характеристик ЭС: метод граничных испытаний и метод матричных испытаний.

3.2.2. Определение степени влияния параметров элементов на выходные характеристики ЭС: раздельное дифференцирование, метод малых приращений, матричный метод, метод преобразованных цепей. Алгоритм управления качеством ЭС по критерию точности выходных характеристик.

3.3. Анализ качества технологических процессов производства ЭС.

3.3.1. Основные показатели качества технологических процессов производства ЭС: настроенность, точность и стабильность (устойчивость), их характеристика.

3.3.2. Анализ качества технологических процессов производства ЭС по выбранным показателям: количественная оценка показателей качества, анализ полученных результатов, управление качеством технологических процессов на основе анализа полученных результатов.

3.4. Статистический контроль качества технологических процессов производства ЭС с помощью контрольных карт.

3.4.1. Виды статистического контроля. Границы регулирования для контрольных карт: границы регулирования по критерию «мера положения», границы регулирования по критерию «мера рассеивания».

3.4.2. Контрольные карты для количественных признаков: правила построения, обработка результатов, количественные оценки. Контрольные карты качественных признаков. Управление качеством технологических процессов производства ЭС по результатам построения и анализа контрольных карт.

3.5. Автоматизированные системы контроля и управления качеством производства.

3.5.1. АСК управления качеством производства ЭС: общие сведения, основные понятия и определения; микропроцессорные автоматизированные системы контроля ЭС; АСК ТП: способы построения структурных схем: кольцевая, древовидная и комбинированная, основные блоки АСК ТП, их характеристики и рекомендации по применению; контроль ЦФУ; аппаратные средства универсального микропроцессорного комплекса АСК; высокоэффективные микропроцессорные системы контроля и управления качеством ЭС: структура, практическая реализация.

3.6. Испытания ЭС и испытательное оборудование.

3.6.1. Механические испытания: виды механических испытаний, испытательное оборудование, контрольно-измерительная аппаратура.

3.6.2. Климатические испытания: виды климатических испытаний, испытательное оборудование, контрольно-измерительная аппаратура.

3.6.3. Программа испытаний, методика испытаний.

Раздел 4. Семинары

№ п/п	Тема семинара	Объем, ч	Литература
7-й семестр		–	

Раздел 5. Лабораторные работы

№ п/п	Тема лабораторной работы	Объем, ч	Литература
7-й семестр		17	
5.1	Исследование показателей качества выходных параметров функциональных узлов ЭС (часть 1)	4	[9, 10]
5.2	Исследование показателей качества выходных параметров функциональных узлов ЭС (часть 2)	4	[9, 10]
5.3	Управление качеством функциональных узлов ЭС при диагностировании с использованием физических моделей	4	[9, 10]
5.4	Управление качеством функциональных узлов ЭС по критерию оптимального количества контрольных точек	5	[9, 10]

Содержание

5.1. Лабораторная работа № 1. Исследование показателей качества выходных параметров функциональных узлов ЭС (часть 1).

5.2. Лабораторная работа № 2. Исследование показателей качества выходных параметров функциональных узлов ЭС (часть 2).

5.3. Лабораторная работа № 3. Управление качеством функциональных узлов ЭС при диагностировании с использованием физических моделей.

5.4. Лабораторная работа № 4. Управление качеством функциональных узлов ЭС по критерию оптимального количества контрольных точек.

Раздел 6. Самостоятельная работа

№ п/п	Тема самостоятельной работы	Объем, ч	Литература
7-й семестр		35	
6.1	Самостоятельная проработка курса лекций	17	[2, 3]
6.2	Домашнее задание № 1. Оценка точности функциональных узлов ЭС	9	[9, 10]
6.3	Домашнее задание № 2. Обеспечение качества функциональных узлов ЭС по критерию точности выходных характеристик	9	[9, 10]

Содержание

6.1. Самостоятельная проработка курса лекций.

Самостоятельная проработка курса лекций проводится по литературе, приведенной в разделе 8.

Самостоятельное изучение разделов дисциплины:

- ◆ 3.2 – 3 ч;
- ◆ 3.4 – 2 ч;
- ◆ 3.5 – 3 ч.

6.2. Домашнее задание № 1. Оценка точности функциональных узлов ЭС.

Выдача – 8-я неделя, сдача – 12-я неделя.

6.3. Домашнее задание № 2. Обеспечение качества функциональных узлов ЭС по критерию точности выходных характеристик.

Выдача – 8-я неделя, сдача – 12-я неделя.

Раздел 7. Курсовой проект, курсовая работа

№ п/п	Тема курсового проектирования, курсовой работы	Объем, ч	Литература
8-й семестр			
7.1	Курсовая работа «Разработка системы управления качеством»	51	[2–5, 9, 10]

Содержание

7.1. Курсовая работа «Разработка системы управления качеством».

Самостоятельная курсовая работа является завершающим этапом обучения дисциплине.

Тематика курсовых работ:

- ◆ управление качеством функциональных узлов по критерию точности выходных параметров;
- ◆ управление качеством при контроле ЦФУ;
- ◆ управление качеством технологических процессов ЭС с помощью контрольных карт.

Цель курсовых работ: решение задачи управления качеством ЭС по различным показателям качества.

Результаты курсовой работы оформляются пояснительной запиской. Работа включает 1–2 листа графической части и 25–30 машинописных страниц расчетно-пояснительной записки.

Студент должен выполнить следующие объемы работ:

- ◆ составление и утверждение технического задания (25%, 1–3-я недели);
- ◆ разработка системы управления качеством ТП производства (50%, 4–7-я недели);
- ◆ разработка документации (75%, 8–10-я недели);
- ◆ подготовка к защите (100%, 11–13-я недели).

Раздел 8. Учебно-методические материалы

Основная литература

1. Всеобщее управление качеством / О. П. Глудкин [и др.]. – М. : Радио и связь, 1999. – 600 с.
2. Управление качеством электронных средств / Под ред. О. П. Глудкина. – М. : Высшая школа, 1994. – 414 с.

Дополнительная литература

3. Гусев В. П. Технология радиоаппаратостроения. – М. : Высшая школа, 1983. – 230 с.
4. Технические средства АСУ ТП / Под ред. В. Б. Яковлева. – М. : Высшая школа, 1989. – 262 с.

Перечень пособий

5. Еськин А. К., Зиновьев Л. Е., Маркелов В. В. Методические указания по выполнению домашних заданий по курсу «Сборка, наладка и испытания ЭВА». – М. : РИО МВТУ, 1982. – 34 с.
6. Еланцев А. В., Маркелов В. В. Диагностирование функциональных узлов электронной аппаратуры при контроле на функционирование. Методические указания к лабораторным работам по курсам «Специальная технология ЭВА» и «Специальная технология РЭА». – М. : РИО МВТУ, 1988. – 48 с.

Для демонстрации на лекциях используются следующие пособия

1. Плакаты с изображением функциональных диаграмм методов управления качеством, методик проведения контрольных мероприятий на производстве.
2. Комплект мультимедийных презентаций по темам лекций.

Методические указания по изучению дисциплины

1. Учитывая общую тенденцию сквозного внедрения нанотехнологий, а в частности наноинженерии, на современных пред-

приятнях и в повседневной жизни, изучение дисциплины должно организовываться как изучение системной, многовариантной проблемы, исследуемым объектам которой (технологическим процессам, методам обеспечения и управления качеством) свойственны:

- а) многообразии связей элементов, отражающих объективную реальность;
 - б) специфической методологии моделирования и проектирования;
 - в) особый научный и практический аппарат.
2. Методологически дисциплина должна строиться на основе оптимального соотношения теоретических и прикладных вопросов с обязательным участием студентов в самостоятельном исследовании оригинальных частных задач синтеза типовых подходов к решению задачи обеспечения и управления качеством микро- и наносистем.
 3. Теоретические основы должны излагаться в такой мере, чтобы показать общие принципы применения современных методов управления качеством к решению конкретных задач. Содержание соответствующих тем разделов должно быть направлено на усиление роли фундаментальных знаний в теоретической и профессиональной подготовке студента, способствовать формированию у студента фундаментальных системных знаний, развивать творческие способности будущего специалиста.
 4. Прикладные вопросы должны ориентировать студентов на решение типовых задач управления качеством, выбор адекватных физическим процессам моделей, методов, алгоритмов, обладающих максимальной эффективностью при решении конкретных задач. Поэтому во всех разделах предусмотрены темы, содержание которых связано с формированием и развитием у будущих специалистов практических навыков решения задач управления качеством.

Программа составлена:

доцент В. В. Маркелов _____
А. С. Кабаева _____

4.2. СТРУКТУРА И СОСТАВ ФОНДОВ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Фонды оценочных средств по дисциплине представляют собой: варианты экзаменационных билетов, перечень вопросов для контрольных мероприятий.

4.2.1. ПЕРЕЧЕНЬ ВОПРОСОВ ДЛЯ РЕЙТИНГОВЫХ И КОНТРОЛЬНЫХ МЕРОПРИЯТИЙ

1. Общие вопросы контроля и управления качеством.
 - 1.1. Цикл Деминга.
 - 1.2. Петля качества.
 - 1.3. TQM: суть, методика.
 - 1.4. Восемь принципов менеджмента качества.
 - 1.5. Виды контроля.
 - 1.6. Подсистема обеспечения качества.
 - 1.7. Подсистема контроля качества.
 - 1.8. Подсистема управления качеством.
 - 1.9. Организационные аспекты в управлении качеством.
 - 1.10. Общая структура системы управления качеством (блок-схема).
2. Статистические методы контроля качества и используемый математический аппарат.
 - 2.1. Гистограмма.
 - 2.2. Диаграмма Парето.
 - 2.3. Диаграмма рассеивания.
 - 2.4. Контрольные карты: \bar{x} -карты, R -карты.
 - 2.5. Причинно-следственная диаграмма (схема Исикавы).
 - 2.6. Стратификация.
 - 2.7. Контрольный листок.
 - 2.8. Законы распределения: дифференциальный и интегральный.
 - 2.9. Аналитический вероятностный метод анализа точности: суть метода.
 - 2.10. Анализ точности с учетом дестабилизирующих факторов.
 - 2.11. Расчет коэффициентов влияния.
 - 2.12. Численные вероятностные характеристики.

3. Методология испытаний в системе управления качеством.
 - 3.1. Механические испытания: виды испытаний, суть, методика.
 - 3.2. Испытания на воздействие акустических шумов.
 - 3.3. Испытания на виброустойчивость и вибропрочность.
 - 3.4. Испытания с применением ударной нагрузки.
 - 3.5. Климатические испытания: виды испытаний, суть, методика.
 - 3.6. Испытания с применением повышенной температуры среды.
 - 3.7. Испытания с применением пониженной температуры среды.
 - 3.8. Испытания на термоудар.
 - 3.9. Испытания в условиях повышенной влажности.
 - 3.10. Организационно-методическое сопровождение испытаний.

4.2.2. ВАРИАНТЫ ЭКЗАМЕНАЦИОННЫХ БИЛЕТОВ

Московский государственный технический университет имени Н. Э. Баумана

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 1

по курсу «Управление качеством ЭС»

1. Диаграмма Парето.
2. Цикл Деминга.
3. Механические испытания: виды испытаний, суть, методика.

Утверждаю

В. А. Шахнов

Билет рассмотрен и утвержден на заседании кафедры «__» _____ г.

Московский государственный технический университет имени Н. Э. Баумана

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 2

по курсу «Управление качеством ЭС»

1. Причинно-следственная диаграмма (диаграмма Исикавы).
2. Подсистема обеспечения качества.
3. Организационно-методическое сопровождение испытаний.

Утверждаю

В. А. Шахнов

Билет рассмотрен и утвержден на заседании кафедры «__» _____ г.

Московский государственный технический университет имени Н. Э. Баумана

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 3

по курсу «Управление качеством ЭС»

1. Испытания на воздействие акустических шумов.
2. Законы распределения: дифференциальный и интегральный.
3. Общая структура системы управления качеством (блок-схема).

Утверждаю

В. А. Шахнов

Билет рассмотрен и утвержден на заседании кафедры «__» _____ г.

Московский государственный технический университет имени Н. Э. Баумана

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 4

по курсу «Управление качеством ЭС»

1. Восемь принципов менеджмента качества.
2. Гистограмма.
3. Испытания на термоудар.

Утверждаю

В. А. Шахнов

Билет рассмотрен и утвержден на заседании кафедры «__» _____ г.

Московский государственный технический университет имени Н. Э. Баумана

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 5

по курсу «Управление качеством ЭС»

1. Петля качества.
2. Испытания с применением пониженной температуры среды.
3. Контрольные карты: X -карты, R -карты.

Утверждаю

В. А. Шахнов

Билет рассмотрен и утвержден на заседании кафедры «__» _____ г.

Московский государственный технический университет имени Н. Э. Баумана

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 6

по курсу «Управление качеством ЭС»

1. Подсистема контроля качества.
2. Расчет коэффициентов влияния.
3. Климатические испытания: виды испытаний, суть, методика.

Утверждаю

В. А. Шахнов

Билет рассмотрен и утвержден на заседании кафедры «__» _____ г.

Московский государственный технический университет имени Н. Э. Баумана

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 7

по курсу «Управление качеством ЭС»

1. Численные вероятностные характеристики.
2. Испытания с применением повышенной температуры среды.
3. TQM: суть, методика.

Утверждаю

В. А. Шахнов

Билет рассмотрен и утвержден на заседании кафедры «__» _____ г.

Московский государственный технический университет имени Н. Э. Баумана

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 8

по курсу «Управление качеством ЭС»

1. Аналитический вероятностный метод анализа точности: суть метода.
2. Виды контроля.
3. Испытания с применением ударной нагрузки.

Утверждаю

В. А. Шахнов

Билет рассмотрен и утвержден на заседании кафедры «__» _____ г.

Московский государственный технический университет имени Н. Э. Баумана

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 9

по курсу «Управление качеством ЭС»

1. Испытания на виброустойчивость и вибропрочность.
2. Анализ точности с учетом дестабилизирующих факторов.
3. Организационные аспекты в управлении качеством.

Утверждаю

В. А. Шахнов

Билет рассмотрен и утвержден на заседании кафедры «__» _____ г.

Московский государственный технический университет имени Н. Э. Баумана

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 10

по курсу «Управление качеством ЭС»

1. Подсистема управления качеством.
2. Диаграмма рассеивания.
3. Испытания в условиях повышенной влажности.

Утверждаю

В. А. Шахнов

Билет рассмотрен и утвержден на заседании кафедры «__» _____ г.

4.3. СПЕЦИФИКАЦИЯ УЧЕБНЫХ ВИДЕО- И АУДИОМАТЕРИАЛОВ, СЛАЙДОВ, ЭСКИЗОВ ПЛАКАТОВ И ДРУГИХ ДИДАКТИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

4.3.1. СПЕЦИФИКАЦИЯ СЛАЙДОВ – КОНСПЕКТОВ ЛЕКЦИЙ

Название раздела	Число слайдов
1. Методические и теоретические основы систем управления качеством ЭС	10
Введение. Качество и возможности его оценки. Показатели качества, классификация показателей качества, выбор показателей качества при проектировании системы управления качеством ЭС; структурные схемы систем управления качеством ЭС; подсистема обеспечения контроля качества, подсистема контроля качества и подсистема принятия решений, состав и содержание основных блоков; организационные работы по обеспечению и управлению качеством на предприятиях, проектирующих и выпускающих ЭС	
2. Управление качеством ЭС по критерию точности выходных характеристик	14
Точность выходных характеристик ЭС. Аналитические методы оценки точности выходных характеристик ЭС: метод наихудшего случая, аналитический вероятностный и численный вероятностный методы. Экспериментальные методы оценки точности выходных характеристик ЭС: метод граничных испытаний и метод матричных испытаний. Определение степени влияния параметров элементов на выходные характеристики ЭС: раздельное дифференцирование, метод малых приращений, матричный метод, метод преобразованных цепей. Алгоритм управления качеством ЭС по критерию точности выходных характеристик	
3. Анализ качества технологических процессов производства ЭС	14
Основные показатели качества технологических процессов производства ЭС: настроенность, точность и стабильность (устойчивость), их характеристика. Анализ качества технологических процессов производства ЭС по выбранным показателям: количественная оценка показателей качества, анализ полученных результатов, управление качеством технологических процессов на основе анализа полученных результатов	
4. Статистический контроль качества технологических процессов производства ЭС с помощью контрольных карт	6
Виды статистического контроля. Границы регулирования для контрольных карт: границы регулирования по критерию «мера положения», границы регулирования по критерию «мера рассеивания». Кон-	

трольные карты для количественных признаков: правила построения, обработка результатов, количественные оценки. Контрольные карты качественных признаков. Управление качеством технологических процессов производства ЭС по результатам построения и анализа контрольных карт	
5. Автоматизированные системы контроля и управления качеством производства	12
АСК управления качеством производства ЭС: общие сведения, основные понятия и определения; микропроцессорные автоматизированные системы контроля ЭС; АСК ТП: способы построения структурных схем: кольцевая, древовидная и комбинированная, основные блоки АСК ТП, их характеристики и рекомендации по применению; контроль ЦФУ; аппаратные средства универсального микропроцессорного комплекса АСК; высокоэффективные микропроцессорные системы контроля и управления качеством ЭС: структура, практическая реализация	
6. Испытания ЭС и испытательное оборудование	6
Механические испытания: виды механических испытаний, испытательное оборудование, контрольно-измерительная аппаратура. Климатические испытания: виды климатических испытаний, испытательное оборудование, контрольно-измерительная аппаратура. Программа испытаний, методика испытаний	

4.3.2. ПРИМЕР ОФОРМЛЕНИЯ ДИДАКТИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ ПО ЛЕКЦИЯМ

В разделе приведен типовой пример оформления дидактического материала по дисциплине «Управление качеством ЭС» – конспект материалов лекций, содержащих основные определения, теоретические основы реализации системы управления качеством ЭС, а также примеры методов и способов ее описания. Методологически курс лекций строится на основе оптимального соотношения теоретических и прикладных вопросов с реализацией проектных методов обучения. Структура материала отличается реализацией блочно-вариативной концепции и внедрением проектных методов подготовки специалистов по «Наноинженерии».

УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ МИКРО- И НАНОСИСТЕМ

Цель курса: получение теоретических и практических навыков по созданию комплексной системы управления качеством производства ЭС

Решаемые задачи:

- ✓ Оценка качества функциональных узлов ЭС.
- ✓ Контроль и оценка качества технологических процессов производства функциональных узлов ЭС.
- ✓ Обеспечение и управление качеством функциональных узлов ЭС.
- ✓ Проектирование систем управления качеством производства ЭС.
- ✓ Поиск новых конструкторско-технологических решений и методических приемов в управлении качеством ЭС.

Кафедра ИУ4 «Проектирование и технология производства ЭС»
<http://nanotech.iu4.bmstu.ru>

МГТУ
им. Н.Э. Баумана

УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ МИКРО- И НАНОСИСТЕМ

Программа курса:

Лекции: 51 час

Домашние задания: 1 - Оценка точности функциональных узлов МНС
(выдача – 8-я неделя, сдача – 12-я неделя)
2 - Обеспечение качества функциональных узлов МНС по критерию точности выходных характеристик
(выдача – 8-я неделя, сдача – 12-я неделя)

Лабораторные работы: 1 – Исследование показателей качества выходных параметров функциональных узлов МНС (часть 1).
2 – Исследование показателей качества выходных параметров функциональных узлов МНС (часть 2).
3 – Управление качеством функциональных узлов МНС при диагностировании с использованием физических моделей
4 – Управление качеством функциональных узлов МНС по критерию оптимального количества контрольных точек

Кафедра ИУ4 «Проектирование и технология производства ЭС»
<http://nanotech.iu4.bmstu.ru>

МГТУ
им. Н.Э. Баумана

«Системы управления качеством: основные положения.

Цикл Деминга»

Лекция №1

Цель лекции: ознакомиться с основными понятиями и определениями в курсе управления качеством. Получить общее представление о системе управления качеством.

Введение: управление качеством как самостоятельная наука возникло в 30-е годы XX века как результат развития массового производства.

Интенсификация массового производства вызвала необходимость в:

- ✓ Внедрении выборочного контроля
- ✓ Разработке конкретного математического аппарата
- ✓ Широком применении статистических методов
- ✓ Оценке результатов при статистическом анализе

Впервые решение этой задачи предложил Деминг: на базе статистических методов контроля он разработал концепцию статистического контроля качества. Предложенная структура получила название **цикла Деминга**.

Кафедра ИУ4 «Проектирование и технология производства ЭС» <http://nanotech.iu4.bmstu.ru>

МГТУ
им. Н.Э. Баумана

«Системы управления качеством: основные положения.

Цикл Деминга»

Лекция №1



Кафедра ИУ4 «Проектирование и технология производства ЭС» <http://nanotech.iu4.bmstu.ru>

МГТУ
им. Н.Э. Баумана

«Системы управления качеством: основные положения.
Цикл Деминга»

Лекция №1

Анализ цикла Деминга позволяет сделать выводы:

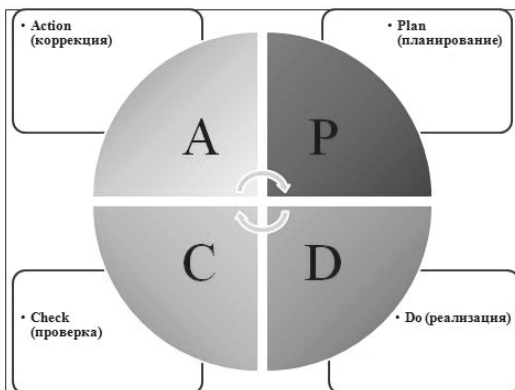
- ✓ Управление качеством является самостоятельным научным направлением;
- ✓ При разработке цикла Деминга учитываются все этапы жизненного цикла изделия;
- ✓ Все структурные единицы цикла Деминга – взаимосвязаны.

Определение:
однократная реализация цикла Деминга – **оборот** цикла Деминга.

Концепцию цикла Деминга следует распространять на всех уровнях управления производственными процессами, в том числе и на систему управления качеством. Для данной системы учеными была разработана специальная концепция построения - **цикл PDCA**.

«Системы управления качеством: основные положения.
Цикл Деминга»

Лекция №1



Цикл PDCA является универсальным, т. е. присутствует во всех сферах профессиональной жизни. Поддержание в рабочем состоянии и постоянное повышение качества на производстве может быть достигнуто в результате применения цикла PDCA на всех уровнях внутри организации.

«Системы управления качеством: основные положения.
Цикл Деминга»

Лекция №1

Основные выводы:

При создании системы управления качеством необходимо использовать процессный подход к решению задачи. В качестве таких систем может рассматриваться:

- ✓ процесс внутреннего аудита
- ✓ процесс анализа со стороны руководства
- ✓ процесс анализа данных
- ✓ процесс менеджмента ресурсов

Все вышеперечисленные процессы могут управляться с использованием цикла PDCA.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Руководствуясь единой концепцией, созданы методические материалы по дисциплине «Управление качеством ЭС». Методические материалы содержат нормативную базу дисциплины, рекомендации по организации и проведению лекций и лабораторных работ, перечень слайдов, типовых плакатов и другие дидактические материалы для работы профессорско-преподавательского состава по данной дисциплине.

Цель дисциплины – изучение основных методов, методик создания системы управления качеством ЭС, а также общая профессиональная подготовка студентов в области управления качеством. Материал курса является основой для подготовки магистерской диссертации.

Задачи дисциплины – получение теоретических и практических навыков создания системы управления качеством ЭС.

Методологически дисциплина должна строиться на основе оптимального соотношения теоретических и прикладных вопросов с обязательным участием студентов в самостоятельном исследовании особенностей построения систем обеспечения, контроля и управления качеством ЭС.

Теоретические основы должны излагаться в такой мере, чтобы показать общие принципы основных методов создания системы управления качеством ЭС, их особенности, а также достоинства и недостатки тех или иных подходов. Содержание соответствующих тем разделов должно быть направлено на усиление роли фундаментальных знаний в теоретической и профессиональной подготовке студента, способствовать формированию у студента фундаментальных системных знаний, развивать творческие способности будущего специалиста.

Прикладные вопросы должны ориентировать студентов на решение задач создания адекватных систем управления качеством на производстве, выбор методов, алгоритмов, прикладных пакетов и технических средств, обладающих максимальной эффективно-

стью для их дальнейшей реализации. Поэтому во всех разделах предусмотрены темы, содержание которых связано с формированием и развитием у будущих специалистов практических навыков решения задач управления качеством ЭС.

В основу методических материалов по дисциплине «Управление качеством ЭС» положены курсы, читаемые авторами в МГТУ им. Н. Э. Баумана.

ЛИТЕРАТУРА

1. Конструкторско-технологическое проектирование электронной аппаратуры. Учебник для вузов / К. И. Билибин [и др.] / Под общ. ред. В. А. Шахнова. 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2005. – 568 с. : ил.
2. *Умберто Эко*. Как написать дипломную работу. – КДУ, 2003.
3. Всеобщее управление качеством / О. П. Глудкин [и др.]. – М.: Радио и связь, 2012. – 600 с.
4. Управление качеством электронных средств / Под ред. О. П. Глудкина. – М.: Высшая школа, 2012. – 416 с.
5. Управление качеством / Ю. Т. Шестопал [и др.]. – М.: ИНФРА-М, 2011. – 332 с.
6. *Глудкин О. П.* Методы и устройства испытаний РЭС и ЭВС. – М.: Высшая школа, 2001. – 336 с.
7. *Билибин К. И., Гриднев В. Н.* Проектирование маршрутных и операционных технологических процессов в технологии приборостроения. – М.: Изд-во МВТУ им. Н. Э. Баумана, 1987.
8. *Чеканов А. Н.* Расчеты и обеспечение надежности электронной аппаратуры: учебное пособие. – М.: Кнорус, 2012. – 440 с.
9. Технология ЭВА, оборудование и автоматизация. Учеб. пособие для студентов вузов специальности «Конструирование и производство ЭВА» / В. Г. Алексеев [и др.]. – М.: Радио и связь, 1984.
10. *Гриднев В. Н., Малов А. Н., Яншин А. А.* Технология элементов ЭВА. Учеб. пособие для студентов специальности «Конструирование и производство электронно-вычислительной аппаратуры» / Под ред. А. Н. Малова. – М., 1978.
11. *Власов А. И.* Системный анализ технологических процессов производства сложных технических систем с использованием визуальных моделей // Международный научно-исследовательский журнал. – 2013. – № 10-2. – С. 17–26.
12. *Камышина Э. Н., Маркелов В. В., Соловьев В. В.* Конструкторско-технологические расчеты электронной аппаратуры. Учеб. пособие. – М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2014. – 164 с.

13. *Маркелов В. В., Власов А. И., Камышная Э. Н.* Системный анализ процесса управления качеством изделий электронной техники // Надежность и качество сложных систем. – 2014. – № 1 (5). – С. 35–42.
14. Экранирование и межсоединения в ЭВА и РЭА. Расчеты надежности ЭВА и РЭА. Методические указания к дипломному проектированию / Б. И. Белов [и др.]. – М., 1980.
15. *Чеканов А. Н., Съедугин В. В., Маркелов В. В.* Методические указания к курсовой работе «Компоновка и расчеты конструктивных параметров блоков ЭВА» / Под ред. А. Н. Чеканова. – М., 1980.
16. *Еськин А. К., Зиновьев Л. Е., Маркелов В. В.* Методические указания по выполнению домашних заданий по курсу «Сборка, наладка и испытания ЭВА» / Под ред. Б. И. Белова. – М., 1982.
17. *Чеканов А. Н., Маркелов В. В., Кадыков Г. Г.* Автоматизация расчетов тепловых режимов с помощью ЭВМ. Расчет тепловых режимов при естественной и принудительной конвекции. Методические указания по курсовому и дипломному проектированию. – М. : Изд-во МВТУ им. Н. Э. Баумана, 1983.
18. *Еланцев А. В., Маркелов В. В.* Автоматизированный контроль и испытания электронной аппаратуры. Методические указания. Часть 1. Испытание электронной аппаратуры / Под редакцией Б. И. Белова. – М. : Изд-во МВТУ им. Н. Э. Баумана, 1990.
19. Методы и средства автоматизированного контроля и испытаний электронной аппаратуры. Учебное пособие. Часть 2. Анализ и обеспечение контроле- и тестопригодности ЭА / А. В. Еланцев [и др.] / Под ред. Б. И. Белова. – М. : Изд-во МВТУ им. Н. Э. Баумана, 1992.
20. *Горюнов П. Н., Камышная Э. Н., Маркелов В. В.* Программное обеспечение конструкторских расчетов РЭС и ЭВС. Методические указания для курсового и дипломного проектирования. Часть 2. – М. : Изд-во МВТУ им. Н. Э. Баумана, 1993.
21. *Горюнов П. Н., Камышная Э. Н., Маркелов В. В.* Программное обеспечение конструкторских расчетов РЭС И ЭВС. Методические указания для курсового и дипломного проектирования. Часть 3. Применение программного обеспечения конструкторско-технологических расчетов печатных плат. – М. : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 1995.
22. *Камышная Э. Н., Маркелов В. В., Соловьев В. А.* Программное обеспечение конструкторских расчетов. Методические указания для курсового и дипломного проектирования. Часть 4. Расчет надежности. – М. : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2000.

23. *Еланцев А. В., Маркелов В. В.* Диагностирование функциональных узлов электронной аппаратуры при контроле на функционирование. Методические указания к лабораторным работам по курсам «Специальная технология ЭВА» и «Специальная технология РЭА». – М. : Изд-во МВТУ им. Н. Э. Баумана, 1987.
24. *Камышная Э. Н., Маркелов В. В., Усачев В. П.* Исследование теплового режима блока охлаждения РЭС при различных системах охлаждения. Учебное пособие по курсу «Конструирование РЭС» / Под ред. Е. М. Парфенова. – М. : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 1991.
25. *Камышная Э. Н., Маркелов В. В., Соловьев В. А.* Программное обеспечение конструкторских расчетов РЭС и ЭВС. Методические указания. Том 6. Исследование и отработка изделий ЭВС (РЭС) на технологичность. – М. : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2000.
26. Программное обеспечение конструкторских расчетов радиоэлектронных и электронных вычислительных средств. Методические указания к курсовому и дипломному проектированию. Часть 5 / Э. Н. Камышная [и др.]. – М. : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2000.
27. *Камышная Э. Н., Маркелов В. В., Соловьев В. А.* Программное обеспечение конструкторских расчетов РЭС и ЭВС. Методические указания. Часть 7. Подсистема конструкторско-технологического автоматизированного проектирования узлов электронной аппаратуры. – М. : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2001.
28. *Камышная Э. Н., Маркелов В. В., Соловьев В. А.* Программное обеспечение конструкторских расчетов РЭС и ЭВС. Методические указания для курсового и дипломного проектирования. Часть 8. Расчет радиаторов. – М. : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2003.
29. *Камышная Э. Н., Маркелов В. В., Соловьев В. А.* Формальное представление электрических принципиальных схем для решения задач автоматизированного проектирования электронной аппаратуры. Учебное пособие. – М. : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2011.
30. *Маркелов В. В., Власов А. И., Камышная Э. Н.* Системный анализ процесса управления качеством изделий электронной техники // Надежность и качество сложных систем. – 2014. – № 1 (5). – С. 35–42.
31. *Власов А. И.* Пространственная модель оценки эволюции методов визуального проектирования сложных систем // Датчики и системы. – 2013. – № 9 (172). – С. 10–28.
32. *Власов А. И., Иванов А. М.* Визуальные модели управления качеством на предприятиях электроники // Наука и образование: электронное научно-техническое издание. – 2011. – № 11. – С. 34.

33. Журавлева Л. В., Власов А. И. Визуализация творческих стратегий с использованием ментальных карт // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. – 2013. – № 1 (21). – С. 133–140.
34. Ребрин Ю. И. Управление качеством. – Таганрог : ТРТУ, 2004.
35. Адамова А. А., Власов А. И. Визуальное моделирование адаптации подготовки производства к выпуску новой продукции // Информационные технологии в проектировании и производстве. – 2014. – № 2 (154). – С. 46–56.
36. Адамова А. А., Адамов А. П. Многоуровневая модель формирования технологичности электронных средств на этапах проектирования и производства // Инженерный журнал: наука и инновации. – 2013. – № 11 (23). – С. 12.
37. Информационные технологии в инженерном образовании / Т. И. Агеева [и др.] / Под ред. С. В. Коршунова, В. Н. Гузненкова. – М. : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2007.

СОДЕРЖАНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ	5
СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ	8
ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ КУРСА	10
1. КОНСПЕКТ ЛЕКЦИЙ	16
1.1. Введение в курс «Управление качеством ЭС».....	16
1.2. История развития систем управления качеством.....	18
1.3. Качество и его показатели.....	22
1.4. Способы оценки качества.....	28
1.5. Процесс и содержание управления качеством ЭС.....	34
1.6. Петля качества, цикл Деминга.....	37
1.7. Механизм управления качеством ЭС.....	39
1.8. Существующие системы управления качеством.....	43
1.9. Планирование процесса управления качеством ЭС.....	45
1.10. Организация, координация и регулирование процесса управления качеством.....	48
1.11. Организация контроля качества продукции и профилактика брака.....	51
1.12. Методы контроля качества, анализа дефектов и причин их появления.....	56
1.13. Процессный подход к реализации системы управления качеством.....	58
1.14. Системный подход к реализации системы управления качеством.....	63
1.15. Семь основных инструментов контроля качества.....	64
1.16. Метод расслаивания данных (стратификации).....	70
1.17. Основы статистического контроля технологических процессов производства ЭС.....	76
1.18. Понятие производственной погрешности ЭС. Метод наилучшего случая.....	82
1.19. АВМ – аналитический вероятностный метод.....	85
1.20. Анализ точности с учетом дестабилизирующих факторов.....	92
1.21. Расчеты допусков.....	94
1.22. Метод расчета точности выходных характеристик ЭС.....	98

1.23. АНАЛИЗ ДЕФЕКТОВ И БРАКА.....	101
1.24. СТАНДАРТИЗАЦИЯ В СИСТЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ ЭС	102
1.25. КЛАССИФИКАЦИЯ ОСНОВНЫХ ВИДОВ ИСПЫТАНИЙ И ПОРЯДОК ИХ ПРОВЕДЕНИЯ	106
1.26. КЛИМАТИЧЕСКИЕ, МЕХАНИЧЕСКИЕ И ИСПЫТАНИЯ НА НАДЕЖНОСТЬ ЭС.....	114
ПРИЛОЖЕНИЕ 1. ПРИНЦИПЫ ДЕМИНГА.....	119
ПРИЛОЖЕНИЕ 2. 10 ЭТАПОВ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ПО ДЖУРАНУ	121
ПРИЛОЖЕНИЕ 3. 14-ЭТАПНЫЙ ПЛАН КРОСБИ ПО ПОВЫШЕНИЮ КАЧЕСТВА.....	122
ПРИЛОЖЕНИЕ 4. ПРИНЦИПЫ МЕНЕДЖМЕНТА КАЧЕСТВА	123
2. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ДОМАШНЕГО ЗАДАНИЯ ПО КУРСУ «УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ ЭС».....	125
2.1. ВВЕДЕНИЕ.....	125
2.2. ОСНОВНЫЕ ЦЕЛИ И ПРИНЦИПЫ УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ.....	127
2.3. СИСТЕМА КАЧЕСТВА	130
2.4. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ДОМАШНЕГО ЗАДАНИЯ № 1 «ОБЕСПЕЧЕНИЕ КАЧЕСТВА»	131
2.4.1. Причинно-следственная диаграмма	132
2.4.2. Диаграмма Парето.....	135
2.4.3. Гистограмма.....	138
2.4.4. Диаграмма разброса.....	141
2.4.5. Показатели качества.....	143
2.5. МЕТОДИЧЕСКОЕ УКАЗАНИЕ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ДОМАШНЕГО ЗАДАНИЯ № 2 «УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ»	156
2.5.1. ABC-анализ.....	157
2.5.2. FMEA-анализ (Failure Mode and Effects Analysis).....	160
2.5.3. Реинжиниринг бизнес-процессов	163
2.6. ПРИМЕР ВЫПОЛНЕНИЯ ДОМАШНЕГО ЗАДАНИЯ № 3	165
2.6.1. Пример технического задания	165
2.7. ПРИМЕР ВЫПОЛНЕНИЯ ДОМАШНЕГО ЗАДАНИЯ № 4	168
2.7.1. Постановка задачи.....	168
2.7.2. Исходные данные	169
2.7.3. Решение задачи.....	170
2.8. ПРИМЕР ВЫПОЛНЕНИЯ ДОМАШНЕГО ЗАДАНИЯ № 5	177
2.8.1. Постановка задачи.....	177
2.8.2. Исходные данные	177
2.8.3. Решение задачи.....	178
2.9. ВЫВОДЫ ПО РАБОТЕ	192

3. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ КУРСОВОЙ РАБОТЫ ПО КУРСУ «УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ ЭС»	193
3.1. ЗАДАНИЕ НА КУРСОВУЮ РАБОТУ	193
3.2. ПРИМЕР КУРСОВОЙ РАБОТЫ	194
3.2.1. Теоретические основы анализа ТП испытаний ЭС для построения системы управления качеством	194
3.2.2. Анализ и исследование ТП испытаний ЭС с целью выбора показателей качества	206
3.2.3. Основные этапы управления качеством ТП испытаний ИМС на стадии сборки	211
3.2.4. Синтез системы управления качеством	230
3.3. ПЕРЕЧЕНЬ ДОКУМЕНТОВ, КОТОРЫЕ НЕОБХОДИМО ПРЕДСТАВИТЬ К ЗАЩИТЕ КУРСОВОЙ РАБОТЫ.....	232
3.4. ПРИЛОЖЕНИЕ	233
4. МЕТОДИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ	236
4.1. НОРМАТИВНАЯ ДОКУМЕНТАЦИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ	236
4.1.1. Учебно-методический комплекс по дисциплине	236
4.1.2. Примерная базовая программа дисциплины	241
4.2. СТРУКТУРА И СОСТАВ ФОНДОВ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ПО ДИСЦИПЛИНЕ	250
4.2.1. Перечень вопросов для рейтинговых и контрольных мероприятий	250
4.2.2. Варианты экзаменационных билетов	252
4.3. СПЕЦИФИКАЦИЯ УЧЕБНЫХ ВИДЕО- И АУДИОМАТЕРИАЛОВ, СЛАЙДОВ, ЭСКИЗОВ ПЛАКАТОВ И ДРУГИХ ДИДАКТИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ	257
4.3.1. Спецификация слайдов – конспектов лекций.....	257
4.3.2. Пример оформления дидактических материалов по лекциям	258
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	263
ЛИТЕРАТУРА	265

Учебно-методический комплекс
по направлению подготовки бакалавров и магистров 211000
«Конструирование и технология электронных средств»

Виктор Васильевич **Маркелов**
Анастасия Сергеевна **Кабаева**

УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ ЭС

Редакторы *С. Н. Капранов, К. Ю. Савинченко*
Технические редакторы *М. Р. Фишер, А. Л. Репкин, К. Ю. Савинченко*
Корректор *Т. В. Тимофеева*
Компьютерная графика *М. Р. Фишер*
Дизайн обложки *М. Р. Фишер*

Оригинал-макет подготовлен
в редакционно-издательском отделе КФ МГТУ им. Н. Э. Баумана.
Тел. 8-4842-57-31-87

Подписано в печать . Формат 60×90/16. Бумага офсетная.
Усл. печ. л. 17. Тираж экз. Заказ №

Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана
105005, Москва, 2-я Бауманская, 5.
E-mail: press@bmstu.ru
<http://www.press.bmstu.ru>

Отпечатано в типографии МГТУ им. Н. Э. Баумана
105005, Москва, 2-я Бауманская, 5.
Тел.: 8-499-263-62-01