

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

**САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ, МЕХАНИКИ И ОПТИКИ**

И.Б. Бондаренко, Н.Ю. Иванова, В.В. Сухостат

УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ ЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ

Учебное пособие



Санкт-Петербург

2010

Бондаренко И.Б., Иванова Н.Ю., Сухостат В.В. Управление качеством электронных средств. – СПб: СПбГУ ИТМО, 2010. – 211с.

В учебном пособии описаны технологии и методы управления качеством электронных средств, а также основы обеспечения качества на различных стадиях жизненного цикла продукции.

Работа предназначена для студентов вузов, обучающихся по направлению подготовки дипломированных специалистов 210200.65 (654300) "Проектирование и технология электронных средств». Учебное пособие может быть использовано для подготовки бакалавров и магистров по направлению 551100 «Проектирование и технология электронных средств».

Рекомендовано к печати на заседании ученого совета факультета Компьютерных технологий и управления «16» июня 2009г., протокол заседания № 1.

Рекомендовано УМО вузов Российской Федерации по образованию в области радиотехники, электроники, биомедицинской техники и автоматизации в качестве учебного пособия для студентов высших учебных заведений, обучающихся по специальностям 210201 «Проектирование и технология радиоэлектронных средств» и 210202 «Проектирование и технология электронно-вычислительных средств» направления 210200 «Проектирование и технология электронных средств».



В 2009 году Университет стал победителем многоэтапного конкурса, в результате которого определены 12 ведущих университетов России, которым присвоена категория «Национальный исследовательский университет». Министерством образования и науки Российской Федерации была утверждена Программа развития государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Санкт-Петербургский государственный университет информационных технологий, механики и оптики» на 2009–2018 годы.

© Санкт-Петербургский государственный университет информационных технологий, механики и оптики, 2010.

© И.Б. Бондаренко, Н.Ю. Иванова, В.В. Сухостат, 2010.

Содержание

	Стр.
Введение.....	5
1. Назначение и классификация электронных средств.....	6
2. Качество сложной системы, показатели качества.....	8
2.1. Понятия сложной системы и качества.....	8
2.2. Показатели качества.....	10
2.3. Методы определения величины показателей качества.....	12
Контрольные вопросы.....	14
3. Управление качеством.....	15
3.1. Концепция всеобщего управления качеством.....	15
3.2. Качество продукции как объект управления.....	18
3.3. Современные проблемы управления качеством.....	19
3.4. Факторы, влияющие на качество продукции.....	20
3.5. Методы обеспечения качества.....	21
3.6. Жизненный цикл ЭС, CALS-технологии.....	24
3.7. Системы управления качеством.....	27
3.8. Стандарты серии ИСО 9000.....	30
3.9. Задача и проблемы оптимизации качества.....	46
Контрольные вопросы.....	53
4. Методы контроля и диагностики качества.....	54
4.1. Параметры ЭС и отклонение параметров.....	54
4.2. Методы анализа отклонения параметра.....	55
4.3. Задачи и виды контроля качества продукции.....	60
4.4. Области применения статистических методов контроля качества.....	67
4.5. Статистический ряд и его формирование.....	69
4.6. Гистограмма и полигон распределения.....	72
4.7. Контроль качества с помощью гистограмм.....	75
4.8. Критерии согласия Пирсона- χ^2 , Колмогорова.....	80
4.9. Критерий Стьюдента.....	82
4.10. Критерий Фишера.....	88
4.11. Диаграммы рассеивания.....	90
4.12. Распределения случайной величины.....	97
4.13. Контрольные листы.....	99

4.14. Методы раслаивания (стратификации) данных.....	100
4.15. Контрольные карты.....	101
4.16. Диаграммы Парето.....	108
4.17. Причинно-следственные диаграммы (диаграмма Исикавы).....	109
4.18. Временной ряд.....	110
4.19. Статистический приемочный контроль качества. ГОСТ Р 50779-95.....	114
4.20. Внедрение статистических методов на производстве.....	129
4.21. SCADA-системы.....	131
4.22. Технология «6С».....	134
4.23. Метод развертывания функции качества.....	138
4.24. Метод граничного сканирования.....	146
Контрольные вопросы.....	160
5. Обеспечение качества.....	162
5.1. Обеспечение качества на отдельных этапах жизненного цикла ЭС.....	162
5.2. Обеспечение ремонтпригодности при разработке изделий. ГОСТ 23660-79.....	165
5.3. Надежность ЭС на этапе проектирования.....	169
5.4. Расчеты надежности ЭС.....	172
5.5. Резервирование ЭС.....	176
5.6. Обеспечение надежности ЭС на этапе производства. ГОСТ 23502-79.....	180
5.7. Надежность ЭС на этапе эксплуатации.....	188
Контрольные вопросы.....	190
Заключение.....	192
Приложения.....	193
Приложение I.	
Таблица кодовых значений для метода медиан.....	194
Приложение II.	
Квантили распределения χ^2	195
Приложение III.	
Квантили распределения Стьюдента.....	196
Приложение IV.	
Таблица значений критерия Фишера.....	197
Список литературы.....	205

Введение

Учебное пособие предназначено для студентов, обучающихся по направлению 210200.65 «Проектирование и технология электронных средств», и может быть использовано для подготовки бакалавров и магистров по специальности 210202 «Конструирование и технология электронных вычислительных средств». Пособие составлено в соответствии с программой курса «Управление качеством электронных средств».

Качество – универсальное свойство, которое есть у всего – и у жизни, и у продукции завода, и у выполненных работ. Падение качества приводит, соответственно, к падению уровня жизни, репутации фирмы, ее конкурентоспособности на рынке, ее прибыли. Для поддержания требуемого уровня качества, или его повышения существуют инструменты и методы, описанные в данном пособии. Необходимо отметить, что постоянно разрабатываются новые стандарты и модернизируются старые в соответствии с насущными проблемами и появляются новые качества у выпускаемой продукции. Например, в момент написания данного учебного пособия, Европейским Союзом планируется создать новый стандарт по безопасности продукции для детей, младше четырех лет. Таким образом, продукция получит новое качество, которым некоторые изделия не обладали. Это повысит удобство и безопасность продукции также и для пусть и небольшой части населения нашей планеты.

Целью учебного пособия является знакомство с основами контроля, обеспечения и управления качеством электронных средств на всех этапах: от их проектирования до эксплуатации.

Пособие содержит краткие теоретические сведения, необходимые для успешного освоения дисциплины «Управление качеством электронных средств», а также для: лучшей подготовки лабораторных работ, их защиты, сдачи экзамена.

Для более глубокого усвоения материала студентам рекомендуется пользоваться литературой, указанной в конце учебного пособия, а для расчетов – таблицами приложений.

Авторы благодарят за помощь коллектив кафедры Проектирования компьютерных систем, а также студентов и аспирантов, принимавших активное участие при написании данной работы.

1. Назначение и классификация электронных средств

Электронные средства (ЭС) – класс устройств, который способен передавать, принимать, хранить, обрабатывать и выводить некоторую информацию с помощью вычислительных и логических операций по определённым алгоритмам и программам.

Электронные средства служат для интенсификации выполняемых работ, повышения скорости и точности решения научно-исследовательских задач, контроля, управления техническими процессами, и т.п.

Классифицировать ЭС можно по следующим видам:

1. по виду исполнения:

- наземные;
- бортовые.

2. По области применения:

- общетехнические;
- бытовые;
- специальные;
- самолетные;
- корабельные;
- космические.

3. По конструктивному исполнению:

- стационарные;
- перевозимые;
- носимые.

4. По принципу действия:

- цифровые;
- аналоговые;
- аналого-цифровые.

5. По назначению:

- универсальные;
- управляющие;
- контрольные.

6. По элементной базе:

- на дискретных полупроводниковых приборах;
- на интегральных микросхемах (ИМС);
- на больших интегральных схемах (БИС);
- на сверхбольших интегральных схемах (СБИС).

Современные ЭС являются сложными устройствами и состоят из функциональных узлов, из которых состоят блоки аппаратуры. В свою очередь, из блоков формируется прибор, из приборов – составляется система, из систем формируется самый сложный из элементов – комплекс (см. рис. 1.1).

Комплекс – совокупность систем, объединенных общим замыслом для решения определенного круга задач. Отдельные системы, входящие в комплекс, могут находиться на большом расстоянии друг от друга.

С ростом сложности ЭС функциональность их растет, а надежность падает.

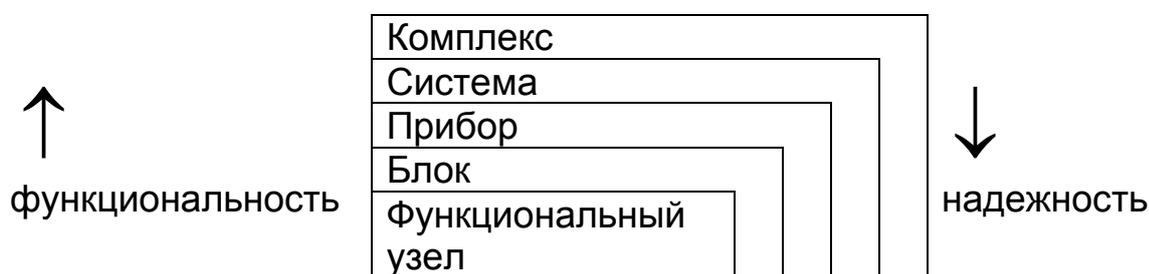


Рис. 1.1. Зависимость функциональности и надежности от сложности ЭС

2. Качество сложной системы, показатели качества

2.1. Понятия сложной системы и качества

Современные ЭС являются сложными техническими системами (ТС) и обладают следующими свойствами:

- большое число взаимосвязанных элементов, узлов и деталей;
- большое число внутренних и внешних связей;
- взаимодействие системы с окружающей средой и человеком-оператором (при котором может снижаться надежность, точность, а, следовательно, происходит разрушение аппаратуры);
- иерархичность структуры;
- стохастический характер поведения системы (случайный, непредсказуемый);
- изменчивость системы во времени (при этом происходит старение, сбои).

Совокупность взаимосвязанных сложных технических систем представляет собой большую систему.

Философское определение категории качества, сформулированное еще Гегелем, раскрывается им как определённость, которая тождественна с бытием. «Качество есть вообще тождественная с бытием, непосредственная определённость...» [1, 2]. Нечто есть то, что оно есть, благодаря своему качеству, и, теряя своё качество, оно перестаёт быть тем, что оно есть. Качественная определённость, по Гегелю, «Едина со всем бытием, она не выходит за свои пределы и не находится также внутри его, а есть его непосредственная ограниченность».

Понятно, что такое определение качества применительно к ЭС неопределенно и недостаточно.

Понятие технического качества, например продукции, регламентировано в Российской Федерации государственным стандартом, а именно ГОСТ 15467-79: «Управление качеством продукции. Основные понятия. Термины и определения»: «Качество – совокупность свойств продукции, обуславливающих ее пригодность удовлетворять определенные потребности в соответствии с ее назначением».

Понятно, что качество продукции относится к числу важнейших показателей деятельности предприятия [3]. Повышение качества продукции в значительной мере определяет выживаемость предприятия в условиях рынка, темпы технического прогресса, внедрение инноваций, рост эффективности производства, экономию всех видов ресурсов, используемых на предприятии. В современных условиях конкуренция между предприятиями разворачивается главным образом на поле качества выпускаемой продукции.

Покупатель считает качественной ту продукцию, которая отвечает условиям потребления независимо от того, какие специфические потребности ей предназначалось удовлетворять, и какие параметры в нем учтены.

Действительно, совокупность свойств продукции может и удовлетворять значениям параметров, указанным в технических условиях или в ГОСТ и не изменяться, но для потребителя эта продукция может быть неприемлемой.

Совокупность свойств не может быть плохой или хорошей вообще. Качество может быть только относительным. Если необходимо дать оценку качества продукции, то надо сравнить данный набор свойств (совокупность свойств) с каким-то эталоном. Эталоном могут быть лучшие отечественные или международные образцы, требования, закрепленные в стандартах или технических условиях. При этом применяется термин «уровень качества» (в зарубежной литературе – «относительное качество», «мера качества»).

Но любой документ или эталон узаконивает определенный набор свойств и характеристик лишь на какой-то период времени, а потребности непрерывно меняются, поэтому предприятие, изготавливая продукцию даже в точном соответствии с нормативно-технической документацией, рискует выпускать ее некачественной, не устраивающей потребителя.

Таким образом, основное место в оценке качества продукции или услуг отводится потребителю, а стандарты, законы и правила (в том числе и международные) лишь закрепляют и регламентируют прогрессивный опыт, накопленный в области качества.

Следовательно, **качество как экономическая категория** — это общественная оценка, характеризующая степень удовлетворения потребностей в конкретных условиях потребления той совокупности свойств, которые явно выражены или потенциально заложены в товаре.

А мы, в свою очередь, будем понимать под качеством, прежде всего совокупность количественных показателей ЭС – ТС, которая отвечает требованиям ТУ, благодаря чему ЭС может быть использовано по назначению.

2.2. Показатели качества

Показатель качества – это количественное выражение одного или нескольких характеристик или свойств объекта применительно к определенным условиям его создания и эксплуатации [4].

Система показателей качества продукции необходима для отражения экономической сущности качества через технические характеристики и свойства. Необходимо отметить, что многие показатели качества имеют вероятностный характер, поэтому для их учета используются методы математической статистики.

Наиболее широко в практике оценки уровня качества используются единичные показатели, имеющие отношение к одному из свойств (характеристик) качества продукции. Единичные показатели легко поддаются сравнению и контролю. Рассмотрим классификацию единичных показателей (см. рис. 2.1).

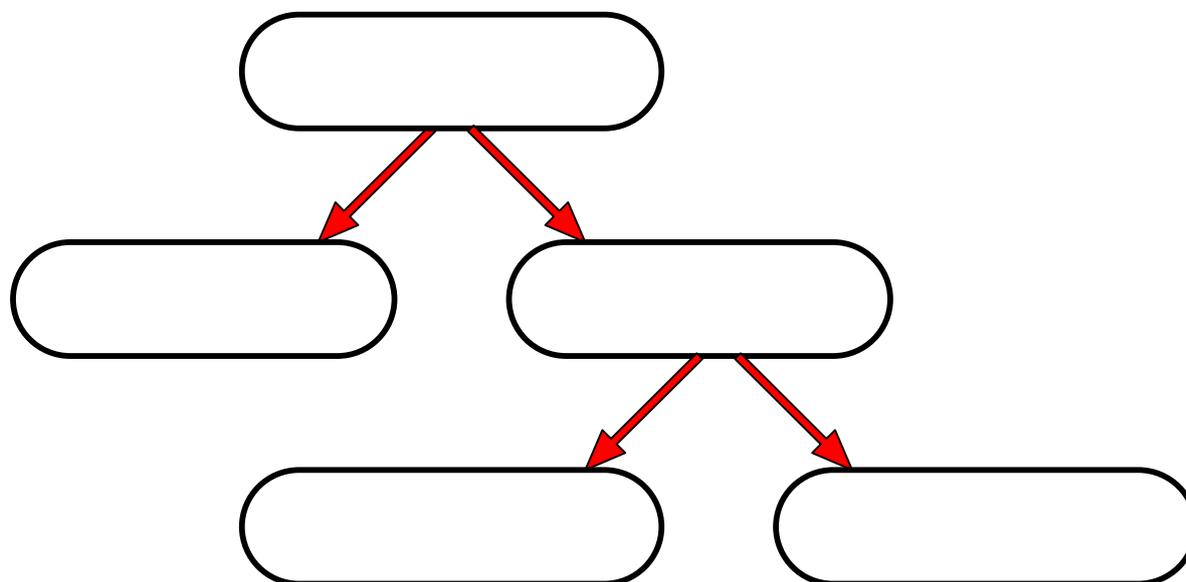


Рис. 2.1. Классификация единичных показателей качества

Как видно из рисунка, все единичные показатели подразделяются на: экономические и технические, а последние, в

свою очередь, делятся на эксплуатационные и производственно-технологические.

К **эксплуатационным** показателям относятся:

- показатели назначения – характеризуют степень соответствия объекта целевому назначению, конструктивному исполнению, устойчивости к внешним воздействиям. К ним можно отнести, например, коэффициент полезного действия машины, производительность, потребляемую мощность, степень автоматизации и т.д.;
- показатели надежности характеризуют изделие с точки зрения надежности эксплуатации, например, безотказность, ремонтпригодность, долговечность и т.д.;
- эргономические показатели характеризуют в целом систему «машина-человек», учитывают антропометрические, биомеханические, инженерно-психологические свойства человека, проявляющиеся при эксплуатации объекта или в производственном процессе;
- технико-эстетические показатели характеризуются композиционной целостностью формы, функциональной целесообразностью формы (например, обтекаемость), товарным видом объекта;
- экологические показатели;
- патентно-правовые показатели характеризуют количество и весомость новых изобретений, патентов, реализованных в объекте. Патентная чистота объекта сегодня является важным фактором конкурентоспособности продукции на международных рынках;
- прочие.

К **производственно-технологическим** показателям относятся следующие:

- показатели технологичности – показатели, обеспечивающие рациональное использование материалов, средств труда и времени в процессе технологического цикла;
- показатели стандартизации и унификации характеризуют насыщенность продукции стандартными, унифицированными и оригинальными составными частями, а также уровень унификации по сравнению с другими изделиями. Все изделия могут быть подразделены на: стандартные, унифицированные и оригинальные. Чем выше коэффициент стандартизации и унификации изделия, тем оно лучше с точки зрения

производства и эксплуатации, тем меньше сроки проектирования и отработки новых изделий, но, с другой стороны, изделие изготавливается по старым технологиям, проектируется из тех же узлов, что снижает конкурентоспособность продукции;

- Показатели транспортабельности отражают степень возможности транспортировки изделия различным транспортом без нарушения его свойств;
- трудоемкость;
- материалоемкость;
- энергоемкость;
- блочность характеризует сложность работы по монтажу оборудования, состоящего из сборок, и определяется отношением числа специализированных (приспособленных) сборок к общему числу частей.

К *экономическим* показателям относятся: капиталовложения в производство, капиталовложения в эксплуатацию, себестоимость единицы продукции, отпускная или рыночная цена.

2.3. Методы определения величины показателей качества

Методы определения величины показателей качества зависят от конструкторских, технологических и эксплуатационных особенностей продукции. В машиностроении, например, применяются следующие методы:

- инструментальные, с использованием различных измерительных и контрольных приборов;
- расчетно-аналитические, путем расчета показателей и установления взаимосвязи между ними (например, определение производительности станочного оборудования по величине подачи);
- опытные, позволяющие путем испытаний установить, а в отдельных случаях и проверить, значение показателей, найденных другими методами (например, испытание автомобилей на полигоне, ускоренные испытания двигателей и т.д.);
- лабораторные, служащие для определения показателей с помощью анализов и испытаний;

- органолептические, заключающиеся в определении показателей с помощью органов чувств (например, контроль окраски, наличие царапин и т.д.);
- социальные, позволяющие определить качество путем анкетного опроса потребителей;
- балльные, позволяющие оценить отдельные показатели, не имеющие общепринятых размерностей, с помощью баллов;
- экспертные, с использованием экспертов в анкетных опросах, с целью получения более точных значений величины показателя.

Обычно одновременно применяется несколько методов для определения одного и того же показателя качества.

Контрольные вопросы

1. В чем отличия философского и технического определения качества?
2. Почему со временем изделие может утратить свое высокое качество?
3. Что такое показатель качества?
4. Почему в практике оценки качества используются единичные показатели?
5. На какие группы делятся показатели качества?
6. От чего зависят методы определения показателей качества?
7. Для чего используется несколько методов для определения одного показателя качества?

3. Управление качеством

3.1. Концепция всеобщего управления качеством

Всеобщее управление качеством (TQM – Total Quality Management) лежит в основе оценки деятельности предприятия и включает в себя как набор инструментальных средств, так и концептуальную составляющую.

Подход TQM базируется на следующих элементах:

- общих принципах и философии ведения бизнеса;
- целостной системе менеджмента качества и его показателях;
- системе оценки качества менеджмента.

Проблемой внедрения технологии TQM является изменение в системе менеджмента для приведения реально функционирующей на предприятии системы управления качеством в соответствие с принципами ведения бизнеса, пониманием миссии предприятия, видением его развития, поддерживаемыми ценностями. Таким образом, изменения затрагивают основные элементы не только системы управления, но и организационной культуры предприятия. Такая задача не может быть решена в короткие сроки.

Важнейшим преимуществом, которое получает предприятие, применяя модели TQM, состоит в разработке и внедрении системной и сбалансированной оценки эффективности и результативности ключевых подходов и процедур системы менеджмента качества, причем речь идет как о подходах, обеспечивающих операционную эффективность, так и стратегическое развитие [5].

Необходимо отметить, что TQM – это технология непрерывного совершенствования качества, развивающаяся система навыков, приемов и методов, растянутая во времени, в отличие от радикального совершенствования или реинжиниринга, дающего быстрый результат.

Сила TQM заключается именно в построении методики и планировании отдельных шагов по внедрению идей управления на предприятии. Не стоит ждать результатов даже через месяц или два. На иностранных предприятиях процесс постановки занимает от трех до пяти лет. Поэтому кроме решимости добиться улучшения в качестве процессов, необходимо запастись хорошим терпением.

Технология TQM основывается на следующих основных элементах, которые рассмотрены ниже [6].

1. **Цель.** В основе любой организации должны быть процессы, управление которыми позволит достичь требуемого качества. В технологии TQM последовательность действий и есть процесс, причем способы выделения процессов у каждого свои. Э. Деминг считает бизнес-процессом «любые виды деятельности в работе организации» [7].

2. **Продолжительность.** TQM – это всегда длительный комплекс мероприятий (даже бесконечный), что рассматривается сторонниками радикального совершенствования как недостаток. На самом деле ожидания в период первой волны реинжиниринга не соответствуют возможностям предприятия, поэтому одномоментный скачок сулит меньший успех [8]. Вдобавок к этому, если рассматривать предприятие как целостную сложную систему, то для обеспечения его «здоровья» зачастую требуется не хирургическое вмешательство, а всестороннее согласованное воздействие. Опять же, эффект от радикального вмешательства может наступить только через некоторое время и может быть как положительным, так и отрицательным.

3. **Скорость перемен.** При использовании TQM перемены видны не сразу и для их достижения не требуются большие затраты. Одновременно снижаются многие статьи затрат: на устранение выявленных дефектов, переработку некачественной продукции, возврат продукции потребителю и т.п.

4. **Величина перемен.** При непрерывном повышении качества совершенствование качества происходит малыми шагами, но постоянно и для всех процессов предприятия с наименьшими рисками и стоимостью.

5. **Влияние улучшений.** В отличие от радикального улучшения качества, при использовании технологии TQM, улучшения влияют на предприятие непрерывно и по нарастающей. Поэтому предприятие может снижать отпускную цену на продукцию, благодаря снижению себестоимости. Это приведет к расширению рынка сбыта и к еще большим прибылям.

6. **Вид перемен** по отношению к TQM – постоянный и постепенный.

7. **Проводники перемен.** Базовый принцип подхода TQM – вовлечение всего персонала организации, внедрение концепций для всех работников. Все концепции TQM делают упор на возрастающую роль рабочих и служащих в достижении успешного развития и

конкурентоспособности компании, и на важность мотивации и непрерывного обучения.

8. **Подход.** Принятие решений в TQM основывается на фактах и вырабатывается всеми членами команды на основе консенсуса. Все концепции TQM опираются на математический аппарат статистики и планирования эксперимента. Простота и понятная всем работникам форма инструментов качества позволяет принимать математически обоснованные выводы и решения.

9. **Усилия.** Приступить к изменениям всегда трудно, а особенно трудно их поддерживать. Именно поддержка изменений в технологии TQM является первостепенной задачей. Если не будет надлежащей поддержки, любые даже незначительные изменения не окажут требуемого результата.

10. **Технология.** Наряду с математическим аппаратом, в концепциях TQM используются информационные технологии и новые изобретения. С развитием технологии будут формироваться новые правила организации бизнеса.

11. **Фокусировка.** TQM основано на синтезе работников предприятия и технологий, в результате которого и рождается качество.

12. **Эффективность.** Технология TQM эффективна на любых этапах развития предприятия, то есть всегда.

13. **Величина улучшений.** Уровень улучшений достигает 10...20 % в год.

История TQM насчитывает уже более 50 лет и результаты весьма внушительны. «Японское экономическое чудо» связывают именно с внедрением TQM. Так что же предприятию нужнее: технология непрерывного улучшения качества или радикального его изменения?

Так как по статистике 70...80 % всех радикальных проектов улучшения качества терпят неудачу, но зато успешные значительно повышают конкурентоспособность бизнеса, не смотря на затраты и высокий риск, то необходима интеграция TQM с технологией радикального изменения качества, а также комплексный подход [9].

Необходимо провести анализ бизнес-процессов на предприятии и выяснить, какие процессы работают более или менее эффективно и достаточно только постепенного их улучшения; какие процессы работают настолько плохо, что единственным выходом будет радикальное их перестроение и только после того, как обновленный процесс заработает, можно будет говорить о непрерывном

совершенствовании. Соотношение процессов, подвергаемых реинжинирингу, и процессов, к которым будет применено непрерывное совершенствование, для каждого предприятия и на каждом этапе комплексного проекта – свое, и зависит не только от уровня зрелости бизнес-процессов, но и от планируемого объема инвестиций в данное направление.

3.2. Качество продукции как объект управления

Управление – это творческий процесс, в котором трудно установить границу, где заканчивается наука и начинается искусство управления. Процесс управления включает сбор, переработку и передачу информации, используемой для выработки решений [10].

Управление представляет собой целенаправленное воздействие на поведение людей или трудовые коллективы в целях достижения конкретных, заранее определенных результатов.

Качество продукции является специфическим объектом управления и обладает существенными особенностями.

Управление качеством – это комплекс мероприятий на этапах проектирования, производства и эксплуатации изделия, направленный на обеспечение и поддержание необходимого уровня качества изделия. Управление качеством продукции представляет собой направленное воздействие на участников совместного трудового процесса в интересах достижения целей, связанных с повышением качества продукции. Такое управление представляет собой взаимосвязь двух подсистем: управляющей и управляемой и поэтому является категорией социально-экономической, включающей взаимоотношения между людьми в сфере производства продукции с заданным уровнем качества. Качество продукции является объектом управления в процессе разработки технических требований, проектирования, испытаний, производства и эксплуатации продукции. Сам процесс управления представляет собой воздействие на отдельные свойства данной продукции либо на совокупность свойств, обуславливающих ее пригодность удовлетворять определенные потребности в соответствии с назначением. Не все свойства продукции подвергаются воздействию, а только те, которые определяются потребностью заказчика в соответствии с назначением данной продукции.

3.3. Современные проблемы управления качеством

Основными проблемами, стоящими перед отечественными производителями в направлении совершенствования управления качеством продукции, являются:

- включение в систему управления качеством продукции механизма маркетинговой деятельности;
- ориентация систем управления качеством, как и всей производственной деятельности, на потребителя;
- усиление механизма воздействия систем управления качеством на все этапы жизненного цикла продукции.

Современные проблемы ограниченности их внедрения носят уже не методологический, а чисто практический характер, причинами которых являются отсутствие квалифицированных кадров, ограниченность организационно-технической и материальной базы предприятия, недостаточный опыт массового использования статистических методов, отставание в автоматизации технологических и управленческих процессов.

Опыт показывает, что внедрение международных стандартов ограничивается не только высокими требованиями к организации материально-технического снабжения, финансирования, программного обеспечения, но и препятствиями социально-психологического характера, вызванными стереотипами старого мышления. Предприятия, внедряющие стандарты, сталкиваются с непониманием необходимости осуществления этой работы в существующих условиях. Условия, принципы и требования, закрепленные в уже переработанных стандартах, на практике выполняются не в полном объеме, что противоречит системному подходу в решении задач качества. Причины невыполнения состоят в нестабильности производственных, сбытовых, экономических процессов, происходящих на предприятии. Большую трудность представляет организация маркетинговой деятельности и осуществление прогноза необходимого уровня качества изделия.

Поэтому решить задачу достижения и поддержания качества продукции на уровне, обеспечивающем постоянное удовлетворение установленных или предлагаемых требований потребителя на внутреннем рынке, пока достаточно сложно. Кроме того, большинство промышленных предприятий России на сегодняшний момент не могут обеспечить потребителю уверенность в том, что

намеченное качество поставляемой продукции достигается или будет достигнуто.

3.4. Факторы, влияющие на качество продукции

На качество продукции оказывают влияние многие факторы, различные по воздействию, характеру, длительности действия в процессе проектирования, производства и эксплуатации [11].

Факторы, влияющие на качество продукции, можно разделить на: конструктивные, производственные, эксплуатационные, социальные, организационные, экономические.

К техническим факторам относятся: конструктивные, производственные и эксплуатационные факторы. Факторы, влияющие на качество продукции, изображены на рис. 3.1.

Конструктивные факторы, определяют качество разработки изделия, его технический уровень, состояние технической документации. Они зависят от инженерных (технических) решений.

Производственные факторы (технологические факторы) определяют уровень технологической подготовки производства, технологической базы производства, технологии изготовления.

Эксплуатационные факторы – факторы, действующие в процессе эксплуатации изделия: внешние воздействия (климатические, механические, биологические и др.), действия оператора и его ошибки.

Социальные факторы – факторы, характеризующие квалификацию работников, уровень их образования, культурный уровень; взаимоотношение в коллективе, жилищно-бытовые условия.

Организационные факторы характеризуют политику предприятия в области качества, организацию производства, состояние технологической дисциплины и культуру производства.

К экономическим факторам относятся экономические воздействия на качество продукции при ее создании и эксплуатации – себестоимость, цена, уровень заработной платы.

Факторы, влияющие на качество продукции, можно также разделить на субъективные и объективные.

Субъективные факторы связаны с деятельностью человека и зависят только от него. Это степень квалификации работников, общеобразовательный уровень, психологические аспекты и др.

Объективные факторы можно разбить на три группы: технические, организационные и экономические.

Таким образом, на качество продукции оказывают влияние многие факторы; управляя этими факторами, можно управлять и качеством выпускаемой продукции [12].

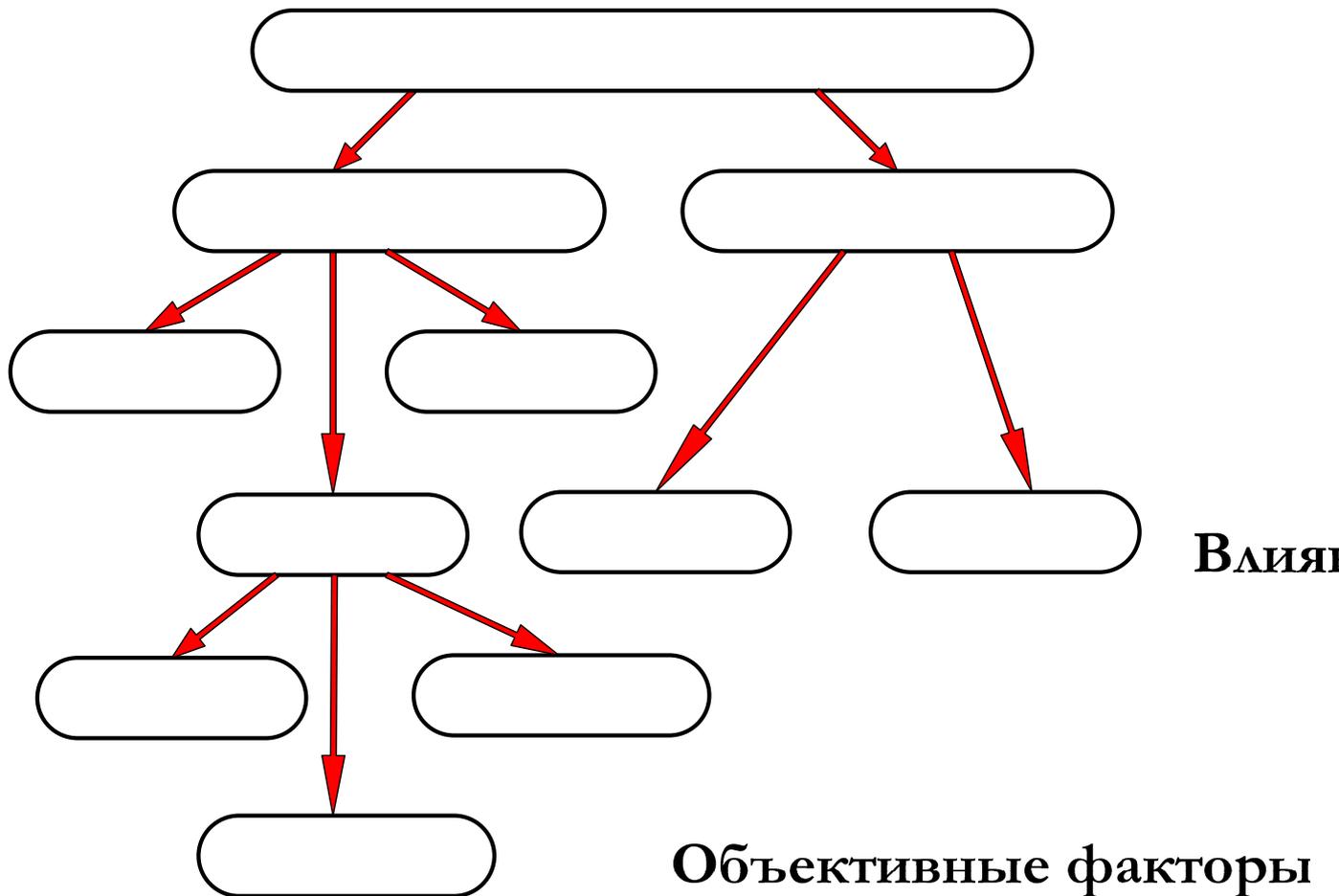


Рис. 3.1. Факторы, влияющие на качество продукции

3.5. Методы обеспечения качества

В процессе обеспечения качества используются экономические, организационные и технические методы: линейное, нелинейное, динамическое программирование, планирование эксперимента, имитационное моделирование, теория игр, теория массового обслуживания, теория расписаний, функционально-стоимостный анализ, метод Тагути и метод структурирования функции качества (СФК).

Метод Тагути базируется на понятии функции потери качества, которая характеризует меру связи между качеством и потерями от его

снижения. Этот метод направлен на создание устойчивых технологических и управленческих процессов системы качества, позволяющих быстро реагировать на изменение потребностей рынка и охватывать весь жизненный цикл изделия.

Метод структурирования функции качества разработан доктором Мицуно (Токийский технологический институт) и заключается в формировании функции качества с помощью «голоса покупателей». Постепенно запросы покупателей воплощаются в конкретные свойства продукции. Строится объемная матрица, позволяющая соединить желаемые свойства изделия с потенциальными возможностями предприятия и потенциальными возможностями предприятий-конкурентов. Этот метод указывает наиболее короткий путь к потребителю и снижает затраты по достижению намеченного уровня качества.

При управлении улучшением качества должен реализовываться цикл: планируй – выполняй – контролируй – регулируй. Методическим средством для этих целей служит круговой цикл Деминга, или цикл PDCA: P – план; D – выполнение работ в соответствии с планом; C – проверка соответствия полученного результата запланированному; A – принятие необходимых мер в случае отклонения полученного результата от запланированного (см. рис. 3.2).

После достижения определенных результатов этот цикл повторяется, но на более высоком уровне. Круг Деминга — это метод управления, позволяющий руководству предприятия постоянно двигаться в направлении достижения главной цели, получая важные промежуточные результаты, контролируя свои действия.

В планировании качества продукции широкое применение находит программно-целевой подход с использованием методов сетевого планирования с разграничением стратегических и оперативных функций управления качеством и их отдельное финансирование, разработка нескольких ситуационных планов (многовариантность планирования) для обеспечения большей вероятности их осуществления в меняющихся условиях рынка.

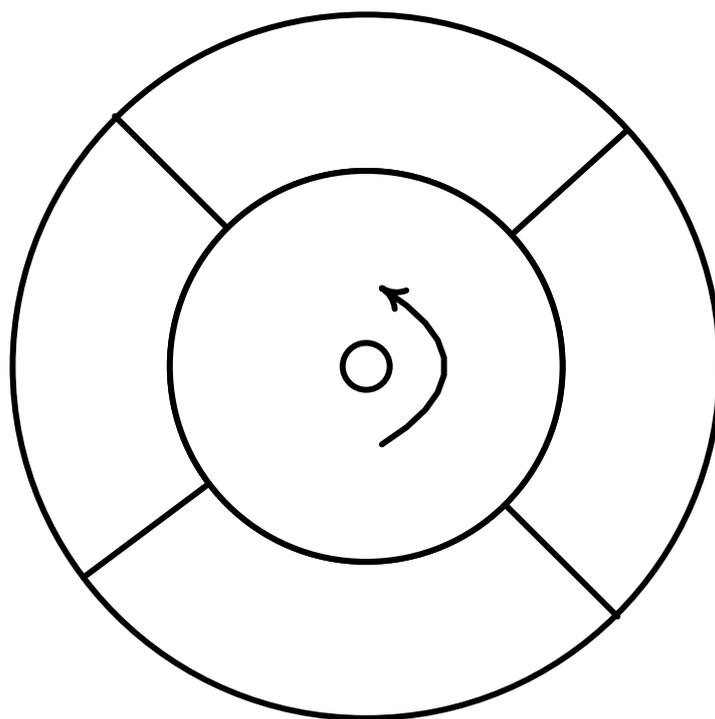


Рис. 3.2. Цикл Деминга

Большое значение придается методам оптимизации работ по обеспечению качества и функционированию системы управления качеством, что в значительной степени снижает издержки. Особое место по степени использования занимают статистические методы обеспечения качества. Методы прикладной статистики дают возможность анализировать и интерпретировать получаемую информацию о потребительском спросе, нарушениях системы качества, динамики качества изделий в разных сегментах рынка, тем самым, повышая надежность процесса получения стабильного уровня качества изделий и совершенствование процесса управления.

В целом применение статистических методов сводится к анализу, прогнозу, выработке и реализации решения по проблемам качества. Эти методы классифицируются на три основные группы:

- графо-аналитические методы;
- методы анализа статистических совокупностей;
- экономико-математические методы.

На передовых предприятиях Японии, США, Германии, Англии и других стран графоаналитическими методами владеют не только инженерно-технические работники, но и рабочие. С помощью

простых методов – диаграмм Паретто, графиков разброса, графиков временного ряда, метода стратификации, причинно-следственных диаграмм, гистограмм и контрольных карт можно решать до 95% всех проблем качества.

3.6. Жизненный цикл ЭС, CALS-технологии

Жизненный цикл изделия – отрезок времени от момента начала разработки изделия до момента снятия его с эксплуатации.

Конец жизненного цикла обусловлен моральным старением ЭС, а моральное старение связано с внедрением современных ЭС с лучшими параметрами. Таким образом, этапы жизненного цикла в своей совокупности образуют «спираль качества» (рис. 3.3).

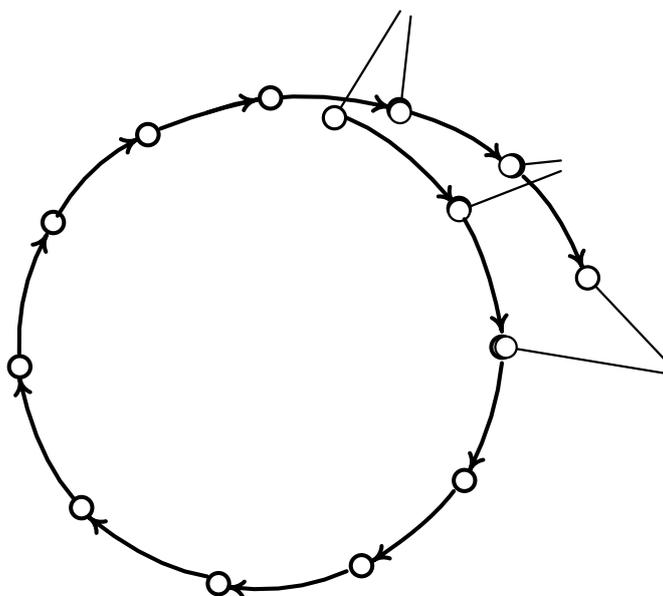


Рис. 3.3. «Спираль качества»

Информационная поддержка жизненного цикла изделий находит воплощение в CALS – технологиях, связанных с формированием единого информационного пространства, объединяющего все этапы жизненного цикла (CALS – Continuous Acquisition and Life-cycle Support – непрерывная информационная поддержка жизненного цикла продукта – это стратегия

Утилизация

Эксплуатация

систематического повышения эффективности, производительности и рентабельности процессов хозяйственной деятельности предприятия в результате внедрения современных методов информационного взаимодействия участников жизненного цикла продукта).

Основные прикладные средства поддержки CALS-технологий включают в себя программные решения для:

- проектно-конструкторских работ – средства автоматизированного проектирования, визуализации, технологической подготовки производства, анализа, моделирования, электронного описания (определения) продукта, управления проектом, составления смет финансирования, расходов и т.д.;
- производства – средства для обеспечения функций снабжения, календарного планирования, диспетчеризации, функций планирования производственных ресурсов, числового программного управления (ЧПУ), учета хода производства, электронного обмена данными (по заказам, расчетам) и т. д.;
- обслуживания – средства для систем обслуживания и снабжения запчастями, интерактивные электронные технические руководства (ИЭТР) и справочники, автоматизированное испытательное оборудование, которое может быть связано с ИЭТР, системы интегрированного материально-технического обеспечения и логистики; управления данными – средства описания структуры продукта, управления данными о продукте, технологическими потоками, управления конфигурацией продукта и т. д.

В среде CALS-технологий такой инструмент, как управление данными о продукте, может играть ключевую роль как средство, позволяющее осуществлять создание, доступ, распределение, надежное управление и контроль за едиными обновляемыми хранилищами информации.

Существенный экономический эффект от внедрения CALS достигается за счет интеграции и совместного использования электронной информации, применяемой для проектирования, производства и сопровождения продукта.

Основной нормативной и правовой базой при реализации стратегии CALS являются стандарты. Совместное использование данных о продукте на всех стадиях его жизненного цикла возможно на основе стандартизации способа представления данных и технологии их использования. Выбор стандартов является частью

стратегии внедрения CALS – сложного, многогранного процесса, связанного с различными аспектами деятельности предприятия. Поэтому для его реализации должны существовать определенные предпосылки, а именно наличие:

- нормативной и методической документации разного уровня – федерального, отраслевого, корпоративного, предприятия;
- рынка апробированных и сертифицированных решений и услуг в области CALS-технологий;
- системы подготовки и переподготовки кадров;
- опыта и результатов научно-исследовательских работ и пилотных проектов, направленных на изучение и разработку решений в области CALS-технологий; информационных источников (Интернет-сервер, периодические издания и т. д.), знакомящих научно-техническую общественность с существующими решениями и ведущимися работами в области CALS.

Применение CALS-технологий позволяет обеспечивать повышение эффективности производства за счет:

- моделирования материальных, информационных и финансовых потоков, характеризующих процессы производства продукции, с целью выбора оптимального комплекса технологических процессов, обеспечивающих достижение заданных технико-экономических параметров продукции, выпуск которой планируется;
- интегрированной информационной системы сопровождения продукции на всех этапах ее жизненного цикла, обеспечивающей сведение к минимуму производственных издержек;
- системы информационного взаимодействия с субподрядчиками, обеспечивающей высокую эффективность процессов материально-технического снабжения;
- интегрированной информационной системы управления качеством продукции на всех этапах ее жизненного цикла;
- интегрированной информационной системы взаимодействия с потребителями продукции, обеспечивающей сведение к минимуму затрат на ее техническое обслуживание и ремонт.

Приведенные составляющие CALS-систем в значительной мере коррелируют с идеологией всеобщего управления качеством продукции (TQM). Другими словами, принципы TQM уже заложены в идеологии CALS-систем. Поэтому внедрение на предприятиях

интегрированных информационных технологий означает автоматическую реализацию принципов всеобщего управления качеством продукции.

3.7. Системы управления качеством

Этапы жизненного цикла продукции согласно стандарту ИСО 9000 начинаются с маркетинга [13]. Работать на потребителя, добиваться качества, которое необходимо потребителю, возможно только тогда, когда система качества создается на базе исследования рынка.

При управлении качеством должны соблюдаться единство и взаимосвязь всех проводимых мероприятий: организационных, технических, экономических.

Система качества должна разрабатываться в соответствии с «петлей качества».

Система качества – это совокупность организационной структуры, распределения ответственности, процедур, процессов и ресурсов, необходимых для осуществления общего руководства качеством. Система качества разрабатывается, создается и внедряется на предприятии как средство, обеспечивающее проведение определенной политики в области качества и достижения поставленных целей. В области качества перед любым предприятием стоят три задачи.

1. Достигать и поддерживать качество продукции на уровне, необходимом потребителю.

2. Обеспечить уверенность руководства в том, что намеченное качество достигается и поддерживается на заданном уровне.

3. Обеспечить уверенность потребителю в том, что намеченное качество продукции достигается или будет достигнуто.

Система качества должна ориентироваться не вообще на продукцию предприятия, а на совершенно конкретную продукцию в конкретных условиях разработки, изготовления и эксплуатации. Если предприятие выпускает для поставщиков десять разных изделий, то и систем качества должно быть столько же. Эти системы являются подсистемами общей системы управления качеством продукции предприятия. Это так называемый «продуктовый подход» к организации системы менеджмента качества. Однако это не означает, что в системах управления качеством конкретных изделий нет ничего

общего. Система качества рассматривается как целеориентированная система, самосохраняющаяся, действующая в соответствии с перспективой, обозначенной в технической политике.

Реализация политики в области качества включает в себя.

1. Непрерывное постоянное улучшение качества путем постоянного воздействия на поставщиков и внутренние процессы, совершенствования документации, анализа данных.

2. Улучшение качества путем применения новых технологий, оборудования, контрольно-измерительной аппаратуры, изменения организационной структуры.

3. Ликвидацию систем и процессов, не обеспечивающих требуемого качества.

Важнейшими функциями, которые должны реализовываться в системах управления качеством продукции, являются:

1. Прогнозирование потребностей и технического уровня изделий.

2. Планирование повышения качества изделий.

3. Нормирование требований к свойствам изделий.

4. Организация метрологического контроля.

5. Обеспечение требуемого уровня качества на всех этапах производства и потребления продукции.

6. Надзор за внедрением и соблюдением стандартов и технических условий.

7. Повышение качества выпускаемых изделий.

Американский ученый Джуран определил ядро любой системы управления качеством как «триаду качества» – планирование, контроль, повышение качества.

Обобщенный вариант системы управления качеством может быть представлен следующим комплексом задач.

1. Определение уровня качества продукции на различных этапах ее разработки, производства и эксплуатации. Этот процесс предусматривает определение основных параметров качества, анализ возможностей производства по выпуску продукции с заданными показателями качества, обеспечение контроля качества.

2. Контроль качества конструкторских разработок, установление норм и показателей качества в стандартах. Решение этой задачи заключается в организации системы контроля за разработкой продукции с определенными свойствами, конструкторско-технологической документации, обеспечивающей конкретные

параметры качества, выявление потребностей производственно-технологического цикла.

3. Анализ технологической подготовки производства и выпуска продукции. Этот этап сводится к контролю за производственным процессом, обеспечению нормативно-технологической документацией.

4. Контроль за качеством изготавливаемой продукции. Это входной контроль материалов, комплектующих изделий, статистическая обработка данных по дефектной продукции, испытания, хранение продукции.

5. Изучение требований потребителя продукции (заказчика), контроль метрологического обеспечения, разработка новых средств контроля, автоматизация контроля.

6. Анализ затрат на достижение заданного качества продукции.

Кроме того, в системах управления качеством применяется ряд мероприятий организационного плана. В них могут быть включены вопросы общего руководства, сбора и анализа информации, формирования управляющих воздействий, подготовки специалистов по качеству и другие.

Систему качества можно упрощенно представить в виде следующей структуры (рис. 3.4).

Подсистема обеспечения качества представляет собой совокупность планируемых и систематически проводимых мероприятий, создающих необходимые условия для выполнения каждого этапа жизненного цикла продукции. Подсистема управления качеством представляет собой меры и действия оперативного характера (управление процессами, выявление различного рода несоответствий продукции, производства или систем качества и устранение причин несоответствий).

С целью единообразного подхода к решению вопросов управления качеством и максимального удовлетворения требований потребителей, устранению различий и гармонизации требований были разработаны международные стандарты на системы качества серии ИСО 9000, как важная составляющая часть системы управления качеством.

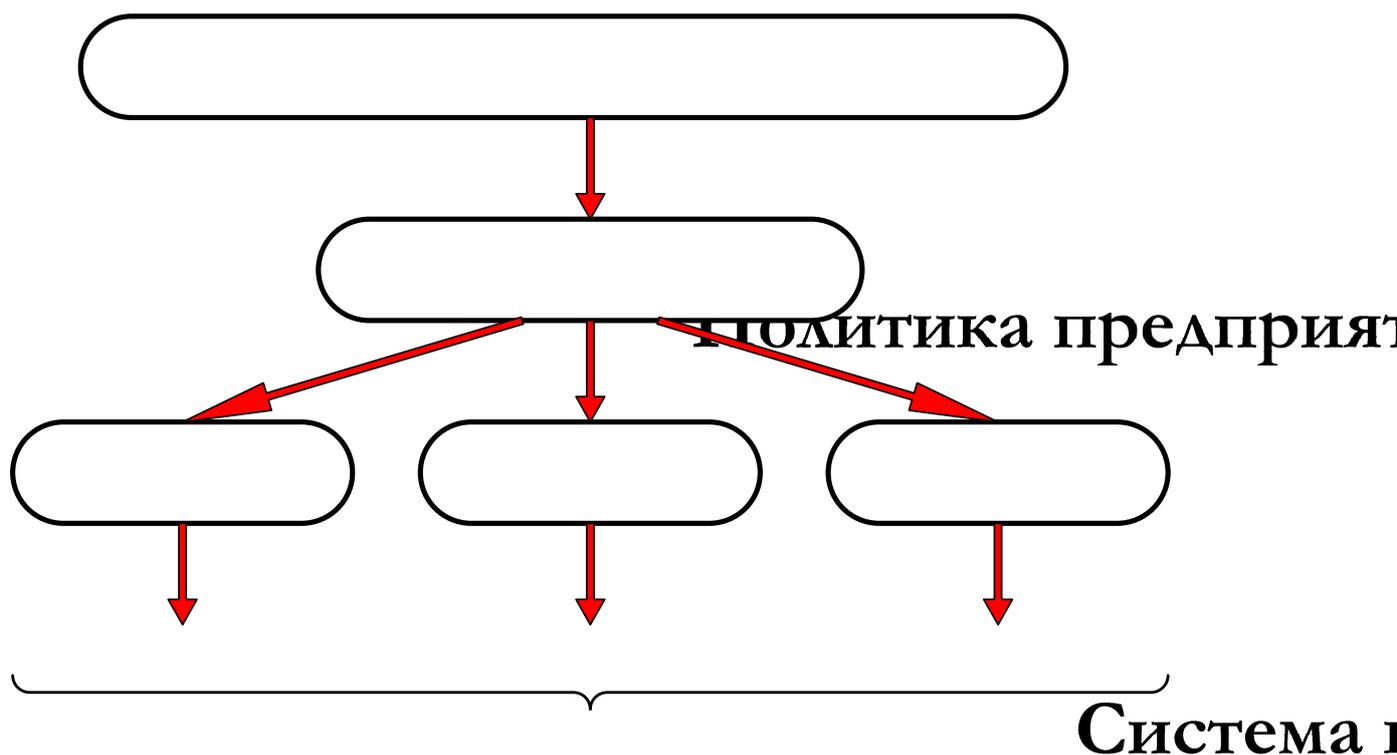


Рис. 3.4. Структура системы качества

3.8. Стандарты серии ИСО 9000

Стандарты серии ИСО 9000 – это пакет документов по обеспечению качества, разработанный членами международной делегации, известной как "ИСО/Технический Комитет 176" (ISO/TC 176) [14]. В настоящее время (серия) ИСО 9000 включает:

- все международные стандарты с номерами ИСО 9000...9004, в том числе все части стандарта ИСО 9000 и стандарта ИСО 9004;
- все международные стандарты с номерами ИСО 10001...10020, в том числе все их части;
- ИСО 8402.

Три стандарта из серии ИСО 9000 (ИСО 9001, ИСО 9002 и ИСО 9003) являются основополагающими документами Системы Качества, описывающими модели обеспечения качества и представляющими три различные формы функциональных или организационных взаимоотношений в контрактной ситуации.

Стандарты ИСО 9000 и ИСО 9004 не более чем справочники.

Стандарт ИСО 9000: "Общее руководство качеством и стандарты по обеспечению качества" состоит из следующих частей:

Часть 1: "Руководящие указания по выбору и применению". Это руководство было создано для оказания помощи потенциальным пользователям в решении вопроса предпочтительности той или иной модели обеспечения качества с учётом специфических договорных взаимоотношений.

Часть 2: "Общие руководящие указания по применению ИСО 9001, ИСО 9002 и ИСО 9003". Данное руководство помогает пользователю прояснить трактовку требований стандартов ИСО 9001, ИСО 9002 и ИСО 9003.

Часть 3: "Руководящие указания по применению ИСО 9001 при разработке, поставке и обслуживании программного обеспечения". Предназначена для помощи в трактовке требований стандарта ИСО 9001 поставщикам интеллектуальной продукции.

Часть 4: "Руководство по управлению программой надежности".

Стандарт ИСО 9004: "Общее руководство качеством и элементы системы качества". Этот документ предоставляет пользователю пакет руководств, с помощью которых система качества может быть разработана, осуществлена и установлена, т.к. он предоставляет информацию и предложения по осуществлению Системы Всеобщего Руководства Качеством, которая запускается после установки и (возможно) сертификации Системы Качества. В него входят следующие составные части.

Часть 1: "Руководящие указания".

Часть 2: "Руководящие указания по услугам".

Часть 3: "Руководящие указания по перерабатываемым материалам".

Часть 4: "Руководящие указания по улучшению качества".

Часть 5: "Руководящие указания по программе качества".

Часть 6: "Руководство качеством при управлении проектированием" (проект стандарта).

Часть 7: "Руководящие указания по управлению конфигурацией" (проект стандарта).

Из вышесказанного следует, что ни ИСО 9000, ни ИСО 9004 не являются моделями Обеспечения Качества и не должны рассматриваться как обязательные требования. Таким образом, бессмысленно говорить о сертификации или регистрации по ИСО 9000 или ИСО 9004. Могут быть получены только сертификаты на соответствие ИСО 9001, 9002 или 9003.

К другим вспомогательным стандартам в области качества относятся:

ИСО 10011: "Руководящие указания по проверке системы качества". Данная группа является нормативной базой для органов, осуществляющих проверку системы качества предприятия (в том числе и при проведении сертификационного аудита). Однако эти стандарты будут весьма полезны и при построении системы качества, так как позволяют предвидеть сценарий и процедуру ее проверки.

Часть 1: "Проверка".

Часть 2: "Квалификационные критерии для экспертов-аудиторов по проверке систем качества".

Часть 3: "Руководство программой проверок".

ИСО 10012: "Требования, гарантирующие качество измерительного оборудования – часть 1: Система подтверждения метрологической пригодности измерительного оборудования". Выполнение данных требований не является обязательным для соискателей сертификата соответствия стандартам ИСО 9001, 9002 или 9003, однако трудно представить себе соблюдение требований ИСО 9001, 9002 или 9003 без выполнения требований ИСО 10012 или отсутствие у предприятия собственной метрологической базы.

ИСО 10013: "Руководящие указания по разработке руководств по качеству". Представлены основные рекомендации по составлению головного документа системы качества – Руководства по Качеству. Предприятия могут пойти и своим путем при разработке Руководства по Качеству, поскольку для сертификации системы качества необходимо выполнение всех требований только стандарта ИСО 9001, 9002 или 9003 в зависимости от выбранной модели.

ИСО 8402: "Управление качеством и обеспечение качества – Словарь". Поскольку многие обычные слова, используемые повседневно, применяются в области качества в специфическом или ограниченном значении по сравнению с полным диапазоном определений, приводимым в словарях, то данный стандарт ставит целью пояснить и стандартизировать термины по качеству, как они применяются в области управления качеством.

Семейство ИСО 9000, особенно стандарты, предназначенные для использования в договорных случаях, для оценки или сертификации (ИСО 9001, ИСО 9002 и ИСО 9003) – работает во всем мире во многих отраслях промышленности и экономики. Было специально разработано множество схем, учитывающих особенности отдельных секторов промышленности и экономики.

Важно отличать схемы, повторяющие без изменений семейство ИСО 9000, от схем, включающих локализованные версии этих

международных стандартов. Если серия ИСО 9000 явилась лишь ядром для размножения локализованных стандартов, извлечённых из ИСО, но отличающихся от них по содержанию и структуре, то это ограничивает тенденцию стандартизации во всём мире из-за размножения (увеличения количества) несовместимых стандартов и несовместимых требований.

Несмотря на то, что первоначально стандарты ИСО 9000 предполагались как средство для согласования большого числа национальных и международных стандартов, они могут быть использованы также как в контрактной, так и во вне контрактной ситуациях. В "Руководящих указаниях по выбору и применению" поясняется, что в обоих этих случаях желательно, чтобы предприятие-поставщик установило и поддерживало Систему Качества, что позволит повысить его конкурентоспособность и достигнуть требуемого качества продукции при минимальных затратах.

Стандарты ИСО 9000 имеют своей целью оказать помощь в определении потенциальных поставщиков, обладающих эффективной Системой Качества. Стандарт помогает уменьшить затраты на качество, так как у предприятия появляется доверие и уверенность в качественной деятельности поставщика. Соответствие стандартам ИСО 9000 создаёт предпосылки для заключения договорных соглашений между покупателем и поставщиком. Предприятия, сертифицированные по ИСО 9000, воспринимаются потребителем как жизнеспособные поставщики.

Каждое предприятие заинтересовано в формальной регистрации соответствия с положениями стандартов, т.к. регистрационный номер ИСО 9000 становится важным элементом при выборе компании в качестве поставщика.

Стандарты ИСО 9000 определяют минимальные требования, которые поставщик должен выполнить для того, чтобы гарантировать потребителю получение продукции, соответствующей его требованиям к качеству. Введение этих стандартов оказало значительное влияние на предприятия во всём мире, так как поставщики теперь могут быть оценены последовательно и единообразно.

Таким образом, требования современного рынка подталкивают поставщика продукции (товаров и услуг) к внедрению систем качества. Однако, внедряя на предприятиях систему качества в соответствии с ИСО 9000, предприниматель получает и выгоду:

- за счет перераспределения затрат сокращается та их доля, которая шла на обнаружение и исправление дефектов, общая сумма затрат снижается и появляется дополнительная прибыль;
- повышается исполнительская дисциплина на предприятии, улучшается мотивация сотрудников, снижаются потери, вызванные дефектами и несоответствиями;
- предприятие становится более "прозрачным" для руководства, в связи с этим повышается качество управленческих решений.

Общность и универсальность стандартов ИСО 9000 заключается в том, что модели Обеспечения Качества не были разработаны для какой-либо специфической области – они предназначены для применения во всех областях промышленности и для всех стран.

Комитет ISO/TC 176, указывая на назначение стандартов – регламентировать деятельность широкого спектра предприятий, признаёт, тем не менее, что стандарт может быть модернизирован для специфических нужд: во введении к каждому стандарту приведена следующая фраза: «Международный комитет ISO/TC 176 предлагает выбрать модель обеспечения качества из трёх возможных» [15].

ИСО 9001 "Система Качества: Модель обеспечения качества при проектировании, разработке, производстве, монтаже и обслуживании"

ИСО 9001 является наиболее обширным стандартом; он применим в случае договорной ситуации, когда соответствие специфическим требованиям должно обеспечиваться в течение нескольких стадий, включающих: проектирование/разработку, производство, монтаж и обслуживание. Это применимо, когда:

- необходимо проектирование продукции и требования к ней определены в виде эксплуатационных характеристик или они должны быть установлены;
- доверие к соответствию продукции может быть достигнуто путём соответствующей демонстрации поставщиком его возможностей в проектировании, разработке, производстве, монтаже и обслуживании.

Использовать нормы стандарта ИСО 9001 рекомендуется в том случае, когда предприятия осуществляют полный цикл выпуска продукции, начиная от разработки конструкции изделий и заканчивая их обслуживанием у потребителя.

ИСО 9002 "Система Качества: Модель обеспечения качества при производстве, монтаже и обслуживании".

ИСО 9002 применим в договорной ситуации когда:

- специфические требования к продукции установлены в проекте или в технических условиях;
- доверие к соответствию продукции может быть достигнуто путём соответствующей демонстрации поставщиком его возможностей в производстве, монтаже и обслуживании.

Для предприятий, которые изготавливают продукцию по технической документации другого предприятия, рекомендуются к применению нормы стандарта ИСО 9002.

- ИСО 9003 "Система Качества: Модель обеспечения качества при окончательном контроле и испытаниях".

ИСО 9003 применим в договорной ситуации когда: доверие к соответствию продукции установленным требованиям может быть достигнуто путём соответствующей демонстрации поставщиком его возможностей в окончательном контроле и испытаниях.

Для испытательных лабораторий и центров, что соответствует контролю качества только конечной продукции, рекомендованы нормы стандарта ИСО 9003.

ИСО 9001 является наиболее обширным: в нём описывается система качества, которая распространяется на все возможные виды деятельности предприятия, ИСО 9002 в меньшей степени описывает эту систему, исключив из рассмотрения деятельность по проектированию, ИСО 9003 ещё в меньшей степени, чем ИСО 9002 описывают систему, не затрагивая проектную, производственную и послепродажную деятельность. Общие для стандартов главы следуют одной и той же цели: они являются идентичными или, в случае модификации, они являются совместимыми "снизу-вверх".

Таким образом, требования стандарта ИСО 9001 автоматически включают в себя требования стандартов ИСО 9002 и ИСО 9003, а требования стандарта ИСО 9002 автоматически включают требования стандарта ИСО 9003, что обеспечивает единый подход и единые требования.

В таблице 3.1 представлен список перекрёстных ссылок (в соответствии с главами) на элементы Системы Качества.

Таблица 3.1.

Элементы системы качества в стандартах серии ИСО 9000

ИСО 9001	ИСО 9002	ИСО 9003	ИСО 9000- 2	Наименование пункта стандарта ИСО 9001	ИСО 9004-1	ИСО 9000-1
1	2	3	4	5	6	7
4.1 о	о	оо	4.1	Ответственность руководства	4	4.2; 4.3
4.2 о	о	оо	4.2	Система качества	5	4.4; 4.5; 4.8
4.3 о	о	о	4.3	Анализ контракта	—	8
4.4 о	х	х	4.4	Управление проектированием	8	—
4.5 о	о	о	4.5	Управление документацией и данными	5.3; 11.5	—
4.6 о	о	х	4.6	Закупки	9	—
4.7 о	о	о	4.7	Управление продукцией, поставляемой потребителем	—	—
4.8 о	о	оо	4.8	Идентификация продукции и прослеживаемость	11.2	5
4.9 о	о	х	4.9	Управление процессами	10; 11	4.6; 4.7
4.10 о	о	оо	4.10	Контроль и прове- дение испытаний	12	—
4.11 о	о	о	4.11	Управление контрольным, измерительным и испытательным оборудованием	13	—
4.12 о	о	оо	4.12	Статус контроля и испытаний	11.7	—

Продолжение таблицы 3.1.

1	2	3	4	5	6	7
4.13 о	о	оо	4.13	Управление несоответствующей продукцией	14	—
4.14 о	о	о	4.14	Корректирующие и предупреждающие действия	15	—
4.15 о	х	х	4.15	Погрузочно-разгрузочные работы, хранение, упаковка, консервация и поставка	10.4; 16.1; 16.2	—
4.16 о	о	о	4.16	Управление регистрацией данных о качестве	5.3; 17.2; 17.3	—
4.17 о	о	х	4.17	Внутренние проверки качества	5.4	4.9
4.18 о	о	о	4.18	Подготовка кадров	18.1	5.4
4.19 о	о	оо	4.19	Техническое обслуживание	16.4	—
4.20 о	о	х	4.20	Статистические методы	20	—
—	—	—	—	Экономика качества*	6	—
—	—	—	—	Маркетинг, безопасность продукции*	19; 7	—

Примечание:

о – жесткое требование стандарта;

оо – менее жесткое требование по сравнению с ИСО 9001 и ИСО 9002;

х – элемент отсутствует;

* – элемент не является требованием ИСО 9001-9003.

Раскроем содержание требований стандарта ИСО 9001 по пунктам таблицы 3.1 [15].

П.4.1. Ответственность руководства

Стандарт требует от руководства предприятием обязательного внедрения следующих основных моментов:

- политики в области качества;
- распределения полномочий персонала, отвечающего за качество;
- обеспечения работы по качеству необходимыми ресурсами;
- выделения представителя руководства, отвечающего за качество;
- проведение внутренних проверок (аудитов).

П. 4.2. Система качества (структура)

Чтобы продукция соответствовала установленным требованиям, стандарт ИСО 9001 требует от предприятия разработать, документально оформить и поддерживать в рабочем состоянии систему качества. В этом пункте также определены основные документы системы качества:

- руководство по качеству (справочник системы качества);
- документированные процедуры системы качества (методологические и рабочие инструкции);
- планы качества (планы деятельности по внедрению и развитию менеджмента качества).

Руководство по качеству должно включать или содержать ссылки на процедуры системы качества и определять структуру документации, используемой в системе качества. В дополнение к Руководству по качеству используются документированные процедуры по системе качества (например, рабочие инструкции по проектированию, материально-техническому снабжению и организации процессов). Стандарт рекомендует при планировании качества основное внимание уделять разработке программ качества, в которых рекомендуется отразить цели в области качества, этапы процессов достижения необходимого качества, конкретное распределение обязанностей и полномочий на различных этапах процессов, применение конкретных документированных процедур и др.

П. 4.3. Периодический анализ контрактов

Чтобы предупредить риск, связанный с несоответствиями требований заказчика в поставляемой продукции, стандарт предписывает поставщику разработать и поддерживать в рабочем состоянии документированные процедуры, обеспечивающие

проведение анализа контракта и координацию этой работы. Более подробно эти вопросы рассмотрены в п. 4.19 настоящего пособия.

П. 4.4. Управление проектированием

Стандарт предполагает подход к проекту как одному из видов продукции (интеллектуальной). «Петля качества» или в данной работе «Спираль качества» (см. п. 3.5) для проекта имеет свои стадии жизненного цикла:

- планирование проектирования и разработки. Предприятие должно подготовить планы по каждому осуществляемому при проектировании и разработке виду деятельности. Планы должны актуализироваться по мере развития процесса проектирования;
- организационное и техническое взаимодействие (между различными группами, предоставляющими входные данные для процесса проектирования);
- входные проектные данные;
- выходные проектные данные;
- анализ проекта. Стандарт рекомендует проведение анализа проекта силами рабочих групп сотрудников самого проектного бюро из разных отделов;
- проверка проекта на соответствие выходным данным;
- утверждение проекта.

П. 4.5. Управление документацией

Действующая документация должна быть вовремя предоставлена, рассмотрена и принята полномочным персоналом. Необходимо, чтобы документы были на всех участках, занятых обеспечением качества продукции, а устаревшие документы изъяты.

П. 4.6. Закупки продукции

Нужно обеспечить качество поставок смежников. Это предусмотрено в стандарте путем оценки и выбора субподрядчиков, тщательной проверки документации материально-технического снабжения, приемочного контроля.

П. 4.7. Продукция, поставляемая потребителем

Достаточно часто потребитель предоставляет поставщику комплектующие, компоненты, сырье и т.д. для выпуска продукции для потребителя. Стандарт обязывает поставщика разработать процедуры управления проверкой, хранением и техническим обслуживанием продукции, поставляемой потребителем.

П. 4.8. Идентификация продукции и прослеживаемость

Чтобы обеспечить управление процессами, необходимо отслеживать перемещение продукции по технологической цепочке. При этом нужно иметь возможность отличать одну единицу продукции от другой. Эти два важных требования – идентификация продукции и прослеживаемость – относятся ко всем видам процессов, выполняющихся на предприятии.

П. 4.9. Управление процессами

Стандарт предписывает поставщику идентифицировать и планировать процессы производства, монтажа и технического обслуживания, непосредственно влияющие на качество продукции. Для обеспечения качества изготовления надо предусмотреть:

- планирование изготовления, т.е. необходимы письменная рабочая документация, подходящее технологическое оборудование, разрешение на проведение технологических процессов, нужны критерии для оценки выполнения работ;
- контроль и управление изготовлением;
- специальные процессы, когда невозможно проверить продукцию во время технологического цикла. Нужно обеспечить документальное закрепление процессов к методам, оборудованию и их постоянный контроль.

П. 4.10. Контроль и испытания

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

- входной контроль;
- промежуточный контроль (контроль и испытания в процессе производства);
- окончательный контроль.

В стандарте приведены:

- основные термины и определения контроля;
- классификация операций контроля;
- нормативные требования к обеспечению качества процессов контроля и испытаний;
- требования к проектированию технологических процессов и операций технического контроля;
- требования к определению объема контроля и к этапам разработки процессов контроля;
- требования к определению плана контроля;

- требования к выбору средств контроля и технологическим документам на технический контроль и др. материалы.

П. 4.11. Управление контрольным, измерительным и испытательным оборудованием

Поставщик должен разработать и поддерживать в рабочем состоянии документированные процедуры управления, калибровки и технического обслуживания контрольного, измерительного и испытательного оборудования, используемого им с целью подтверждения соответствия продукции установленным требованиям. В стандарте прописаны процедуры управления, в том числе как:

- устанавливать необходимые измерения и их точность;
- идентифицировать все контрольное, измерительное и испытательное оборудование, которое может повлиять на качество продукции;
- определять процесс, применяемый при калибровке оборудования, включая детализацию типа оборудования и др.

П. 4.12. Статус контроля и испытаний (условия завершения и оформления контроля)

Статус контроля и испытаний продукции следует идентифицировать с помощью средств, указывающих на соответствие или несоответствие продукции требованиям проведенного контроля и испытаний.

Идентификация статуса контроля должна осуществляться в течение всего производства, монтажа и технического обслуживания продукции, обеспечивая отправку, использование или монтаж только той продукции, которая прошла обходимый контроль.

П. 4.13. Управление несоответствующей продукцией

Должно быть исключено дальнейшее непреднамеренное применение дефектной продукции.

Нужно ввести процедуры, позволяющие убедиться, что продукция, не соответствующая установленным требованиям, не используется и не монтируется по чьему-то недосмотру.

Несоответствующая продукция может быть:

- переработана с целью соответствия установленным требованиям;
- отремонтирована или принята без ремонта с отступлением;
- переведена в другую категорию (сорт);
- отбракована или отправлена в отходы.

П. 4.14. Корректирующие или предупреждающие действия

Поставщик должен разработать и поддерживать в рабочем состоянии документированные процедуры применения корректирующих и предупреждающих действий. Любое из этих действий, предпринятое для устранения причин фактических или потенциальных несоответствий, должно соответствовать значению проблем и быть соразмерным встретившимся видам риска. В частности, процедуры корректирующих действий должны включать:

- эффективное рассмотрение жалоб к продукции;
- определение корректирующих действий и потребителей;
- изучение причин несоответствий.

П. 4.15. Погрузочно-разгрузочные работы, хранение, упаковка, консервация и поставка

На всех стадиях жизненного цикла продукции надо добиваться предотвращения повреждений и снижения ее качества при производстве погрузочно-разгрузочных работ, упаковке, консервации, хранении и поставке продукции.

П. 4.16. Регистрация данных о качестве

Поставщик разрабатывает и поддерживает в рабочем состоянии документированные процедуры идентификации, сбора, индексирования, доступа, составления картотеки, хранения, ведения и устранения зарегистрированных данных о качестве (проверках качества). Все записи о качестве должны быть разборчивыми, храниться и содержаться таким образом, чтобы их можно было легко найти.

П. 4.17. Внутренние проверки качества (внутренний аудит)

Поставщик должен осуществить обширную систему плановых и документированных внутренних проверок качества с целью доказательства эффективности системы качества и действующих методов контроля. Различают три вида аудита, ориентированных, соответственно, на продукцию, процесс и систему качества.

Результаты проверок должны доводиться до сведения персонала, ответственного за проверенный участок работы. Руководство участка должно осуществить своевременные корректирующие воздействия и устранить недостатки, выявленные в процессе проверки.

П. 4.18. Подготовка кадров

Внедрение современного менеджмента качества требует высокой квалификации работников предприятия, их высокой мотивации на качественный труд и получение знаний и навыков для

обеспечения качества работы. Вопрос подготовки кадров – один из важнейших, во многом определяющий успех программы внедрения и развития системы качества.

Кадровая политика — документ стратегического планирования работы предприятия, в наиболее общей форме отражающий цели его деятельности в области набора и подготовки кадров. В стандарте изложены три основные компоненты кадровой политики предприятия: подготовка персонала, корпоративная культура, организация управления.

Учитывая исключительную важность этого вопроса для отечественного производителя, рассмотрим более подробно все компоненты кадровой политики.

Подготовка персонала

Функция организации обучения персонала является в этой компоненте одной из важнейших. По целевой направленности разделяют следующие виды обучения, организация которых входит в функции структуры управления персоналом:

- обучение работника, принятого на работу;
- обучение при изменении в должности;
- обучение как повышение квалификации;
- обучение с целью изменения психологического климата в коллективе;
- обучение при изменении технологии выполнения процессов;
- обучение при изменении состава продукции (переподготовка).

Способы обучения общеизвестны: обучение без отрыва от производства, обучение с отрывом от производства в специализированных учреждениях, обучение путем самообразования с аттестацией в специализированных учреждениях, самообразование без аттестации, обучение на рабочем месте.

Применяются следующие формы обучения: процедура приема, двухнедельное обучение с отрывом от работы, полугода- или двухгодичное обучение без отрыва от работы, экзамены и аттестация, обучение по специализированной программе, обучение силами руководителя, обучение через ответственные поручения, стажировка в различных отделах предприятия, заграничные стажировки, самообразование, привлечение к участию в семинарах и конференциях.

Стандарт ИСО 9001 требует от предприятия обеспечить подготовку всего персонала, выполняющего работы, влияющие на качество продукции, а также вести соответствующую регистрацию

данных о подготовке кадров. Особое внимание требуется обратить на подготовку следующих специалистов: менеджеров системы качества, специалистов в области качества, аудиторов качества.

При этом продолжительность подготовки в соответствии со стандартом составляет: для специалистов – один год, для менеджеров – два года, для аудиторов – четыре года, при условии наличия у каждого как минимум одного года практической работы в области технического контроля или в системе обеспечения качества. В результате обучения специалисты в области качества должны разбираться в следующих вопросах:

- принципы разработки и функционирования систем качества;
- экономика качества, затраты на качество;
- качество в маркетинге;
- качество в разработке технических условий и в проектировании;
- качество в поставках;
- качество на производстве;
- контроль качества продукции;
- подтверждение качества продукции;
- проверка средств измерений и испытательного оборудования;
- дефектная и бракованная продукция, отклонения от ТУ;
- корректировочные воздействия;
- обращение с продукцией и послепродажное обслуживание;
- документация и регистрация качества;
- применение статистических методов.

Еще шире должен быть объем знаний и навыков у менеджеров и аудиторов по качеству.

Корпоративная культура

Эффективность системы качества на предприятии во многом зависит от того, насколько полно сотрудники чувствуют свою причастность идее постоянного повышения качества труда (так называемая интернализация проблемы качества). Внедрение системы качества требует от сотрудников предприятия соразмерить свое поведение с требованиями стандартов серии ИСО 9000:

- сотрудничать с работниками других подразделений предприятия для решения общих задач;
- следовать в своей работе предписаниям методологических и рабочих инструкций;
- нести ответственность в рамках выделенных полномочий;
- действовать в соответствии с «циклом Деминга» (см. п. 3.4).

На первый взгляд, требования стандарта отражают существующие должностные инструкции работников, но это не так. Практика показывает, что изменение корпоративной культуры работников является сложным и длительным процессом, в котором главной задачей является убедить работника в выгодности и для него, и для всего предприятия сознательного сотрудничества в вопросах качества с работником другого подразделения. Стандарт предлагает в первую очередь подготовить к новым формам взаимодействия 100% высшего руководства и 50% руководителей среднего звена, а далее уже приобщать к ним рядовых работников предприятия.

Организация управления

Поскольку система качества требует совместной работы сотрудников разных подразделений, а навыки такой работы при иерархической структуре организации управления могут отсутствовать, необходимо проводить подготовку работников к совместной работе. Такая подготовка может включать как теоретическое и практическое обучение формам и методам групповой работы, так и обучение в процессе решения реальных проблем в области качества. В Японии, например, было создано национальное движение «кружков качества», которое позволило быстро привить вкус к совместной работе, почувствовать ее преимущества.

П. 4.19. Техническое обслуживание

Если в контракте оговорено послепродажное обслуживание изделий, то нужно разработать и поддерживать в рабочем состоянии процедуры по проведению технического обслуживания и проверке продукции на соответствие установленным требованиям.

П. 4.20. Статистические методы

Фактическое применение статистических методов контроля и регулирования процессов признано целесообразным на всех без исключения этапах «спирали качества».

Используемые на предприятиях статистические методы можно подразделить на три категории:

- методы высокого уровня сложности, которые используются разработчиками систем управления предприятием или процессами. К таким методам относятся методы кластерного анализа, адаптивные робастные статистики и т.д.;
- методы специальные, которые применяются при разработке операций технического контроля, планировании промышленных экспериментов, расчетах на точность и надежность, и т.д. Эти

методы используются специалистами службы качества, ОТК, разработчиками изделий и процессов;

- методы общего назначения, которыми должны владеть все сотрудники предприятия.

Наиболее распространенные на практике статистические методы контроля качества рассмотрены в разделе 4 настоящего пособия.

3.9. Задача и проблемы оптимизации качества

Все множество свойств изделия может быть разделено на два непересекающихся подмножества: свойства, определяющие качество объекта, и свойства, образующие его экономичность [13]. Свойства объекта, связанные с затратами на него, оцениваются экономичностью. Потребителя, как правило, не интересует только качество изделия без учета его экономичности или только экономичность без учета его качества. Характеристика, учитывающая качество и экономичность, обозначается термином «интегральное качество».

Интегральное качество – наиболее сложное свойство изделия, представляющее собой совокупность свойств качества и экономичности (т. е. результатов и затрат).

Например, в качестве интегрального показателя качества используется величина:

$$I = \frac{\mathcal{E}}{C}, \quad (3.1)$$

где: \mathcal{E} – суммарный полезный эффект от эксплуатации или потребления продукции, выраженный в денежных единицах;

C – суммарные затраты на создание и эксплуатацию или потребление.

Это комплексный показатель качества. С экономическими факторами связано и оптимальное значение показателя качества. Это значение показателя качества, при котором достигается либо наибольший эффект от эксплуатации или потребления продукции при заданных затратах на ее создание и эксплуатацию или потребление, либо заданный эффект при наименьших затратах, либо наибольшее отношение эффекта к затратам.

Отдельные свойства ЭС, характеризующие качество, могут быть получены путем измерений или вычислений, и, т.о., могут получать численные характеристики. Назовем их абсолютными показателями

качества этих свойств. Тогда комплексный показатель качества ЭС будет представлять собой функцию от m относительных показателей, зависящих от абсолютных показателей качества, которые, в свою очередь, могут представлять функции от более простых параметров q . Поэтому, общее качество ТС будем считать функционалом вида:

$$K = K(F(Q_i)),$$

$$F(Q) = F(f_1(Q), f_2(Q), \dots, f_k(Q)),$$

$$Q = (q_1, q_2, \dots, q_n), \quad i = 1, 2, \dots, m,$$
(3.2)

зависящим от k функций от n параметров.

Часто i -й относительный показатель качества, относящийся к однородной группе свойств изделия, представляют как функцию от абсолютного j -го показателя качества и базового:

$$f_i(Q) = f_i(q_j, q_{j_{БАЗ}}).$$
(3.3)

Относительная характеристика продукции, основанная на сопоставлении значений показателей качества оцениваемой продукции с базовыми значениями соответствующих показателей, называется **уровнем качества продукции**. Базовые значения показателей качества – это значения показателей качества базовой модели, отечественного или зарубежного аналога, имеющего наивысшее на данное время качество. Здесь всегда надо иметь в виду, что такие оценки являются субъективными, так как выбор базовой модели, как правило, не является объективным и зависит от квалификации, информированности и даже добропорядочности лица, принимающего решение.

Для придания составляющим комплексного показателя качества K веса, вводятся коэффициенты весомости: вектор A . Тогда можно записать:

$$f_i(Q) = f_i(q_1, q_2, \dots, q_n, a_1, a_2, \dots, a_n).$$
(3.4)

Сумма коэффициентов обладает свойством комплементарности:

$$\sum_{k=1}^n a_k = 1.$$
(3.5)

Каждый параметр для оценки качества аппаратуры может иметь свою, отличающуюся от других параметров размерность. Различные шкалы измерения абсолютных показателей свойств качества ЭС,

могут быть трансформированы в одну общую шкалу, например, в безразмерную. Для этого используют несколько видов шкал:

- шкалу порядка;
- шкалу рангов;
- шкалу интервалов;
- шкалу качества (например, десять градаций), а оценку качества производят по принадлежности изделия к одному из классов шкалы с заданной вероятностью (достоверностью);
- шкалу отношений.

Для уничтожения размерности отдельных показателей используется математический прием, при котором коэффициенту a_i присваивается размерность, обратная размерности соответствующего показателя. Тогда при перемножении таких размерностей комплексный показатель становится безразмерным.

Комплексный показатель качества должен обладать всеми следующими свойствами.

1. **Репрезентативность** (представительность). Согласно этому требованию комплексный показатель качества должен включать основные характеристики изделия, по которым оценивается его качество.

2. **Монотонность**. Комплексный показатель качества является обязательно строго монотонной функцией оценок единичных показателей. Улучшение любого из единичных показателей качества при фиксированных остальных показателях должно вызывать улучшение комплексного показателя.

3. **Критичность** (чувствительность) комплексного показателя к варьируемым параметрам. Чувствительность комплексного показателя качества определяется первой производной (функцией чувствительности) и является функцией оценок частных производных.

4. **Нормированность**. Численное значение комплексного показателя качества заключено между максимальным и минимальным значениями единичных показателей качества.

5. **Сравнимость результатов** комплексной оценки качества.

Результаты комплексной оценки не должны зависеть от выбора нормирующих показателей.

Всем этим требованиям удовлетворяет математическая модель вида:

$$f_i(Q) = (a_1 q_1^\beta + a_2 q_2^\beta + \dots + a_n q_n^\beta)^{\frac{1}{\beta}}, \quad (3.6)$$

где коэффициенты a_i удовлетворяют условию (3.5).

Функция вида (3.6) называется взвешенным степенным средним порядка β чисел с весами a_i .

При $\beta = 1$ из выражения (3.6) получим среднее взвешенное арифметическое:

$$f_i(Q) = a_1 q_1 + a_2 q_2 + \dots + a_n q_n, \quad (3.7)$$

при $\beta = 2$ – средневзвешенное квадратическое:

$$f_i(Q) = \sqrt{(a_1 q_1^2 + a_2 q_2^2 + \dots + a_n q_n^2)}, \quad (3.8)$$

при $\beta = -1$ – средневзвешенное гармоническое:

$$f_i(Q) = \frac{1}{a_1 / q_1 + a_2 / q_2 + \dots + a_n / q_n}. \quad (3.9)$$

Можно использовать средневзвешенную квадратическую зависимость в виде:

$$f_i(Q) = \sum_{k=1}^n a_k q_k^2, \quad (3.10)$$

или вместо (3.10) можно использовать:

$$f_i(Q) = \sqrt{\sum_{k=1}^n a_k (1 - q_k^2)}. \quad (3.11)$$

Если при повышении параметра качества должно происходить уменьшение комплексного показателя качества, то можно использовать следующее соотношение:

$$f_i(Q) = 1 - \sqrt{\sum_{k=1}^n a_k (1 - q_k^2)}. \quad (3.12)$$

Для комплексной оценки качества используется также средневзвешенная геометрическая зависимость:

$$f_i(Q) = \prod_{k=1}^n q_k^{a_k}, \quad (3.13)$$

а также сочетание зависимостей, например, сочетание средневзвешенной арифметической зависимости и средневзвешенной квадратической зависимости запишется так:

$$f_i(Q) = \sum_{k=1}^e a_k q_k + \sum_{r=k+1}^e a_r q_r^2, \quad e < k. \quad (3.14)$$

Для оценки комплексного показателя качества может использоваться коэффициент равномерности, который позволяет проследить, насколько равномерно изменяются все исходные показатели качества изделий по отношению к выбранной совокупности базовых показателей:

$$f_i(Q) = \frac{\prod_{k=1}^n q_k^{a_k}}{\sum_{k=1}^n a_k q_k}. \quad (3.15)$$

Еще одним неизменным компонентом, учитываемым при решении любой задачи управления, являются ограничения на параметры. Ограничения сужают область поиска оптимального значения параметра, тем самым, ускоряя процесс поиска.

Ограничения бывают в виде:

- равенств;
- неравенств;
- качественных ограничений, например, материал, тип электрорадиоэлементов (ЭРЭ), элементная база прибора и т.п.

Ограничения могут быть как на внутренние параметры X , так и на внешние параметры ЭС: Y (внутренними параметрами ЭС, например, элементная база, надежность блоков и т.д. управляет преимущественно разработчик, а внешними параметрами, такими как точность, масса, габариты и т.д. – заказчик). Ограничения образуют область допустимых значений внешних и внутренних параметров, из которых выбирается или определяется решение с помощью математических методов.

Взаимосвязь между внутренними и внешними параметрами ЭС описывают уравнения связи $F(X, Y)$:

Контрольные вопросы

1. В чем принцип и каковы особенности технологии TQM?
2. Перечислите основные элементы TQM.
3. В чем достоинства и недостатки технологии TQM?
4. В чем особенности управления качеством продукции?
6. Перечислите факторы, влияющие на качество продукции.
7. Для чего служит круг Деминга?
8. Что такое жизненный цикл изделия и чем обусловлен его конец?
9. Для чего служат CALS-технологии?
10. За счет чего обеспечивается эффективность производства при использовании CALS-технологий?
11. Что такое система качества?
12. Что входит в «триаду качества» по теории Джурана?
13. Почему по стандартам ИСО 9000 и 9004 нельзя сертифицировать систему качества на предприятии?
14. Что означает термин «интегральное качество»?
15. В чем отличие комплексного показателя качества от интегрального?
16. Что показывает уровень качества продукции?
17. Какие виды шкал используются для приведения нескольких параметров качества к безразмерному виду?
18. Как можно учесть качественные ограничения при решении задачи оптимизации качества?
19. Для чего служат уравнения связи и как их можно получить?
20. Чем отличается допустимое и оптимальное решения?
21. Может ли быть сразу несколько оптимальных решений? В каком случае?
22. Что характеризует целевая функция?
23. В каких случаях применяется ранжированная целевая функция? В чем состоит недостаток оптимизации по такому принципу?

4. Методы контроля и диагностики качества

4.1. Параметры ЭС и отклонение параметров

Параметр – величина, которая численно характеризует свойство ЭС. Множество параметров Y можно представить как объединение подмножеств:

$$Y = Y_{ЭЛ} \cup Y_{КИН} \cup Y_{ГЕОМ} \cup Y_{РАД} \cup \dots ,$$

где: $Y_{ЭЛ}$ – подмножество электрических параметров ЭС;

$Y_{КИН}$ – подмножество кинетических параметров ЭС;

$Y_{ГЕОМ}$ – подмножество геометрических параметров ЭС;

$Y_{РАД}$ – подмножество радиационных параметров ЭС и т.д.

Таким образом, параметры классифицируются по своей природе.

Отклонением параметра Δy называется мера несоответствия параметра y его номинальному значению:

$$y_0 \pm \Delta y ,$$

где: y_0 – номинальное значение параметра;

Δy – отклонение параметра от номинального значения.

Тогда:

$$\Delta y = y - y_0 ,$$

где y – фактическое значение параметра.

Относительное отклонение параметра вычисляется как:

$$\frac{\Delta y}{y} = \frac{y - y_0}{y} .$$

Отклонение параметров можно представить как:

$$\Delta y = \Delta y(0) + \Delta y(t) ,$$

где: $\Delta y(0)$ – производственное отклонение параметра, которое постоянно во времени. Им можно управлять путем совершенствования технологического процесса, устранения причины отклонения, уменьшая разброс параметров;

$\Delta y(t)$ – неустойчивость параметра во времени.

Допуск на параметр – полученное расчетом или в результате экспериментов отклонение параметра, при котором прибор может

выполнять свои функции с заданной точностью в пределах установленного времени и в условиях влияния окружающей среды.

4.2. Методы анализа отклонения параметра

Отклонение параметров ведет к снижению точности, стоимости, надежности ЭС. С другой стороны, уровень отклонения параметров определяет стоимость прибора: чем больше точность, с которой может измерять прибор, тем больше его стоимость.

Анализ заключается в определении величин отклонения параметров элементов и всего аппарата.

Методы анализа отклонения параметра делятся на:

- статистические;
- корреляционные;
- расчетно-аналитические.

Достоинства статистического и корреляционного методов – они дают точный результат. Недостатки статистического и корреляционного методов:

- трудоемкость;
- их нельзя использовать при разработке новой техники.

Расчетно-аналитические методы основаны на выявлении аналитическим или экспериментальным путем зависимости между отклонением исследуемого параметра и отклонением других параметров, от которых зависит исследуемый:

$$\Delta y = f(\Delta y_1, \Delta y_2, \dots),$$

где: Δy – отклонение исследуемого параметра;

Δy_i – отклонение независимого i -го параметра.

Тогда постановка прямой задачи будет:

Дано:

$$y = f(y_1, y_2, \dots, y_n),$$

$$\Delta y_i, y_i.$$

Определить: Δy

Обратная задача:

Дано:

$$y = f(y_1, y_2, \dots, y_n),$$

$$\Delta y, y_i.$$

Определить: Δy_i

Расчетно-аналитические методы делятся на:

- метод предельных отклонений;
- метод квадратического сложения;
- вероятностный метод.

Рассмотрим каждый из них по отдельности.

1. Метод предельных отклонений

Основан на оценке наилучшего сочетания отклонений отдельных параметров.

Преимущество метода – простота.

Недостаток: дает очень приближенные результаты. Завышение от двух до десяти раз происходит за счет того, что рассматриваются предельные отклонения параметров.

Вывод формулы для расчета отклонения параметров для метода предельных отклонений выглядит следующим образом.

При:

$$y = f(y_1, y_2, \dots, y_n), \quad (4.1)$$

$$y \pm \Delta y = f(y_1 \pm \Delta y_1, y_2 \pm \Delta y_2, \dots, y_n \pm \Delta y_n). \quad (4.2)$$

Разложим (4.2) в ряд Тейлора:

$$\begin{aligned} y \pm \Delta y = & f(y_1, y_2, \dots, y_n) \pm \frac{1}{1!} \sum_{i=1}^n \frac{\partial f}{\partial y_i} \Delta y_i \pm \\ & \pm \frac{1}{2!} \sum_{i=1}^n \frac{\partial^2 f}{\partial y_i \partial y_j} \Delta y_i \Delta y_j \pm \dots \pm P_n. \end{aligned} \quad (4.3)$$

Отбрасывая члены малого порядка из выражения (4.3), получаем:

$$y \pm \Delta y = f(y_1, y_2, \dots, y_n) \pm \sum_{i=1}^n \frac{\partial f}{\partial y_i} \Delta y_i. \quad (4.4)$$

Для использования метода необходимо, чтобы функция $f(Y)$ была дифференцируема до $n+1$ порядка и отклонения $\Delta y \ll y_i$.

Упрощая (4.4), получим:

$$y \pm \Delta y = y \pm \sum_{i=1}^n \frac{\partial f}{\partial y_i} \Delta y_i .$$

Таким образом, получаем уравнение отклонения параметра в форме абсолютных значений для метода предельных отклонений:

$$\Delta y = \sum_{i=1}^n \frac{\partial f}{\partial y_i} \Delta y_i . \quad (4.5)$$

Для перехода к относительным величинам разделим обе части уравнения (4.5) на y и получим:

$$\frac{\Delta y}{y} = \sum_{i=1}^n \frac{\partial f}{\partial y_i} \frac{y_i}{y} \frac{\Delta y_i}{y_i} ,$$

примем:

$$W_i = \frac{\partial f}{\partial y_i} \frac{y_i}{y} .$$

где: W_i – коэффициент влияния, который отражает влияние i -го параметра на параметр y .

С учетом этого, уравнение отклонения параметра в форме относительных значений будет:

$$\frac{\Delta y}{y} = \sum_{i=1}^n W_i \frac{\Delta y_i}{y_i} .$$

Для практического применения используют следующие соотношения:

$$\Delta y_i = a \sqrt[3]{y_i} ,$$

или:

$$\Delta y_i = b y_i .$$

где a, b – константы.

2. Метод квадратического сложения

Преимущества метода: простота, точность выше, чем у метода предельных отклонений. Недостатки: малая точность (отличие от 1,5 до 4 раз из-за оперирования предельными отклонениями).

Основан на соотношении:

$$\Delta y = \sqrt{(\Delta y_1)^2 + (\Delta y_2)^2 + \dots + (\Delta y_n)^2} . \quad (4.6)$$

3. Вероятностный метод

Все параметры в этом методе учитываются как случайные величины. Принимается, что:

- число случайных воздействий и отклонения неизменны во времени;
- среди отклонений нет доминирующих;
- все случайные воздействия взаимно независимы;
- все случайные величины подчинены закону нормального распределения: сумма случайных величин распределена асимптотически нормально.

$$p(\Delta y \leq \sigma) = 0,6826 ,$$

$$p(\Delta y \leq 2\sigma) = 0,9544 ,$$

$$p(\Delta y \leq 3\sigma) = 0,9973 ,$$

$$p(\Delta y \leq 4\sigma) = 0,9999 .$$

Воспользуемся свойствами дисперсии:

$$D(x_1 + x_2) = D(x_1) + D(x_2) ,$$

$$D(c \cdot x) = c^2 D(x) ,$$

так как:

$$\Delta y = \sum_{i=1}^n \frac{\partial f}{\partial y_i} \Delta y_i ,$$

то:

$$\begin{aligned}
D(\Delta y) &= D\left[\sum_{i=1}^n \frac{\partial f}{\partial y_i} \Delta y_i\right] = \\
&= D\left[\frac{\partial f}{\partial y_1} \Delta y_1 + \frac{\partial f}{\partial y_2} \Delta y_2 + \dots + \frac{\partial f}{\partial y_n} \Delta y_n\right] = \\
&= \left(\frac{\partial f}{\partial y_1}\right)^2 D(\Delta y_1) + \left(\frac{\partial f}{\partial y_2}\right)^2 D(\Delta y_2) + \dots \\
&+ \left(\frac{\partial f}{\partial y_n}\right)^2 D(\Delta y_n) .
\end{aligned}$$

Так как:

$$D(\Delta y) = \sigma^2 ,$$

то:

$$\sigma^2 = \left(\frac{\partial f}{\partial y_1}\right)^2 \sigma_1^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial y_2}\right)^2 \sigma_2^2 + \dots + \left(\frac{\partial f}{\partial y_n}\right)^2 \sigma_n^2 .$$

В итоге получаем уравнение отклонения параметра для вероятностного метода:

$$\begin{aligned}
\sigma &= \sqrt{\sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial f}{\partial y_i}\right)^2 \sigma_i^2} , \\
\delta &= \frac{\sigma}{y} = \sqrt{\sum_{i=1}^n W_i^2 \delta_i^2} .
\end{aligned}$$

Преимущества вероятностного метода: дает результаты точнее, чем предыдущие два метода за счет того, что учитывается случайный характер отклонения параметров и случайный характер сочетания отклонений этих параметров.

4.3. Задачи и виды контроля качества продукции

Контроль – это мероприятия, включающие проведение измерений, испытаний, проверку одной или нескольких характеристик изделия или услуги и их сравнение с установленными требованиями с целью установления соответствия [13].

Технический контроль осуществляется на всех стадиях жизненного цикла изделия.

На стадии проектирования изделия – задачей технического контроля является проверка правильности выбора и определения показателей качества продукции, их соответствия современным научно-техническим достижениям и принимаемым техническим решениям, а также выполнения всех требований стандартов и другой нормативно-технической документации.

На стадии производства изделия – технический контроль сводится к контролю качества и состояния технологического процесса. На этом этапе он должен обладать высокой достоверностью.

Производственный контроль охватывает все вспомогательные, подготовительные и технологические операции.

Под контролем качества продукции понимают проверку соответствия показателей качества продукции установленным требованиям.

На стадии эксплуатации изделия – задачами технического контроля являются: проверка соответствия показателей качества изделия требованиям нормативно-технической документации (НТД) при транспортировании, хранении и эксплуатации; проверка соответствия показателей качества изделия требованиям НТД после ремонта.

Рассмотрим виды контроля качества.

Технический контроль – это проверка соответствия объекта установленным техническим требованиям.

Объектом технического контроля могут быть изделия, процессы их создания, применения, транспортировки, хранения, технического обслуживания и ремонта, а также соответствующая техническая документация. Классификация видов технического контроля по различным признакам приведена в таблице 4.1.

Таблица 4.1

Классификация видов технического контроля

Признак классификации	Виды контроля
1	2
Цель контроля	Контроль качества продукции Контроль функционирования (работоспособность) Контроль технического состояния (параметрический, функциональный)
Контроль	Диагностический контроль Прогнозирующий контроль
Стадии жизненного цикла	Производственный контроль Эксплуатационный контроль
Стадии производственного процесса	Входной контроль Операционный контроль Приемочный контроль
Полнота охвата контролем	Сплошной контроль Выборочный контроль
Характер контроля	Инспекционный контроль Летучий контроль
Средства контроля	Измерительный контроль Регистрационный контроль Органолептический контроль Визуальный контроль Технический осмотр Контроль по контрольному образцу
Влияние на изделие	Разрушающий контроль Неразрушающий контроль
Контролируемый параметр	Контроль по количественному признаку Контроль по качественному признаку Контроль по альтернативному признаку Допусковый контроль
Периодичность во времени	Непрерывный контроль Периодический контроль
Принимаемые решения	Пассивный контроль Активный контроль

Продолжение таблицы 4.1.

1	2
Степень участия человека	Ручной контроль Полуавтоматический контроль Автоматический контроль
Использование статистических методов	Статистический контроль качества Статистический непрерывный контроль Статистический приемочный контроль качества продукции Одноступенчатый контроль Двухступенчатый контроль Многоступенчатый контроль Последовательный контроль

В зависимости от стадии производственного процесса различают: входной контроль, операционный контроль, приемочный контроль.

Входной контроль – контроль продукции поставщика, поступившей к потребителю или заказчику и предназначенной для использования при изготовлении, ремонте или эксплуатации продукции. Это контроль сырья, материалов, полуфабрикатов, комплектующих изделий и др.

Операционный контроль – контроль продукции или процесса во время выполнения или после завершения технологической операции.

Приемочный контроль – контроль продукции, по результатам которого принимается решение о ее пригодности к поставкам и (или) использованию.

По полноте охвата изделий контролем различают: сплошной контроль, выборочный контроль, выборочный контроль с разбраковыванием.

Сплошной контроль – это контроль каждой единицы продукции.

Выборочный контроль – контроль, при котором решение о качестве контролируемой продукции принимается по результатам контроля нескольких выборок или проб из партий или потока продукции.

Выборка – это изделие или определенная совокупность изделий, отобранных для контроля из партии или потока продукции.

Проба – определенное количество нештучной продукции, отобранное для контроля.

По характеру контроля различают инспекционный и летучий контроль.

Инспекционный контроль – контроль, осуществляемый специально уполномоченными лицами с целью проверки эффективности ранее выполненного контроля. Это контроль уже проконтролированной отделом технического контроля продукции, из которой исключен брак.

Летучий контроль – контроль, проводимый в случайное время, выбираемое в установленном порядке. Он также носит инспекционный характер, но может быть распространен на весь ход технологического процесса и конструкторскую документацию.

По средствам контроля существуют следующие виды технического контроля.

Измерительный контроль – контроль, осуществляемый с применением средств измерений. Он состоит в том, что на вход (или на одну из цепей) объекта контроля подается сигнал от источника измерительного сигнала и на выходе (или в другой цепи) измеряется требуемая величина измерительным прибором.

Достоинством этого метода является то, что в процессе контроля определяется значение параметра изделия. Однако при использовании этого метода требуются источники измерительного сигнала высокой стабильности и контролеры высокой квалификации.

Регистрационный контроль – контроль, при котором производится регистрация значений контролируемых параметров продукции или процесса.

Органолептический контроль – контроль, при котором первоначальная информация воспринимается органами чувств.

Визуальный контроль – органолептический контроль, осуществляемый органами зрения. Визуальный контроль позволяет обнаружить поверхностные дефекты, несоответствие изделия конструкторской документации.

Технический осмотр – контроль, осуществляемый в основном органами чувств и, в случае необходимости, средствами контроля, номенклатура которых установлена соответствующей документацией.

Контроль по контрольному образцу заключается в том, что параметр объекта контроля сравнивается с параметром такого же изделия, но предварительно проверенного и принятого за образец.

На входы объекта контроля и образца подается один и тот же измерительный сигнал от источника измерительного сигнала. Выходы обоих изделий подключаются к входам устройства сравнения – компаратора, на выходе которого включен нуль-индикатор. Выходное напряжение компаратора пропорционально разности выходных параметров контрольного объекта и образца. Требования к стабильности измерительного сигнала ниже, чем при контроле по измерительным приборам.

По влиянию на изделие контроль может быть разрушающим и неразрушающим.

Разрушающий контроль делает продукцию непригодной для дальнейшего использования и, как правило, он связан со значительными затратами. Результаты его характеризуются определенной степенью недоверности.

Неразрушающий контроль – это контроль качества продукции, который не должен нарушать ее пригодность к использованию. Ведущую роль среди средств неразрушающего контроля продукции играют приборы и установки, использующие в качестве носителя информации ионизирующее и оптическое излучение, электромагнитные волны радиодиапазона, тепловые и температурные поля контролируемых изделий.

В зависимости от контролируемого параметра различают контроль по количественному, качественному и альтернативному признакам, а также допусковый контроль.

Контроль по количественному признаку – это контроль качества продукции, в ходе которого определяют значения одного или нескольких ее параметров, а последующее решение о контролируемой совокупности принимают в зависимости от этих значений. При контроле по количественному признаку определяют конкретные числовые значения важнейших параметров изделий. При контроле некоторого числа однотипных изделий контролируемые значения одних и тех же параметров будут меняться. Причем эти изменения могут носить как систематический, так и случайный характер.

При систематических изменениях контролируемых параметров нужно определить причины их появления, и, путем воздействия на технологический процесс, устранить такого рода отклонения.

Случайные изменения контролируемых параметров лежат обычно в определенных границах.

Контроль по качественному признаку – это контроль качества продукции, в ходе которого каждую проверяемую единицу относят к определенной группе, а последующее решение о контролируемой совокупности принимают в зависимости от соотношения числа ее единиц, оказавшихся в разных группах.

При контроле по качественному признаку определяют, укладывается ли контролируемый параметр в заданный допуск. Если это условие обеспечивается, изделие считается годным, а в противном случае дефектным.

Контроль по альтернативному признаку – это контроль по качественному признаку, в ходе которого каждую проверенную единицу продукции относят к категории годных или дефектных, а последующее решение о контролируемой совокупности принимают в зависимости от числа обнаруженных в выборке или пробе дефектных единиц продукции или дефектов, приходящихся на определенное число единиц продукции.

Контроль по альтернативному признаку является частным случаем контроля по качественному признаку, когда совокупность изделий состоит из двух групп: годной и дефектной.

Допусковый контроль – это контроль, устанавливающий факт нахождения действительного значения параметра относительно его предельно допустимых значений без измерения значения параметра.

По периодичности во времени различают контроль непрерывный и периодический.

Непрерывный контроль – это такой контроль, при котором поступление информации о контролируемых параметрах происходит непрерывно. (Например, в гибких производственных системах).

Периодический контроль – это такой контроль, при котором поступление информации о контролируемых параметрах происходит через установленные интервалы времени.

По принимаемым решениям контроль можно разделить на два вида: пассивный и активный.

Активный контроль позволяет установить причину появления тех или иных отклонений значений параметров электронной аппаратуры от нормы, т. е. он позволяет принимать решения по улучшению качества продукции. Сущность контроля сводится к осуществлению двух основных этапов: первый этап – получение информации о фактическом состоянии изделия. Это первичная информация. Второй этап – сопоставление первичной информации с заранее установленными нормами, критериями, т. е. обнаружение

соответствия или несоответствия фактических данных требуемым. Информацию о рассогласовании фактических и требуемых данных можно назвать вторичной.

Вторичная информация используется для выработки соответствующих управляющих воздействий. В этом смысле контроль активен. Кроме того, в той или иной степени контроль должен быть профилактическим, поскольку вторичная информация может использоваться для совершенствования разработки, производства и эксплуатации продукции, для повышения ее качества. Однако принятие решений на основе анализа вторичной информации, выработка управляющих воздействий уже не является частью контроля. Это следующий этап управления, основанный на результатах контроля. Технический контроль – часть процесса управления.

По степени участия человека в контрольных операциях различают ручной, полуавтоматический и автоматический контроль. Степень участия человека отражает коэффициент автоматизации контрольно-измерительных операций Q , который можно оценить как отношение времени, затраченного на ручные операции t_p , ко всему времени контроля t_k , т. е.:

$$Q = \frac{t_p}{t_k} .$$

К автоматическим устройствам контроля относятся обычно такие, для которых коэффициент автоматизации составляет (2...5)%, для полуавтоматических – (5...50)%, для ручных от 50% и выше.

Статистический контроль качества – это такой контроль, при котором используются статистические методы.

Далее рассмотрим области применения статистических методов в области контроля качества продукции.

4.4. Области применения статистических методов контроля качества

Статистические методы анализа и контроля качества продукции основываются на теории вероятностей и математической статистике. Идея применения теории вероятностей и математической статистики для управления качеством продукции была впервые высказана академиком В.М. Остроградским в 1846 году. Сущность предлагавшихся им методов заключалась в том, что о генеральной характеристике исследуемой партии изделий судят по выборочным характеристикам, определяемым по малой выборке из этой партии.

Выборкой называют изделие или определенную совокупность изделий, отобранных для контроля из партии или потока продукции [16]. Пусть имеем некоторое распределение случайной величины X с плотностью вероятностей $f(x)$. Полную совокупность случайных величин X называют **генеральной совокупностью**. Числовые характеристики распределения генеральной совокупности называют **генеральными характеристиками**. Данные, полученные по выборке, называют **оценками**. Они служат основой для принятия решений о характеристиках генеральной совокупности.

Теория статистических методов управления качеством была рассмотрена в лабораториях А.Н. Колмогорова, Ю.К. Беляева, Б.Г. Гнеденко, Д. Химмельблау, Б. Хансена и других. Основные области применения статистических методов анализа и контроля качества приведены на рис. 4.1.

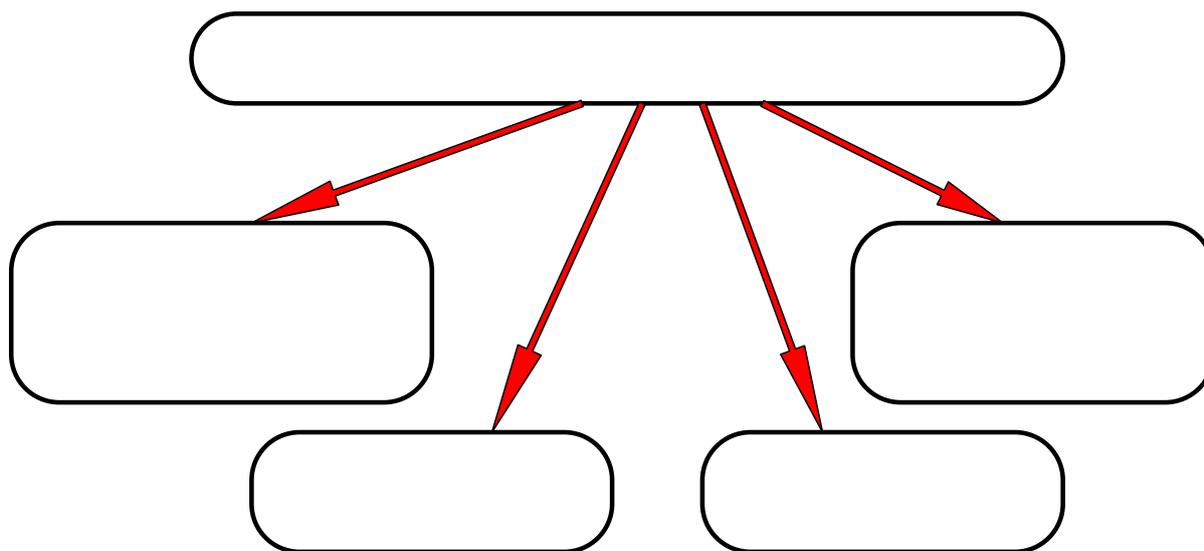


Рис. 4.1. Основные области применения статистических методов при контроле качества

Статистический анализ точности и стабильности технологического процесса – это установление статистическими методами значений показателей точности и стабильности технологического процесса и определение закономерностей его протекания во времени.

Статистическое регулирование технологического процесса – это корректировка значений параметров технологического процесса по результатам выборочного контроля контролируемых параметров, осуществляемая для технологического обеспечения требуемого уровня качества продукции.

Статистический приемный контроль – это выборочный контроль, основанный на применении методов математической статистики для проверки соответствия качества продукции установленным требованиям и принятия решения.

Статистические методы оценки качества продукции – это методы, при которых значения показателей качества продукции определяют с использованием правил математической статистики.

При управлении качеством используется несколько статистических методов. Японские ученые отобрали семь инструментов контроля качества из всего множества статистических методов.

Эти методы обеспечивают простоту, наглядность и эффективность при использовании.

Их можно понять и эффективно использовать без специальной математической подготовки.

Семь инструментов контроля качества составляют следующие статистические методы:

- контрольный листок;
- гистограмма;
- диаграмма Парето;
- расслоение данных (стратификация);
- диаграмма Исикавы или причинно-следственная диаграмма;
- диаграмма разброса или поле корреляции;
- контрольная карта.

По мнению японского ученого Исикавы, семь инструментов контроля качества помогают решать 95% проблем, возникающих на производстве.

Семь простых статистических методов контроля – это инструменты познания.

Основное их назначение – контроль протекающего процесса и предоставление участникам процесса фактов для корректировки и улучшения процесса. Статистические методы – одна из важных составляющих TQM.

Статистические методы контроля качества в настоящее время применяются не только в производстве, но и в планировании, проектировании, маркетинге, материально-техническом снабжении и т. д.

4.5. Статистический ряд и его формирование

Параметры технологического процесса (ТП), на которые действуют множество факторов (человек, оборудование, режущий инструмент, материал, температура окружающей среды и т.д.), не могут быть все время одинаковы и изменяются в пределах, влияющих на них погрешностей действующих факторов [17]. Так что неизбежно, что в любом заданном множестве значений параметра будет **рассеивание**.

Но, хотя сами значения параметра все время меняются, они подчиняются определенной закономерности, которую называют **распределением**.

При контроле качества изделий необходимо на основе собранных данных выявить реальное состояние показателей качества изделия, по которым, сравнивая их с требуемыми показателями, принимается окончательное решение о годности данного изделия. Если проверяются все изделия, то вся их совокупность называется **генеральной популяцией** или **генеральной совокупностью**. Одно или несколько изделий, взятых из генеральной совокупности, называется **выборкой**. Так как выборка используется для оценивания характеристик всей генеральной совокупности, ее необходимо выбирать таким образом, чтобы она отражала именно эти характеристики. А для этого выборка должна быть случайной.

Существуют следующие виды выборок.

Мгновенная выборка – это выборка из потока продукции, которую составляют изделия, произведенные последними к моменту отбора, в течение достаточно короткого интервала времени.

Объединенная выборка – это выборка, состоящая из серии мгновенных выборок.

Случайная выборка – это выборка, при составлении которой для каждого изделия контролируемой совокупности обеспечивают одинаковую вероятность его отбора.

Преднамеренная выборка – это выборка, в которую изделие отбирается с определенной тенденцией попадания дефектных изделий.

Систематическая выборка – это выборка, попадание изделия в которую обуславливается его номером или положением в заранее упорядоченной контролируемой совокупности.

Расслоенная выборка – это выборка, в которую изделия выбирают в заданных количествах из определенных частей контролируемой совокупности с тем, чтобы выборочные характеристики этих частей определять отдельно.

Интервал времени между моментами отбора смежных выборок из потока продукции называется **периодом отбора**.

Существует три метода отбора изделий в выборку: метод случайного отбора, метод наибольшей объективности и метод систематического отбора.

Для обеспечения случайного отбора изделий в выборку используют таблицы случайных чисел. Это исключает систематические ошибки отбора, обеспечивает независимость и равную вероятность попадания изделий в выборку.

Метод наибольшей объективности применяется в том случае, когда дефектные изделия можно определить визуально. Необходимо стремиться, независимо от субъективной оценки контролеров, включать в выборку единицы продукции из разных частей контролируемой совокупности.

В случае систематического отбора изделия отбирают в выборку через определенные интервалы в определенном количестве. В японской промышленности используют объем выборки $n=2$. Выборка состоит из двух изделий: первого и последнего в партии. При стабильном процессе по замерам параметров первого и последнего изделий можно судить о качестве всей партии. Если первое и последнее изделия хорошего качества, значит, процесс стабилен (т. е. инструмент не изношен, не возникает никакой другой систематической погрешности в работе оборудования), все изделия партии хорошего качества.

Значения параметров качества изделий выборки представляют собой статистический материал, подлежащий обработке. Большинство величин, с которыми приходится иметь дело, известно с

некоторой погрешностью, вызванной неточностью измерения и расчета.

Поэтому эти величины являются случайными (СВ). Предположим, что имеются результаты наблюдений над случайной величиной X :

$$X_1, X_2, \dots, X_n,$$

где n – объем выборки.

Эти величины, расположенные в порядке их получения, называются **простой выборкой**, или **статистическим рядом**.

Количество элементов выборки называют ее **объемом**.

Различают: **малые выборки** $n < 25$ и **большие выборки** $n \geq 25$.

Выборка должна иметь достаточный для ее исследования объем, или, как говорят, должна быть представительной. Так, для нахождения закона распределения СВ необходимо иметь не менее нескольких десятков значений.

Очевидно, что чем больше объем выборки, тем больше информации об этой совокупности можно получить, и тем точнее она будет характеризовать всю генеральную совокупность.

Если элементы выборки записать в порядке возрастания, то полученная последовательность называется **вариационным рядом**. Такая форма представления выборки значительно удобнее для последующей обработки.

Если объем выборки большой, ее обработка становится трудоемкой. В этом случае данные предварительно группируют и при расчетах используют **сгруппированную выборку**.

Для этого из выборки выбирают минимальное x_{\min} и максимальное x_{\max} значения и определяют **размах варьирования R** :

$$R = x_{\max} - x_{\min}, \quad (4.7)$$

который разбивают на k интервалов.

Однозначного разбиения размаха варьирования на интервалы не существует. Интервалы могут быть как равными по величине, так и различными. Но при этом важно помнить, что группировка выборки, конечно, огрубляет исходную информацию, т. к. после этого про элемент известно только то, к какому из интервалов он принадлежит. Чем длиннее интервалы, тем значительнее огрубление. Поэтому, по возможности, нужно стремиться к тому, чтобы интервалов было побольше.

С другой стороны, в каждом интервале должно содержаться не менее 6 элементов. И если при разбиении в некоторых интервалах оказалось меньше элементов, то нужно объединить их с соседними.

Если значения выборки распределены неравномерно, целесообразно выбирать интервалы разной длины – более длинные на участке редкого расположения значений.

Для оценки совокупности изделий по случайной выборке применяют метод, основанный на построении **гистограммы распределения**.

4.6. Гистограмма и полигон распределения

Рассмотрим последовательно этапы подготовки полученных данных для построения гистограммы.

Этап 1 – вычислить размах или поле рассеивания выборки R по формуле (4.7).

Этап 2 – определить количество и размеры одного интервала размаха выборки. В качестве первоначального разбиения может быть рекомендован, например, следующий подход:

$$k=1+3,3 \cdot \lg n. \quad (4.8)$$

Выражение (4.8) носит название правила Стерджеса [18].

Иногда разбиение производят из предположения, чтобы в интервал попало в среднем не менее 10 значений, тогда:

$$k=0,1 \cdot n-1. \quad (4.9)$$

Этап 3. Определить границы всех интервалов. Нижняя граница первого интервала равна минимальному значению измерения в выборке, а верхняя граница равна сумме значения нижней границы и величины интервала. Нижняя граница второго интервала равна верхней границе первого. И так далее до последнего n -го интервала, у которого верхняя граница равна максимальному значению измеренного параметра.

Этап 4. Определить средние точки полученных интервалов, которые называют **представителями интервалов**. Они определяются как:

$$x'_i = 0,5(x_{i+1} - x_i) .$$

Этап 5. Для каждого i -го интервала (x_i, x_{i+1}) подсчитывают **частоту** попадания измеренных величин параметров в i -й интервал –

число n_i значений СВ, а также **относительную частоту** или **вероятность попадания** в интервал по соотношению:

$$P_i^* = \frac{n_i}{n} .$$

Плотность относительной частоты можно рассчитать по формуле:

$$f_i^* = \frac{n_i}{n(x_{i+1} - x_i)} .$$

Этап 6. Построить гистограмму распределения для исследуемого параметра, отложив по горизонтальной оси интервалы, зная их границы (этап 3), а по вертикальной оси отложить относительную частоту или вероятность попадания СВ в заданный интервал (этап 5).

Пример построенной гистограммы распределения СВ представлен на рис. 4.2.

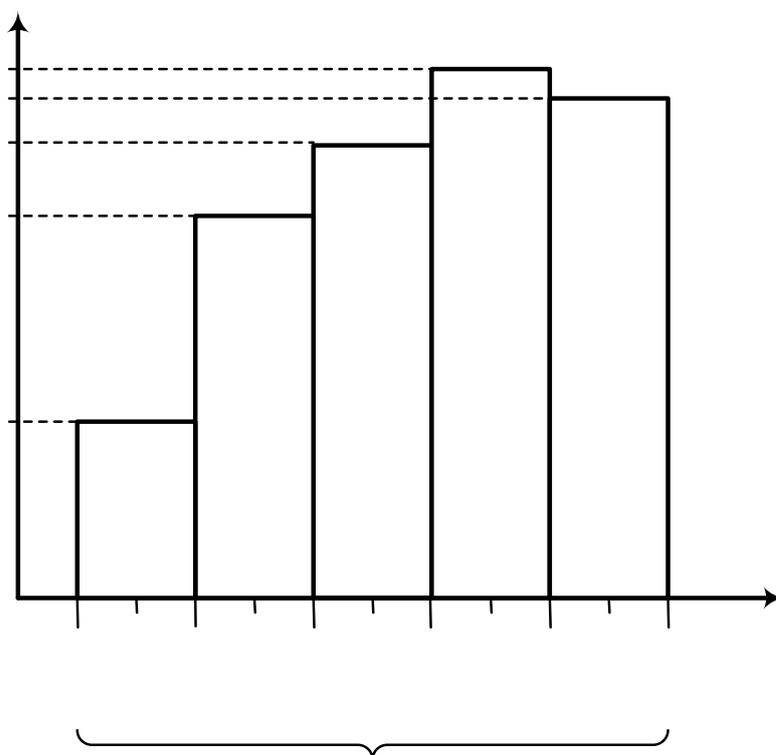


Рис. 4.2. Пример гистограммы распределения СВ

Отметим некоторые свойства гистограммы.

Общая площадь гистограммы равна единице, т. е.:

$$\sum p_i^* = 1 .$$

Если объем выборки устремить к бесконечности, а величину интервала к нулю, то гистограмма будет стремиться к кривой плотности распределения вероятности (ПРВ).

Таким образом, гистограмма служит некоторым приближением графика ПРВ исследуемой величины. Поэтому по виду гистограммы, равно как и полигона, можно сделать предположение о типе распределения или, другими словами, выдвинуть гипотезу о типе распределения СВ.

Статистической функцией распределения (СФР) случайной величины X называется функция $F^*(x)$, равная относительной частоте события ($X < x$):

$$F^*(x) = \frac{n_x}{n} ,$$

где: n_x – количество значений выборки, меньших x ;

n – объем выборки.

СФР легко вычисляется по вариационному ряду. Она имеет скачки, кратные $1/n$ в точках значений элементов выборки.

Как уже отмечалось, при большом объеме выборки удобнее использовать сгруппированные данные, для которых СФР вычисляется только на границах интервалов и имеет скачки, равные n_i/n .

Очевидно, что СФР не может быть убывающей величиной, а ее значение при верхней границе области определения (для несгруппированной СФР это x_{\max} , для сгруппированной – крайний правый интервал) равно 1.

Согласно закону больших чисел, при увеличении числа опытов P_i^* сходится к P , т.е. при $n \rightarrow \infty$ СФР приближается к истинной функции распределения.

Если нанести на гистограмму линию, состоящую из отрезков, соединяющих точки середин интервалов на верхних полках прямоугольников, то непрерывная линия, соединяющая середины интервалов по верхним полкам, будет называться **полигоном распределения** (рис. 4.3). При увеличении количества интервалов и уменьшении их ширины полигон распределения превращается в **практическую кривую распределения**.

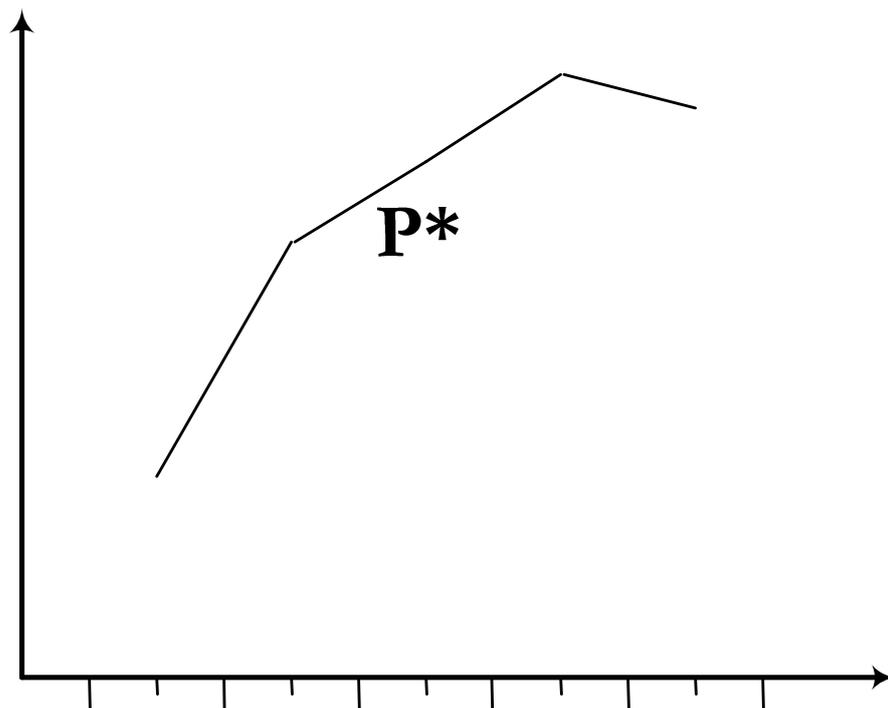


Рис. 4.3. Полигон распределения СВ

Графические методы представления статистического ряда дают наглядную картину характера распределения параметров качества.

4.7. Контроль качества с помощью гистограмм

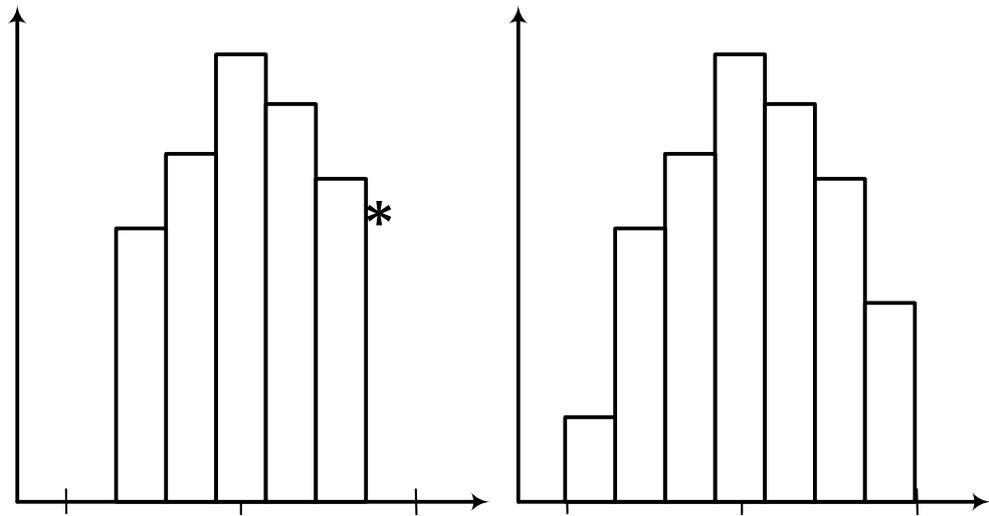
Качество продукции можно оценить, сравнивая по гистограмме границы полей допуска и рассеивания. При этом может наблюдаться 5 типичных вариантов [11].

Первый вариант. Поле рассеивания значительно меньше поля допуска $[-\delta; \delta]$, (см. рис.4.4 (а)). Это означает, что ТП протекает нормально, требуется только поддерживать существующее состояние.

Второй вариант. Поле рассеивания равно или немного меньше поля допуска (см. рис.4.4 (б)). Технологический процесс протекает нормально, но нет запаса надежности. Можно провести мероприятия по уменьшению поля рассеивания, если затраты на эти мероприятия будут меньше, чем потери от возможного брака.

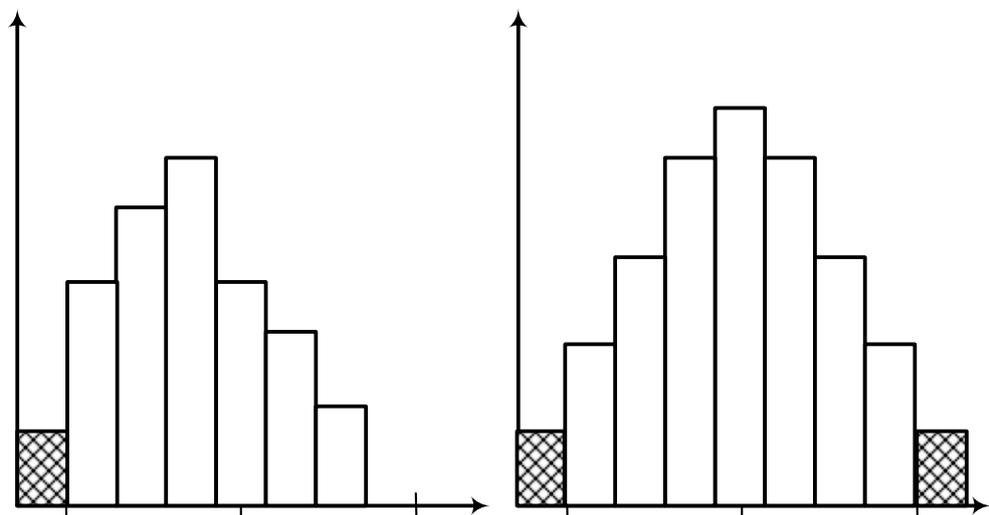
Третий вариант. Поле рассеивания меньше поля допуска, но смещено влево (вправо) от границы поля допуска (рис.4.4 (в)). Процесс ненормальный. В этом случае появился брак, величина x_{\min}

x_1 x'_1 x_2 x'_2
 x_{\min}



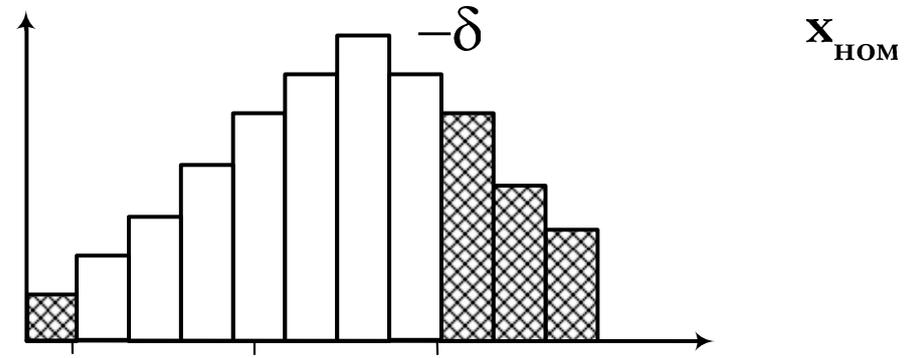
а)

б)



в)

г)



д)

Рис. 4.4. Сравнение полей допуска и рассеивания: а), б) – ТП протекает нормально; в), г), д) – ТП требует наладки, появился брак

которого будет расти при смещении максимума гистограммы влево (вправо) от номинального значения параметра. Необходимо добиться смещения середины поля рассеивания к центру поля допуска.

Четвертый вариант. Поле рассеивания больше поля допуска и размещено симметрично относительно центра поля допуска (рис. 4.4 (г)). Процесс ненормальный. Необходимо провести мероприятия по уменьшению поля рассеивания.

Пятый вариант. Поле рассеивания больше поля допуска и смещено относительно центра допуска (рис.4.4 (д)). Процесс ненормальный. Это худший вариант взаимного положения полей, при котором количество забракованных изделий возрастает. Необходимо прежде всего добиться симметричного расположения полей, посчитать затраты от брака и принять (или не принять) дополнительные мероприятия по уменьшению поля рассеивания.

При исследовании ТП могут получиться следующие виды гистограмм представленные рис. 4.5 [16].

На рис. 4.5 (а) представлена гистограмма с двухсторонней симметрией. Среднее значение гистограммы приходится на середину размаха данных. Это нормальный закон распределения. Технологический процесс протекает стабильно.

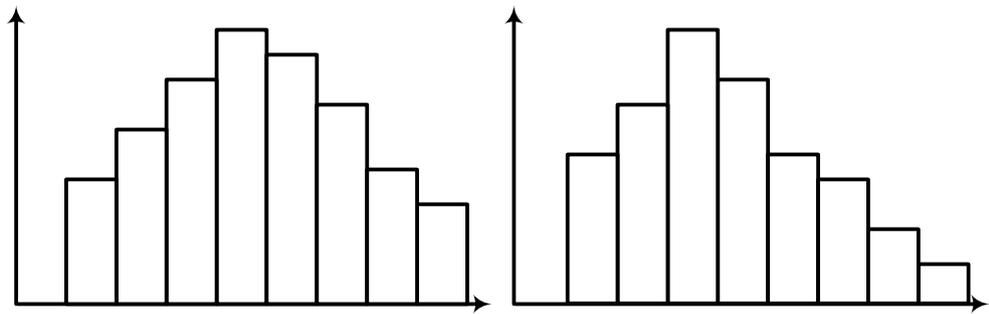
Положительно (отрицательно) скошенная гистограмма (см. рис. 4.5 (б)) получается, когда невозможно получить значения выше (ниже) определенного.

Гистограмма типа «гребенки» (рис. 4.5 (в)) – гистограмма мультимодального типа получается, когда число единиц наблюдения, попадающих в интервалы, колеблется от интервала к интервалу, или когда действует определенное правило округления данных.

Гистограмма с обрывом слева (справа) рис. 4.5 (г) получается, когда из партии отобраны и исключены изделия с параметрами ниже (выше) контрольных нормативов.

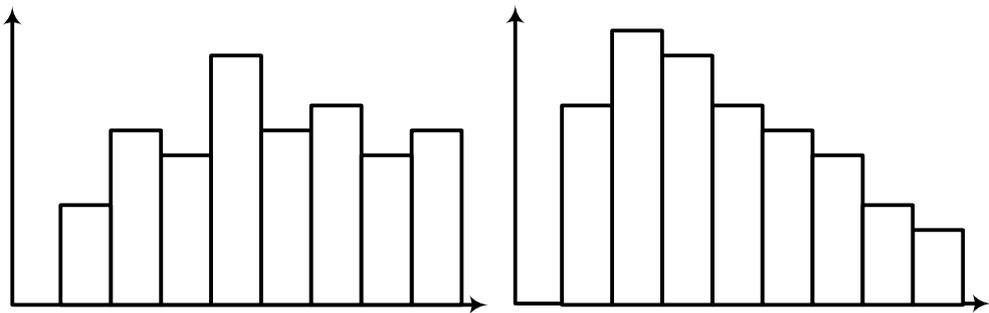
На рис. 4.5 (д) представлено равномерное распределение (гистограмма типа «плато»), оно получается, если рассматривается смесь нескольких распределений, имеющих различные средние. В этом случае для исследования технологического процесса нужно применить метод расслоения.

Гистограмма с изолированным пиком получается при включении данных из другого распределения и при наличии ошибок измерения (рис. 4.5 (е)).



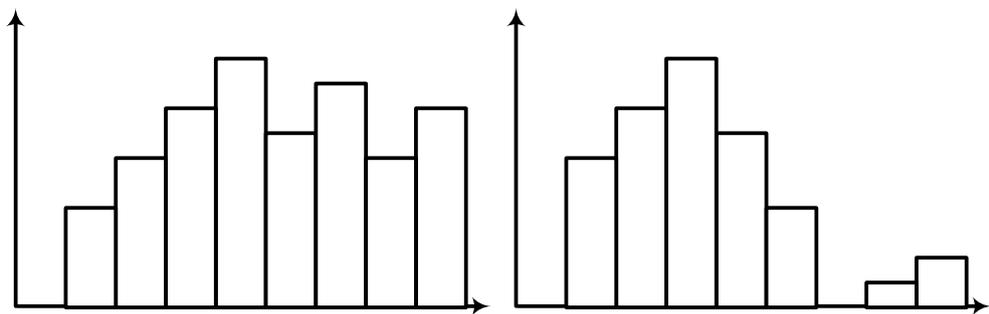
а)

б)



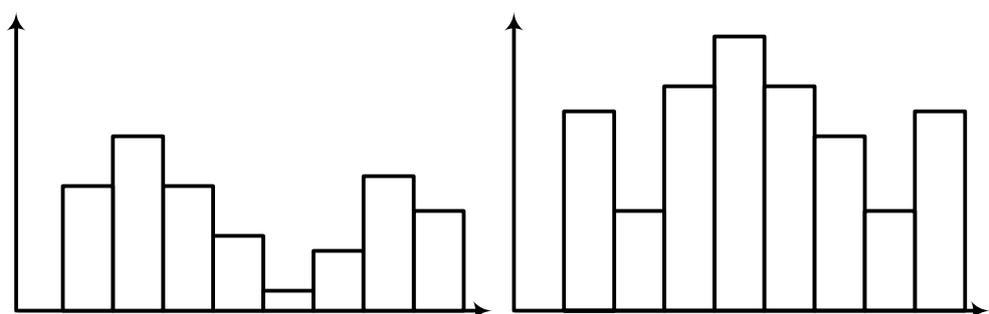
в)

г)



д)

е)



ж)

з)

Рис. 4.5. Виды гистограмм ТП

Двугорбая гистограмма (бимодального типа) представляет собой объединение двух распределений с разными математическими ожиданиями (рис. 4.5 (ж)). Она получается в случае наличия разницы между оборудованием, между двумя операторами. Необходимо устранить причины расслоения.

На рис. 4.5 (з) представлена гистограмма с ненормально высокими краями. Необходимо вмешаться в технологический процесс, чтобы исправить параметры, имеющие отклонения от нормы.

Графические методы представления статистического ряда дают наглядную картину характера распределения параметров качества.

Статистический материал может быть представлен в виде числовых характеристик.

Важнейшей характеристикой положения СВ является средняя арифметическая величина наблюдаемых значений или оценка математического ожидания СВ [13].

Оценка математического ожидания для простой выборки рассчитывается по формуле:

$$\bar{X} = \overline{m_x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i ; \quad (4.10)$$

для сгруппированной выборки:

$$\bar{X} = \overline{m_x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^k x_i \cdot m_i ,$$

где: m_i – число значений в i -й группе;

k – число групп.

Оценка дисперсии для простой выборки производится по формуле:

$$\overline{D_x} = \overline{\sigma_x^2} = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \overline{m_x})^2 ,$$

а для сгруппированной выборки:

$$\overline{D_x} = \overline{\sigma_x^2} = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \overline{m_x})^2 \cdot m_i ,$$

где $\overline{\sigma_x^2}$ – оценка среднеквадратичного отклонения.

Дисперсия и среднее квадратическое отклонение являются характеристиками рассеивания случайной величины.

Статистический ряд характеризуется также медианой и модой случайной величины.

Медиана – это значение параметра, которое делит упорядоченный ряд на две равные по объему группы.

Формулы для вычисления медианы имеют следующий вид – для нечетного числа измерений:

$$Me = x_i + 1 ,$$

для четного числа измерений:

$$Me = \frac{x_i + x_{i+1}}{2} .$$

Модой СВ называется значение параметра, которое наиболее часто встречается в данном ряду.

Отношение оценки среднее квадратическое отклонения $\bar{\sigma}$ к средней арифметической величине называют **коэффициентом вариации** V , который рассчитывается по формуле:

$$V = \frac{\bar{\sigma}}{\bar{x}} \cdot 100\% .$$

Коэффициент вариации используется как статистическая характеристика рассеивания.

Затем можно произвести оценку совпадения теоретического распределения с экспериментальными данными по различным критериям.

4.8. Критерии согласия Пирсона- χ^2 , Колмогорова

При использовании критерия согласия **Пирсона** (критерия χ^2) определяется мера расхождения по формуле [19]:

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^n \frac{(\Delta q_i - N \cdot p_i)^2}{N \cdot p_i} ,$$

где: n – число интервалов статистического ряда;

Δq_i – число отказов на i -м интервале;

N – число измерений.

Для применения критерия Пирсона необходимо, чтобы:

$$N \geq 50 \dots 60, \quad n \geq 6 \dots 8 .$$

Распределение χ^2 зависит от числа степеней свободы, вычисляемого по формуле:

$$k = n - l - 1 ,$$

где l – число вычисляемых параметров теоретического распределения.

По таблице Приложения II для определенных значений χ^2 и k находят вероятность P того факта, что за счет действия случайных факторов мера расхождения теоретического и экспериментального распределений будет не меньше, чем фактическое значение χ^2 . Если:

$$P > 0,1 ,$$

то считают, что теоретическое распределение не противоречит экспериментальным данным.

Для применения критерия согласия **Колмогорова** необходимо, чтобы:

$$N \geq 40 \dots 50 ,$$

и были известны вид теоретической функции распределения и все значения параметров. При этом группирование статистических данных в интервалы не требуется.

По критерию согласия Колмогорова теоретическое распределение не противоречит экспериментальным данным, если выполняется условие:

$$D\sqrt{N} \leq 1 ,$$

где D – максимальное значение модуля отклонения теоретической функции распределения от экспериментальной:

$$D = \max_i \left| p_i - p_{i \text{ теор}} \right| .$$

По другой методике: можно рассчитать параметр Колмогорова, характеризующий отклонение теоретического распределения от экспериментального λ :

$$\lambda = \left(\sqrt{n} + 0,12 + \frac{0,11}{\sqrt{n}} \right) \cdot D ,$$

Далее по таблице 4.2 определяется $\lambda_{\text{табл}}$ для заданной вероятности Q. Гипотеза о согласии принимается с заданной вероятностью, если:

$$\lambda < \lambda_{\text{табл}} .$$

Таблица 4.2.

Таблица критерия Колмогорова

Q	0,85	0,90	0,95	0,99
λ	1,14	1,22	1,36	1,63

4.9. Критерий Стьюдента

Критерий Стьюдента (t-критерий):

1. Применяется в случае испытаний высоконадежных ТС, когда отказы могут возникнуть с небольшой вероятностью или они вообще не фиксируются [19]. Тогда производится интервальная оценка параметров распределения, при которой интерес представляет граница доверительного интервала, внутри которого с доверительной вероятностью $(1 - \alpha)$ находится истинное значение соответствующего параметра. Критерий Стьюдента имеет место при показательном распределении СВ (при $k > 100$) и при усеченном нормальном распределении.

Число степеней свободы вычисляется по формуле:

$$k = N - 1 ,$$

где N – число измерений.

Тогда нижняя и верхняя границы доверительного интервала будут вычисляться по формулам, соответственно:

$$X_H = \overline{m}_x - z_\alpha \frac{\sigma}{\sqrt{N}} ,$$

$$X_B = \overline{m}_x + z_\alpha \frac{\sigma}{\sqrt{N}} ,$$

\overline{m}_x – математическое ожидание СВ, вычисляемое по формуле (4.10);

z_α – квантили распределения Стьюдента, которые находятся, например, из Приложения III по известным α и k ; доверительная вероятность при этом равна:

$$p = 1 - \frac{\alpha}{2}, \quad \alpha + \alpha_1 = 1 ;$$

среднеквадратическое отклонение вычисляется по формуле:

$$D = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (x_i - \overline{m}_x)^2, \quad \sigma = \sqrt{D} .$$

2. Критерий Стьюдента позволяет найти вероятность или проверить гипотезу о том, что оба средних значения в двух выборках относятся к одной и той же совокупности.

При использовании критерия возможны две задачи:

- проверка гипотезы о равенстве генеральных средних двух независимых, несвязанных выборок (так называемый двухвыборочный t-критерий). В этом случае имеется контрольная группа и экспериментальная (опытная) группа, объемы выборок могут быть различны;
- проверка гипотезы о средних с использованием так называемого парного t-критерия. Выборки при этом называются зависимыми, связанными.

В случае независимых выборок:

$$t_{расч} = \left| \frac{\overline{x} - \overline{y}}{\sigma_{xy}} \right| ,$$

где $\overline{x}, \overline{y}$ – средние арифметические в экспериментальной и контрольной выборках;

σ_{xy} – ошибка разности средних арифметических, вычисляемая по формуле:

$$\sigma_{xy} = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \overline{x})^2 + \sum (y_i - \overline{y})^2}{N_1 + N_2 - 2} \left(\frac{1}{N_1} + \frac{1}{N_2} \right)} ,$$

где N_1, N_2 – размер первой и второй выборки.

Число степеней свободы определяется по формуле:

$$k = N_1 + N_2 - 2 .$$

При $N_1 = N_2$:

$$\sigma_{xy} = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2 + \sum (y_i - \bar{y})^2}{N(N-1)}} ,$$

и число степеней свободы:

$$k = 2N - 2 .$$

Затем определяется табличное значение t-критерия Стьюдента для рассчитанного числа степеней свободы и допустимого риска (см., например, Приложение III) и сравнивается с $t_{расч}$. При выполнении условия:

$$t_{расч} < t_{табл} ,$$

начальная гипотеза принимается с требуемым уровнем значимости. В противном случае принимается альтернативная гипотеза.

Пример (а)

Даны две выборки для тестового параметра ЭС: экспериментальная и контрольная (табл. 4.3). Условимся, что увеличение значения параметра приводит к росту качества ЭС. Проверить гипотезу о единстве совокупности при допущении риска ошибочного суждения в пяти случаях из ста.

Таблица 4.3.

Исходные данные

Выборка	
Экспериментальная	Теоретическая (контрольная)
0,12 0,14 0,13 0,15 0,09 0,18 0,14	0,13 0,09 0,10 0,11 0,08 0,12 0,07
0,11 0,15 0,13 0,14 0,12 0,10 0,12	

Из таблицы 4.3 находим:

$$N_1 = 14 ,$$

$$N_2 = 7 .$$

Средние арифметические равны:

$$\bar{x} = 0,13 ,$$

$$\bar{y} = 0,1 .$$

Так как $N_1 \neq N_2$, то:

$$\sigma_{xy} = \sqrt{\frac{0,0068 + 0,0028}{14 + 7 - 2} \left(\frac{1}{14} + \frac{1}{7} \right)} = 0,010405 .$$

Число степеней свободы:

$$k = 14 + 7 - 2 = 19 .$$

Определим $t_{расч}$:

$$t_{расч} = \frac{0,13 - 0,1}{0,010405} = 2,883 .$$

Уровень значимости определен заданием на уровне 5% или 0,05, следовательно, с вероятностью $\alpha_1=0,95$ (или с доверительной вероятностью $p=0,975$) находим по Приложению III значение критерия Стьюдента:

$$t_{табл} = 2,093 .$$

Так как условие:

$$t_{расч} < t_{табл}$$

не выполнено, следовательно, качество выборки по параметру, измеренному в результате эксперимента хуже значений в контрольной партии. Или, другими словами, на 5% уровне начальная гипотеза отклоняется и принимается альтернативная.

В случае зависимых (парных) выборок с равным числом измерений вычисления осуществляются проще.

Вычисляется $t_{расч}$ по формуле:

$$t_{расч} = \frac{\bar{d}}{S_d} ,$$

где:

$$\bar{d} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N d_i ,$$

$$d_i = x_i - y_i ,$$

а S_d вычисляется по формуле:

$$S_d = \sqrt{\frac{\sum d_i^2 - \frac{(\sum d_i)^2}{N}}{N(N-1)}} .$$

В этом случае число степеней свободы определяется по формуле:

$$k = N - 1 .$$

Аналогично предыдущим рассуждениям, если условие:

$$t_{расч} < t_{табл}$$

выполнено, то изначальная гипотеза принимается, в противном случае принимается альтернативная.

Пример (б)

Студенты, обучающиеся на кафедре Проектирования компьютерных систем, были направлены на производственную практику на одно из предприятий. До и после практики среди студентов было проведено тестирование. В результате оценки полученных знаний была составлена таблица 4.4. Необходимо оценить эффективность проведенной производственной практики. Уровень значимости тот же, что и в предыдущем примере.

Таблица 4.4.

Данные по тестированию

Студент	Оценка по 100-балльной шкале	
	До практики	После практики
Антонов	72	73
Борисов	90	93
Бондарев	63	65
Бочкин	55	59
Боровин	32	62
Воронин	65	70
Васильев	75	79
Вовкин	86	91
Васюков	60	63
Волков	45	47
Горин	58	59

Из таблицы 4.4 находим:

$$N = 11 ,$$

$$d = \{ 1, 3, 2, 4, 30, 5, 4, 5, 3, 2, 1 \} .$$

Рассчитываем:

$$\bar{d} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N d_i = \frac{1}{11} \cdot 60 = 5,4545 ,$$

$$S_d = \sqrt{\frac{\sum d_i^2 - \frac{(\sum d_i)^2}{N}}{N(N-1)}} =$$
$$= \sqrt{\frac{1010 - 60 \cdot 60 / 11}{11(11-1)}} = 2,4913 ,$$

$$t_{расч} = \frac{\bar{d}}{S_d} = \frac{5,4545}{2,4913} = 2,1894 ,$$

$$k = N - 1 = 11 - 1 = 10.$$

С вероятностью $\alpha_1=0,95$ (с доверительной вероятностью $p=0,975$) находим по Приложению III значение критерия Стьюдента для 10 степеней свободы:

$$t_{табл} = 2,228 .$$

Так как условие:

$$t_{расч} < t_{табл}$$

выполнено, то изначальная гипотеза о том, что практика эффективна, принимается.

4.10. Критерий Фишера

Критерий Фишера служит для сравнения величин выборочных дисперсий двух независимых выборок. Для вычисления $F_{расч}$ ищется отношение дисперсий двух выборок:

$$F_{расч} = \begin{cases} \frac{\sigma_X^2}{\sigma_Y^2} & \text{при } \sigma_X^2 > \sigma_Y^2 \\ \frac{\sigma_Y^2}{\sigma_X^2} & \text{, при } \sigma_X^2 < \sigma_Y^2 \end{cases} .$$

Следовательно, свойством критерия Фишера будет:

$$F_{расч} \geq 1 .$$

Число степеней свободы для первой выборки, величина дисперсии которой больше, определяется по формуле:

$$k_1 = N_1 - 1 ,$$

а для второй, стоящей в знаменателе, аналогично:

$$k_2 = N_2 - 1 .$$

По Приложению IV находится критическое значение критерия Фишера по известным значениям: k_1 , откладываемым на верхней строке таблицы и k_2 , – по левому столбцу таблицы.

При выполнении условия:

$$F_{расч} > F_{табл}$$

нулевая гипотеза (о сходстве) принимается, в противном случае она отвергается и принимается альтернативная.

Пример

В группах 4155 и 4156, т.е. одного и того же курса, проводилось тестирование для оценки промежуточных знаний. Средние показатели у этих групп получились схожие. Необходимо определить: есть ли различия в степени однородности показателей развития между группами. Результаты тестирования представлены в таблице 4.5.

Таблица 4.5.

Данные по тестированию промежуточных знаний

Студент	Оценка по 100-балльной шкале	
	Группа 4155	Группа 4156
Антонов	62	73
Борисов	90	83
Бондарев	69	65
Бочкин	75	59
Боровин	82	62
Воронин	65	70
Васильев	75	86
Вовкин	56	73
Васюков	63	63
Волков	56	51
Горин	58	68
Гарин	68	74
Запольский	58	66
Ильин	52	56
Иванов	63	59

Рассчитаем средние и дисперсии для каждой из выборок:

$$\bar{x} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i = \frac{1}{15} \cdot 992 = 66,1333 \text{ ,}$$

$$\bar{y} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N y_i = \frac{1}{15} \cdot 1008 = 67,2 \text{ ,}$$

$$\sigma_x^2 = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2 =$$

$$= \frac{1}{15-1} \cdot 1565,7333 = 111,8381 \text{ ,}$$

$$\sigma_y^2 = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (y_i - \bar{y})^2 = \frac{1}{15-1} \cdot 1298,4 = 92,7429 \text{ .}$$

Критерий Фишера равен:

$$F_{расч} = \frac{111,8381}{92,7429} = 1,206.$$

По таблице Приложения IV для:

$$k_1 = k_2 = 15 - 1 = 14 ,$$

находим $F_{табл}$ для уровня значимости 0,05:

$$F_{табл} = 2,46 .$$

Видно, что условие:

$$F_{расч} > F_{табл}$$

не выполняется, следовательно, степень однородности по оценкам у исследуемых групп различна.

4.11. Диаграммы рассеивания

При анализе и регулировании ТП часто возникает необходимость выявления зависимостей между отдельными показателями процесса. Например, при обработке резанием очень важно знать зависимость сил резания от величины подачи или оценить зависимость обрабатываемости материалов от их механических свойств. Для изучения зависимостей между двумя переменными на практике применяют так называемые **диаграммы рассеивания** [20]. Эти переменные могут быть: как зависимы, так и независимы друг от друга. Для выявления связи между ними, прежде всего, надо построить диаграмму рассеивания.

Для построения диаграммы рассеивания необходимо выполнить следующие действия.

Этап 1 – собрать парные данные (x, y), между которыми необходимо исследовать зависимость. Рекомендуется не менее 30 пар данных.

Этап 2 – найти максимальное и минимальное значения для x и y. Выбрать шкалы на горизонтальной и вертикальной оси так, чтобы обе длины рабочих частей шкал были приблизительно одинаковы. Если одна переменная – фактор, а другая – характеристика качества, то выбрать для фактора горизонтальную ось, а для характеристики – вертикальную.

Этап 3 – начертить на листе бумаги график и нанести на него данные измерений. Если встречаются одинаковые значения пар, то необходимо нанести вторую точку рядом с первой.

Этап 4 – нанести на графике обозначения координат (x, y) или названия переменных, а также численные значения величин (см. рис. 4.6).

Как интерпретировать диаграммы рассеивания.

В зависимости от расположения точек в поле рассеивания можно предварительно проанализировать характер зависимости между переменными. Если точки выстраиваются на условной наклонной линии снизу вверх, то можно сказать, что имеется положительная зависимость (корреляция) (рис. 4.6 (а)), если точки

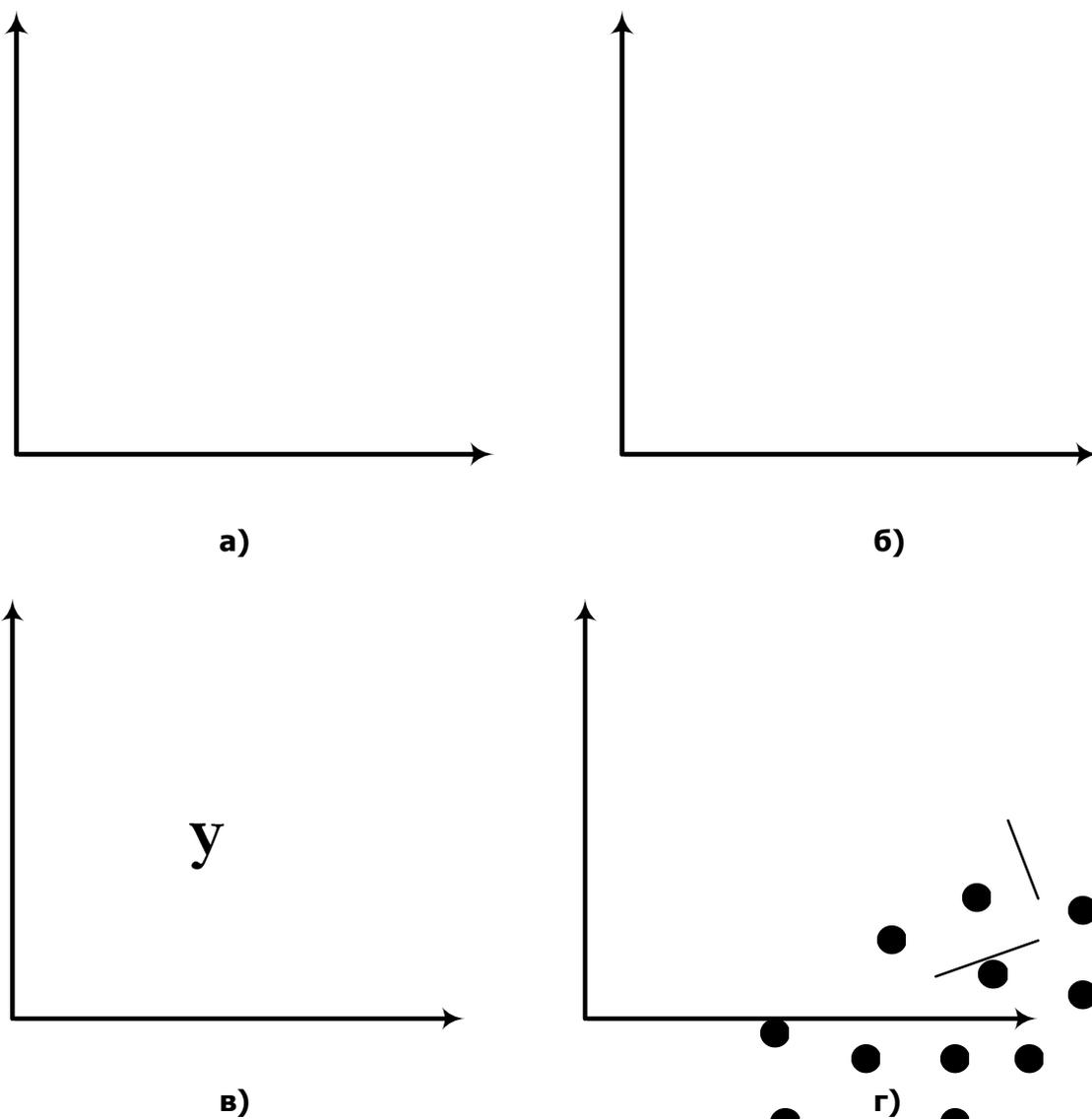


Рис. 4.6. Примеры диаграмм рассеивания

выстраиваются по линии сверху вниз, то говорят об отрицательной корреляции (рис. 4.6 (б)). Если на глаз невозможно определить корреляцию (рис. 4.6 (в)), то зависимость между двумя переменными, скорее всего, отсутствует.

Возможно наличие на графике точек, стоящих в стороне от основного массива данных (рис.4.6 (г)). Это может быть вызвано как ошибками измерения или описками в записи, так и случайными выбросами, которые можно не учитывать в анализе корреляции.

Наглядная оценка диаграммы носит, как было сказано, предварительный характер. Для более точной оценки зависимости проводится математическая обработка массива парных данных, которая дает численное значение **коэффициента корреляции**: r . Математический метод определения корреляции между анализируемыми параметрами называется **корреляционным анализом**.

Математическое определение уравнения зависимости между переменными параметрами называется **регрессионным анализом**.

Коэффициент корреляции вычисляется по формуле:

$$r_{xy} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{n \sigma_x \sigma_y}, \quad (4.11)$$

где: \bar{x}, \bar{y} – математические ожидания параметров x и y ; n – объем выборки; σ_x, σ_y – среднеквадратичные отклонения параметров x и y .

Коэффициент корреляции принимает значения в диапазоне:
 $-1 < r < 1$.

При $|r|$, близком к 1 (0,8...0,95), имеет место сильная корреляция. При $|r|$, близком к 0 (0,05...0,2), корреляция отсутствует. Можно уверенно считать, что корреляция существует при коэффициенте корреляции $|r|$ больше 0,6.

Для независимых случайных величин коэффициент корреляции равен нулю. Такие величины называют **некоррелированными**.

Если коэффициент корреляции $|r| \approx 0,5$, то необходимо проверить его на значимость по формуле:

$$H_p = |r| \sqrt{n-1}, \quad (4.12)$$

где: H_p – расчетная значимость.

Значения табличной значимости H_T при различных вероятностях представлены в таблице 4.6. Затем проводят сравнение:

$$H_p > H_T ,$$

и, если оно выполняется, то это означает, что коэффициент корреляции значим.

Таблица 4.6.

Значения табличной значимости

P	N					
	10	20	30	40	80	100
0,90	1,65	1,65	1,65	1,65	1,66	1,66
0,95	1,90	1,95	1,95	1,95	1,95	1,96
0,99	2,30	2,45	2,50	2,50	2,55	2,58

Коэффициент корреляции характеризует не всякую, а только линейную зависимость. Эта зависимость может быть представлена в виде уравнения линии регрессии, т. е. уравнением прямой линии, вдоль которой располагаются точки корреляционного поля:

$$y = a + bx , \quad (4.13)$$

где y – среднее значение параметра y_i ; a и b – параметры уравнения регрессии.

Параметр b в уравнении называют **коэффициентом регрессии**. Он равен:

$$b = \frac{\Delta y}{\Delta x} .$$

Линию регрессии можно провести, используя метод «натянутой нити», так чтобы число точек сверху и снизу линии регрессии было примерно одинаковое.

При известном значении коэффициента корреляции коэффициент регрессии рассчитывается по следующей формуле:

$$b = r_{xy} \cdot \frac{\sigma_y}{\sigma_x} .$$

Величина коэффициента регрессии может быть определена по методу наименьшей суммы квадратов:

$$b = \frac{n \sum_{i=1}^n x_i y_i - \sum_{i=1}^n x_i \sum_{i=1}^n y_i}{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - \sum_{i=1}^n x_i \sum_{i=1}^n y_i},$$

где n – число экспериментальных точек.

Значение параметра a уравнения регрессии (4.13) при известном b можно определить из выражения:

$$a = \frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^n y_i - b \cdot \sum_{i=1}^n x_i \right) = \bar{y} - b \cdot \bar{x},$$

где: \bar{x} , \bar{y} – средние арифметические отклонения параметров x и y .

Диаграмму разброса часто называют **полем корреляции**. С помощью диаграмм разброса удобно наблюдать характер изменения параметров качества во времени при воздействии различных факторов.

В этом случае на оси абсцисс откладывают начальные значения контролируемого параметра:

$$x_1, x_2, \dots, x_n (t = 0),$$

а по оси ординат значения параметра качества через время $t = t_1$:

$$y_1, y_2, \dots, y_n.$$

Эта совокупность точек образует диаграмму разброса (поле корреляции).

Проведем из начала координат биссектрису. Если все точки лягут на биссектрису, то это означает, что значения данного параметра не изменялись в процессе эксперимента. Следовательно, исследуемый фактор (или факторы) не влияют на параметры качества.

Если основная масса точек лежит под биссектрисой, то это значит, что значение параметра качества за прошедшее время уменьшались.

Если же точки лежат выше биссектрисы, то значения параметра за рассматриваемое время возросли.

С помощью диаграмм разброса можно выяснить, имеется ли между двумя рассматриваемыми параметрами корреляционная связь, и определить вид этой связи.

На рис. 4.7, приведен пример криволинейной корреляции. Если при этом диаграмму разброса можно разделить на участки, имеющие

прямолинейный характер, то проводят такое разделение и исследуют каждый участок в отдельности как прямолинейную корреляцию.

Степень корреляционной связи x и y в этом случае может быть оценена не с помощью коэффициента корреляции, а с помощью корреляционного отношения.

На практике часто применяют более простой метод оценки степени корреляционной связи – **метод медиан**. На диаграмме разброса (см. рис. 4.8) проводится вертикальная линия медианы и горизонтальная линия медианы.

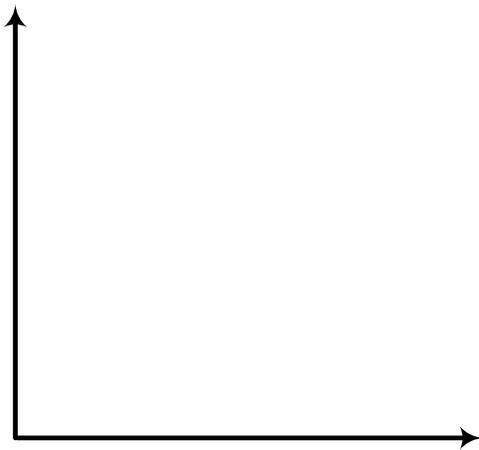


Рис. 4.7. Пример криволинейной корреляции

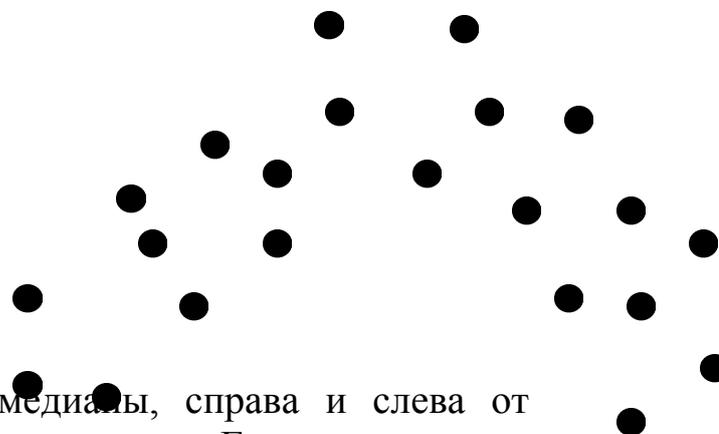
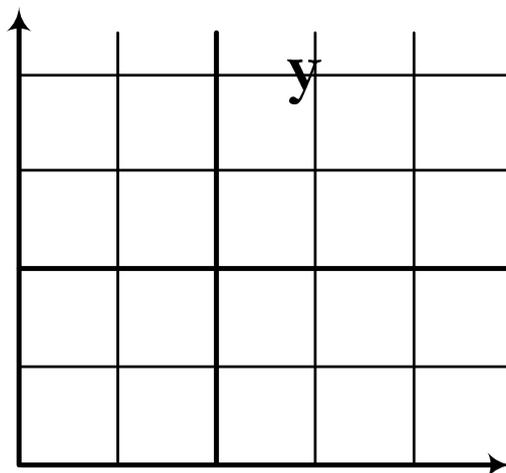


Рис. 4.8. Диаграмма разброса с медианами

Выше и ниже горизонтальной медианы, справа и слева от вертикальной медианы будет равное число точек. Если полученные при измерениях значения расположить в возрастающем или

убывающим порядке, то медианой будет значение Me , занимающее среднее значение в ряду.

В каждом из четырех квадратов (рис. 4.8), получившихся в результате деления диаграммы разброса вертикальной и горизонтальной медианами, подсчитывают число точек и обозначают как: n_1, n_2, n_3, n_4 . Точки, через которые прошла медиана, не учитываются.

Отдельно складывают точки в положительных и отрицательных квадратах:

$$n_+ = n_1 + n_3,$$

$$n_- = n_2 + n_4,$$

$$n = n_+ + n_- + nMe,$$

где nMe – точки, которые лежат на медианах.

Для определения наличия и степени корреляции по методу медиан используют специальные таблицы кодовых значений для определенного значения риска α (см. Приложение I). Сравнивая меньшее из чисел n_+ и n_- с кодовым значением, соответствующим значению n_1 , делают заключение о наличии и характере корреляции. Если меньшее из чисел n_+ и n_- оказывается равным или меньше табличного кодового значения, то корреляционная зависимость имеет место.

Если $n_+ > n_-$, то имеет место прямая корреляция, если $n_+ < n_-$, то можно говорить об обратной корреляции.

Иногда случайно проявляется сильная корреляция, которая не подкрепляется вовсе, или подкрепляется слишком слабой причинно-следственной зависимостью между ними. Корреляция такого рода называется **ложной корреляцией**. Даже если коэффициент корреляции высок, это совсем не обязательно указывает на причинно-следственную связь.

Вместе с этим следует отметить, что если у исследователя есть уверенность в наличии корреляции, а диаграмма рассеивания это не показывает, то целесообразно дополнительно проанализировать собранную информацию на возможность расслоения данных измерения. Возможно, при сборе информации одна из переменных имеет дополнительный стратифицирующий фактор. Например, при определении зависимости силы резания от величины подачи не учли,

что обрабатываемые заготовки были изготовлены не из одного материала, а из разных.

4.12. Распределения случайной величины

Вероятностные распределения СВ происходят из универсального или общего биномиального распределения [21].

Биноминальное распределение

Математическое ожидание биномиального распределения определяется:

$$M = N \cdot p ,$$

среднеквадратическое отклонение СВ:

$$\sigma = \sqrt{N \cdot p \cdot (1 - p)} ,$$

дисперсия:

$$D = \sigma^2 = N \cdot p \cdot (1 - p) .$$

Биноминальное распределение выглядит следующим образом (например, как на рис. 4.9) и показывает, что вероятность появления какого-то события больше вероятности того, что оно не произойдет,

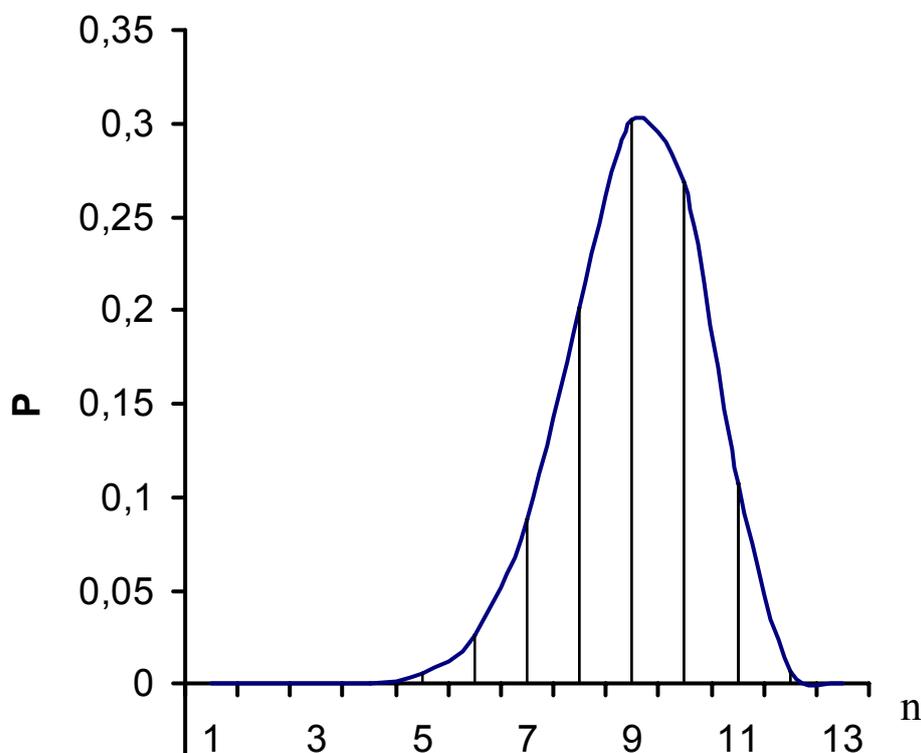


Рис. 4.9. Характер кривой биномиального распределения

(или наоборот, тогда график на рис. 4.9 будет смещен влево).

Нормальное распределение

Еще называется гауссовским распределением. Является частным случаем биномиального распределения и отражает тот факт, что какое-то событие может произойти, а может и нет с равной вероятностью. То есть можно записать, что:

$$p \approx 1 - p = q .$$

Следовательно,

$$p \approx \frac{1}{2} ; M \approx \frac{N}{2} .$$

График нормального распределения показан на рис. 4.10.

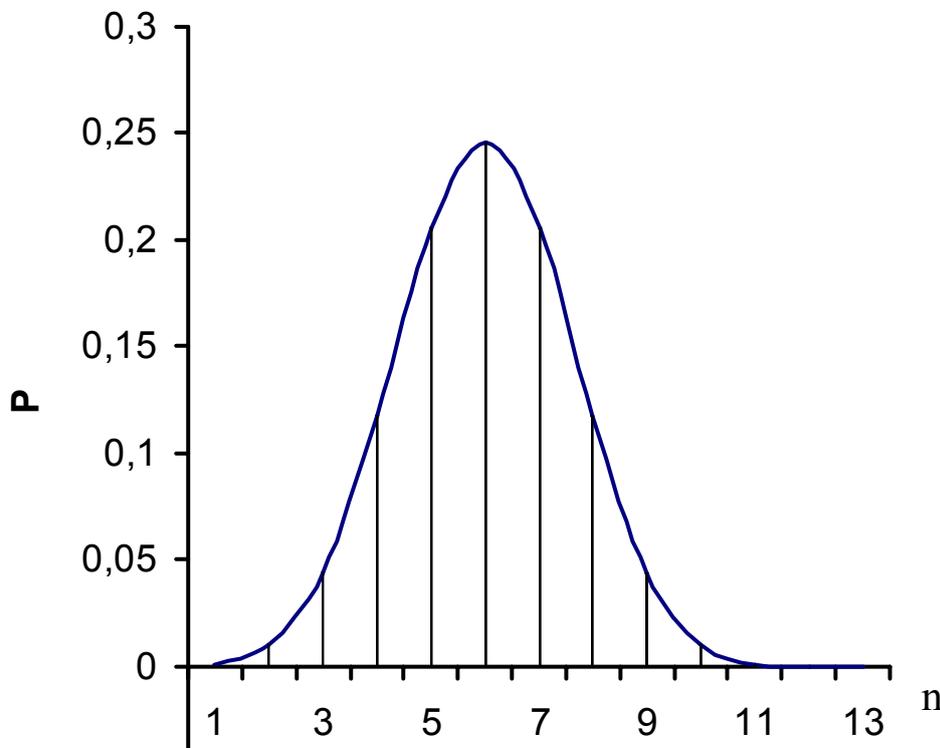


Рис. 4.10. Характер кривой нормального распределения

Распределение Пуассона

Это частный случай биномиального распределения при условии:

$$p \rightarrow 0 ,$$

т.е. распределение Пуассона справедливо для маловероятных событий (см. рис. 4.11).

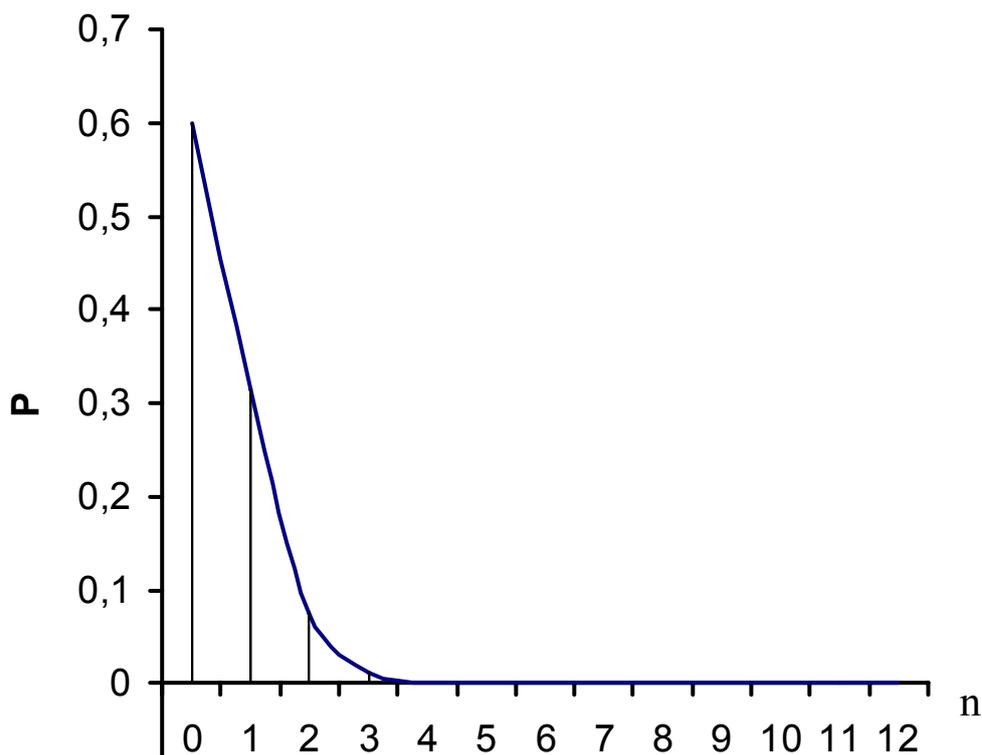


Рис. 4.11. Характер кривой распределения Пуассона

4.13. Контрольные листы

Контрольный лист (или листок) – инструмент для сбора данных и автоматического их упорядочения для облегчения дальнейшего использования собранной информации.

Контрольный лист – это бумажный бланк, на котором заранее напечатаны контролируемые параметры, с тем, чтобы можно было легко и точно записывать данные измерений.

Существует большое количество видов контрольных листов:

- контрольный листок для регистрации видов дефектов;
- контрольный листок причин дефектов;
- контрольный листок для регистрации распределения измеряемого параметра;
- контрольный листок локализации дефектов, и др.

Для каждой конкретной цели может быть разработан свой контрольный листок.

Контрольный листок причин дефектов позволяет выявить причины дефектов, получить необходимую информацию о дефектах, допущенных не только по вине рабочего или причине плохой наладки

станка, но и определить появление брака, вызванное изменением условий работы, усталостью.

Контрольный листок, например, локализации дефектов, позволяет оценить качество продукции вдоль осей, сторон изделия, по наружной и внутренней поверхности и т.п., а контрольный листок для регистрации распределения измеряемого параметра позволяет выявить изменения в размерах детали после проведения механической обработки.

4.14. Методы расслаивания (стратификации) данных

В соответствии с этим методом производят расслаивание статистических данных, т. е. данные группируют в зависимости от условий их получения, и обработку каждой группы данных производят в отдельности. Данные, разделенные на группы в соответствии с их особенностями, называют слоями (**стратами**), а сам процесс разделения на слои (страты) – **расслаиванием (стратификацией)**.

Существуют различные методы расслаивания, но на практике часто используется метод **5M**, учитывающий факторы, зависящие от человека (man), машины (machine), материала (material), метода (method) и измерения (measurement).

Расслаивание осуществляют следующим образом:

- расслаивание по исполнителям – по квалификации, стажу работы; смене и т. д.;
- расслаивание по машинам и оборудованию – по марке, по выпускающей фирме, по конструкции и т. д.;
- расслаивание по материалу – по месту производства, партии, качеству сырья и т. д.;
- расслаивание по способу производства (по методу) – по технологическому приему, месту производства и т. д.

В процессе расслаивания должны соблюдаться следующие условия:

- различия между значениями случайной величины внутри слоя (дисперсия) должны быть как можно меньше по сравнению с различием ее значений в нерасслоенной исходной совокупности;
- различия между слоями (различия между средними значениями случайной величины слоев) должны быть как можно больше.

4.15. Контрольные карты

Контрольные карты – инструмент, позволяющий отслеживать ход протекания процесса и воздействовать на него, предупреждая его отклонения от предъявленных к процессу требований [17].

Впервые контрольные карты были предложены в 1924 году У.Шухартом (США) с намерением отделить вариации параметров ТП, которые обусловлены определенными причинами, от тех, которые вызваны случайными причинами.

Пример контрольной карты приведен на рис. 4.12. Она представляет собой карту средних арифметических значений \bar{X} и размахов R.

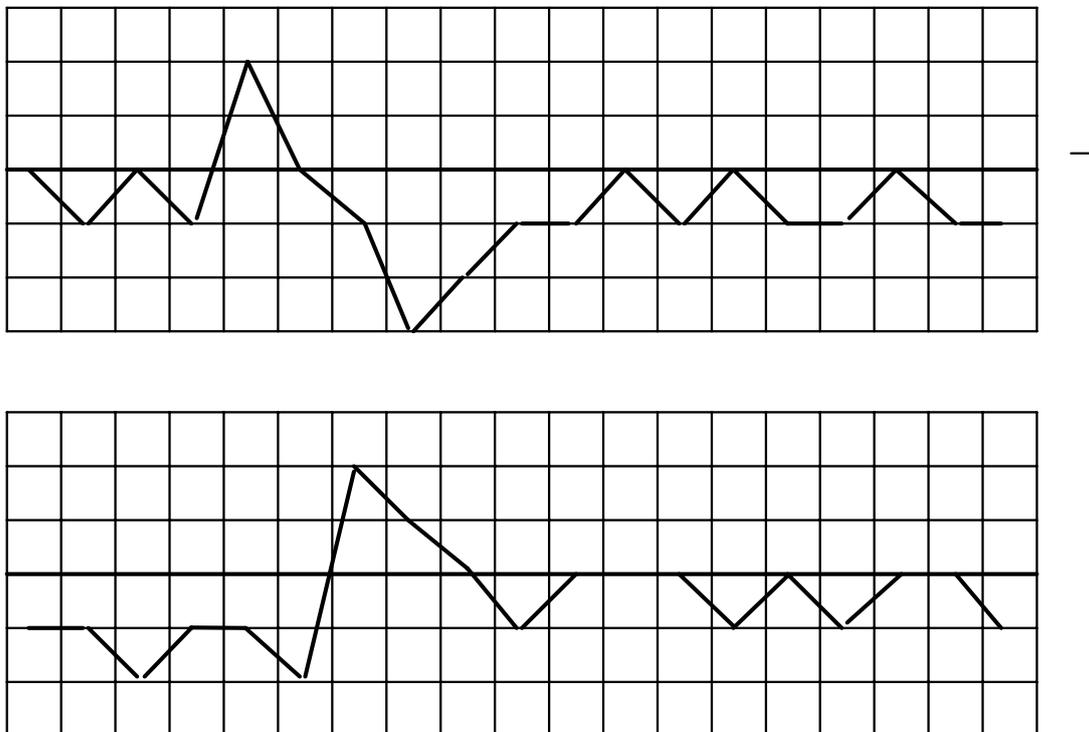


Рис. 4.12. Пример контрольной карты типа \bar{X} -R

При построении контрольной карты по оси ординат откладывают значение контролируемого параметра, а по оси абсцисс номер выборки или время ее взятия.

Всякая контрольная карта состоит из трех линий.

Центральная линия – это среднее значение контролируемого параметра, например, для карты на рис. 4.12 – это \bar{X} и R. Две другие линии – верхний контрольный предел T_B и нижний контрольный предел T_H . Эти линии представляют собой максимально допустимые пределы изменений контролируемых параметров.

Если все точки, соответствующие выборочным средним контролируемого параметра и его рассеяния, полученные по результатам контроля выборок, лежат внутри контрольных пределов, то процесс рассматривается как контролируемый. Если же точки выйдут за контрольные пределы, то процесс считается вышедшим из-под контроля.

Существует семь видов контрольных карт:

- средних арифметических и размахов ($\bar{X} - R$);
- медиан и размахов (Me-R);
- индивидуальных значений (x);
- доли дефектной продукции (P);
- числа дефектных единиц продукции (pn);
- числа дефектов (c);
- числа дефектов на единицу продукции.

Существуют контрольные карты для непрерывных случайных величин и контрольные карты для дискретных случайных величин.

Метод средних арифметических значений и размахов применяется для изделий серийного и массового производства. Значения показателей должны быть распределены по нормальному (гауссовскому) закону распределения.

Размах варьирования R определяется по формуле (4.7).

Метод средних арифметических значений и размахов применяется для ТП с высокими требованиями к точности, а также для продукции, связанной с обеспечением безопасности потребителя (авиационная промышленность). Объем выборок составляет 3...10 шт.

Периодичность отбора выборок зависит от производительности и стабильности ТП и составляет 1...2 часа.

Размах варьирования R содержит информацию о рассеянии показателя качества, т. е. о точности ТП.

Контрольная карта состоит из двух диаграмм: диаграммы средних арифметических значений (рис 4.12 вверху) и размахов (рис. 4.12 внизу).

На диаграмму по вертикали наносят значение показателя качества \bar{x}_i – среднее арифметическое значение показателя качества в i -й выборке, которое содержит информацию об уровне настроенности процесса, а по горизонтали – дату, смену, номера выборок.

На диаграмму наносят верхний T_V и нижний T_H контрольные пределы.

Диаграмма размахов располагается ниже диаграммы средних арифметических значений.

Для размахов нижний технический допуск $T_{HR}=0$.

Технологический процесс протекает удовлетворительно, если среднее арифметическое значение \bar{x}_i в выборках не выходит за пределы T_B и T_H , а размах R_i – за пределы T_{BR} .

Линия, соединяющая точки средних арифметических значений выборок, отражает динамику изменения уровня настройки процесса, а линия, соединяющая точки размахов, отражает динамику изменения точности процесса.

Выход точек за контрольные пределы T_B , T_H , T_{BR} сигнализирует о нарушении нормального хода ТП.

Рассмотрим способы вычисления статистических характеристик и построения их на контрольной диаграмме.

Установим значение ординаты центральной линии на диаграмме средних арифметических значений. В общем случае центральная линия имеет ординату, равную математическому ожиданию:

$$m_x = a.$$

При налаженном, устойчивом ТП центральная линия должна иметь ординату a , совпадающую с номинальным значением контролируемого параметра при симметричном поле допуска.

Когда параметр a неизвестен, ордината центральной линии берется равной среднему из выборочных средних за некоторый определенный период:

$$a = \bar{x} = \frac{1}{S} \cdot \sum_{i=1}^S \bar{x}_i,$$

где: S – число выборок; \bar{x} – генеральная средняя; \bar{x}_i – выборочные средние.

Ординаты нижнего и верхнего контрольных пределов определяются по следующим формулам:

$$T_H = a - \frac{t}{\sqrt{n}} \cdot \sigma,$$

$$T_B = a + \frac{t}{\sqrt{n}} \cdot \sigma,$$

где: n – объем выборки;

t – уровень значимости;

σ – оценка среднеквадратичного отклонения, вычисляемая по формуле:

$$\sigma = \frac{1}{l} \sum_{i=1}^l S_i ,$$

где: S_i – оценка средних квадратических отклонений в i -й выборке;
 l – число выборок.

Среднее значение размаха определяется по формуле:

$$\bar{R} = \frac{1}{l} \sum_{i=1}^l R_i ,$$

где R_i – размах варьирования в i -й выборке.

Оно пропорционально среднеквадратичному отклонению σ , т. е.:

$$\bar{R} \approx d_n \cdot \sigma ,$$

где d_n – коэффициент пропорциональности, который выбирается из таблицы 4.7. Ординаты контрольных пределов находятся по формулам:

$$T_H = a - \frac{t}{d_n \sqrt{n}} \cdot \bar{R} ,$$

$$T_B = a + \frac{t}{d_n \sqrt{n}} \cdot \bar{R} .$$

Таблица 4.7.

Значения коэффициента d_n

n	2	3	4	5	6	7	8	9	10
d_n	1,128	1,693	2,059	2,326	2,354	2,704	2,847	2,970	3,078

Размах варьирования определяется:

$$T_{BR} = D_2 \cdot \sigma$$

где D_2 – постоянный коэффициент, выбираемый из таблицы 4.8 в зависимости от объема выборки n .

Таблица 4.8.

Значение коэффициента D_2

n	2	3	4	5	6	7	8	9	10
D_2	3,686	4,358	4,698	4,918	5,078	5,208	5,307	5,394	5,468

Если значение σ неизвестно, то:

$$T_{BR} = \frac{D_2 \cdot \bar{R}}{d_n} .$$

Рассмотрим также построение р-карты. Эта карта применяется в тех случаях, когда показатель качества представлен в виде доли дефектных изделий g_i :

$$g_i = \frac{m_i}{n} \cdot 100\% , \quad (4.14)$$

где m_i – количество дефектных изделий в i -й выборке;
 n – объем выборки.

Значение для средней линии р-карты вычисляется по формуле:

$$\bar{P} = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k g_i , \quad (4.15)$$

где k – число выборок, которое должно быть больше 10.

Границы регулирования находятся по соотношениям:

$$T_B = \bar{P} + 3\sigma_{\bar{g}} , \quad T_H = \bar{P} - 3\sigma_{\bar{g}} , \quad (4.16)$$

$$\sigma_{\bar{g}} = \sqrt{\frac{\bar{P}(1-\bar{P})}{n}} . \quad (4.17)$$

Найденные средняя линия и границы регулирования наносятся на контрольную карту.

Ординатами точек р-карты является доля дефектных изделий g_i , а абсциссами – номера выборок.

Контрольные карты позволяют выявить тенденцию процесса и предупредить выход его из-под контроля. В зависимости от расположения точек на графике можно судить о ходе ТП. Если точки оказываются по одну сторону от средней линии, то такое состояние называется **серией**. Ненормальным протекание ТП считается в случае, когда:

- наблюдается серия из семи точек (см. рис. 4.13);
- число последовательных точек меньше семи, но не менее 10 из 11 (или 12 из 14, или 16 из 20) точек оказываются по одну сторону от центральной линии;

- десять точек из двенадцати находятся по одну сторону от центральной линии (см. рис. 4.13).



Рис. 4.13. Протекание ТП с образованием серии

Если точки образуют непрерывно возрастающую или убывающую кривую, то имеет место **тренд (дрейф)** (рис. 4.14).

Если точки приближаются к контрольным пределам, то нужно провести $\pm 2\sigma$ контрольные пределы (напомним, что контрольные пределы равны $\pm 3\sigma$). Если достаточно часто 2 или 3 точки оказываются за контрольными пределами, то такое состояние ТП рассматривается как ненормальное (рис. 4.15).

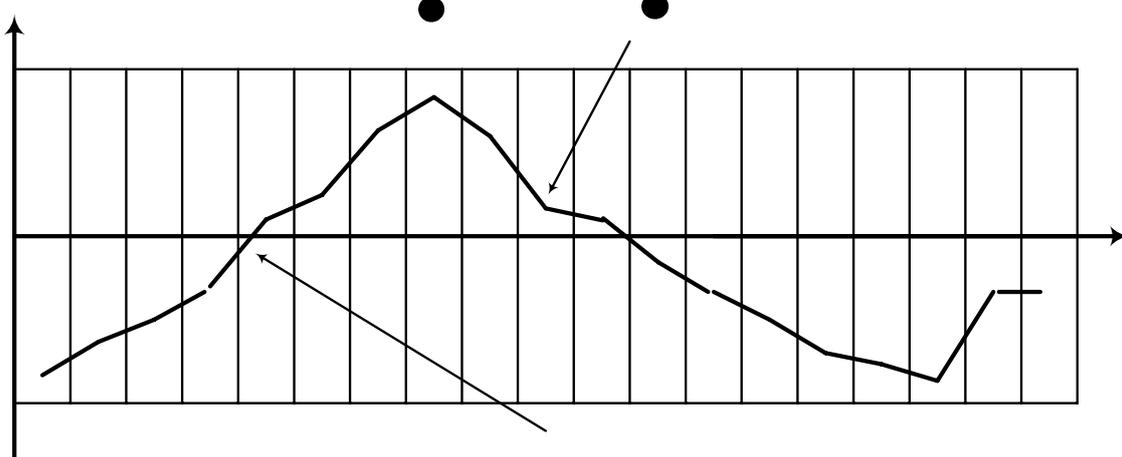


Рис. 4.14. Образование тренда

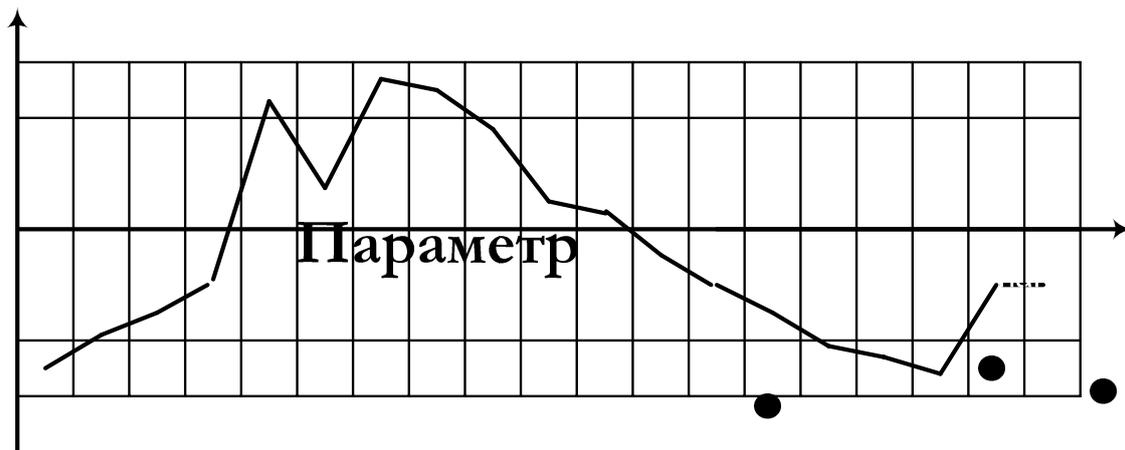


Рис. 4.15. Выход точек ТП за пределы $\pm 2\sigma$

Приближение точек к центральной линии вовсе не означает, что достигнуто контролируемое состояние. Это может означать, что в выборках смешиваются данные из разных распределений. Тогда необходимо изменить способ отбора выборок.

Состояние, когда точки располагаются по кривой, напоминающей синусоиду с примерно одинаковыми интервалами времени, называется **периодичностью**. Такой процесс считается ненормальным (рис. 4.16).

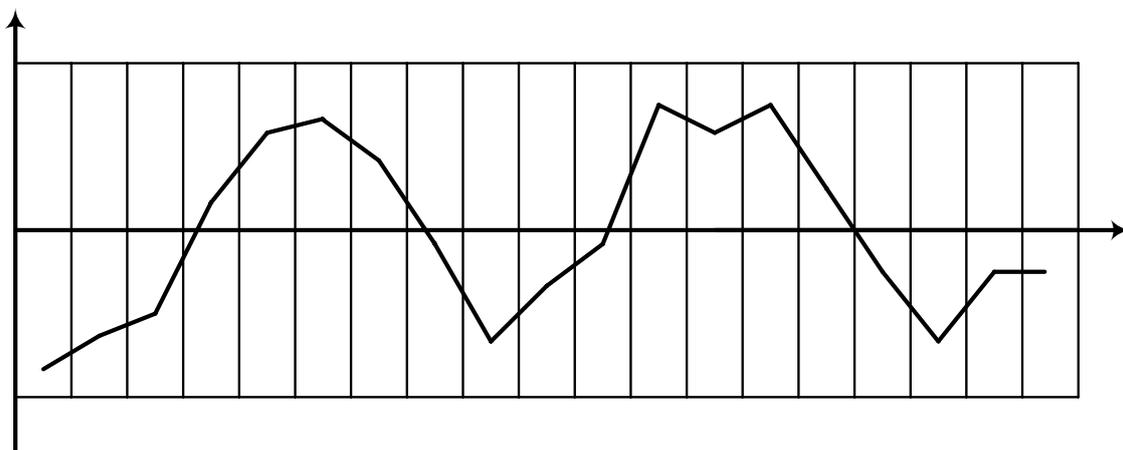


Рис. 4.16. Образование периодичности

Как правило, анализ процесса методом контрольных карт ведется с использованием совместно и метода гистограмм, и метода расслаивания данных.

4.16. Диаграммы Парето

Проблема качества связана с потерями. Это дефектные изделия и затраты, связанные с их производством. Очень важно выяснить картину распределения потерь. Большинство потерь связано с немногочисленными, но существенно важными дефектами. Устранив их, можно устранить почти все потери. Выявление существенно важных дефектов можно осуществить с помощью диаграммы Парето. Для построения диаграммы Парето необходимы следующие данные об изделиях:

- типы дефектов для одного типа изделий;
- число дефектов у выборки изделий;
- число дефектов по каждому признаку;
- накопленный процент.

Далее делается вывод о причинах «немногочисленных серьезных ошибок», приводящих к возникновению основной массы дефектов: более 80%. Остальные 15% «немногочисленные мелкие ошибки» должны быть устранены только после исправления «немногочисленных серьезных ошибок».

Различают два вида диаграмм Парето:

- диаграммы Парето по причинам;
- диаграммы Парето по результатам деятельности.

Диаграммы Парето по причинам отражают проблемы, возникающие в ходе производства, и используются для выявления главных из них:

- **рабочий:** смена, квалификация, индивидуальные характеристики, бригада;
- **оборудование:** станки, инструменты, модели, организация использования;
- **сырье:** изготовитель, вид сырья, завод-поставщик, партия;
- **метод работы:** условия производства, приемы работы, последовательность операций.

Диаграммы Парето по результатам деятельности отражают следующие результаты деятельности:

- **качество:** дефекты, поломки, ошибки, отказы, рекламации, ремонты, возвраты продукции;
- **себестоимость:** объем потерь, затраты;
- **сроки поставок:** нехватка запасов, срыв сроков поставки.

Наблюдая явления с разных точек зрения, составляя различные диаграммы Парето, можно выявить нежелательные существенно важные факторы, что и является целью анализа Парето.

Нежелательно, чтобы группа факторов «прочие» составляла большой процент. Если такое происходит, значит, объекты наблюдения расклассифицированы неправильно, и слишком много объектов попало в одну группу.

Данные можно представлять в денежном выражении. Затраты – важный критерий в управлении качеством.

Из диаграммы Парето, можно сделать также вывод о том, какие дефекты доминируют. Далее необходимо выяснить причины возникновения этих дефектов и разработать мероприятия по их устранению.

4.17. Причинно-следственные диаграммы (диаграмма Исикавы)

Причинно-следственная диаграмма (диаграмма Исикавы) – это диаграмма, которая показывает отношения между показателями качества и воздействующими на них факторами.

Этот метод был предложен в 1953 году профессором Токийского университета Каору Исикавой и был включен в стандарт японской промышленности. Диаграмму причин и результатов называют «рыбий скелет», иногда ее называют «деревом» или диаграммой «речных притоков». На рис. 4.17 изображена структура диаграммы причин и результатов «рыбий скелет».

Причинно-следственная диаграмма позволяет выявить и систематизировать различные факторы и условия (например, исходные материалы, оборудование), оказывающие влияние на показатель качества.

При составлении причинно-следственной диаграммы необходимо подобрать максимальное число факторов, имеющих отношение к исследуемому показателю качества, например, вышедшему за допустимые пределы. Наиболее эффективным методом анализа причин является групповой метод или метод «мозгового штурма».

При составлении причинно-следственной диаграммы необходимо выделить группу «прочие» причины, так как всегда могут оставаться неучтенные факторы.

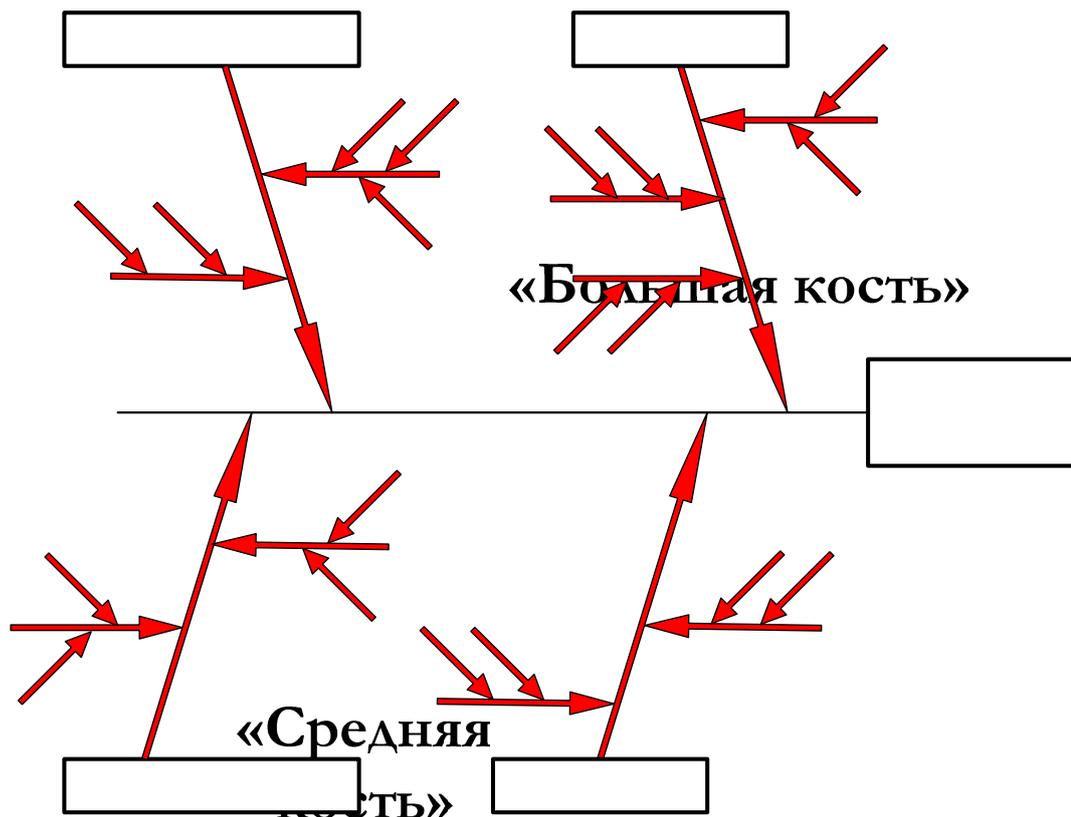


Рис. 4.17. Структура причинно-следственной диаграммы

4.18. Временные ряды «Хребет»

Временной ряд образует совокупность значений анализируемого показателя за несколько последовательных промежутков времени или периодов Δt (см. рис. 4.18).

В результате анализа временных рядов возможно [22, 23]:

- определить природу ряда;
- спрогнозировать будущие значения показателя.

Поэтому, временной ряд широко используется в экономических расчетах при анализе продаж, доходов компании и т.д.

От случайной выборки временной ряд отличается тем, что:

- члены временного ряда не являются независимыми статистически;
- члены временного ряда не одинаково распределены.

Для того чтобы в дальнейшем проанализировать полученные данные, необходимо описать модель ряда, которая будет экстраполировать результаты измерений.

«Большая кость»

«Мелк
КОСТЬ»

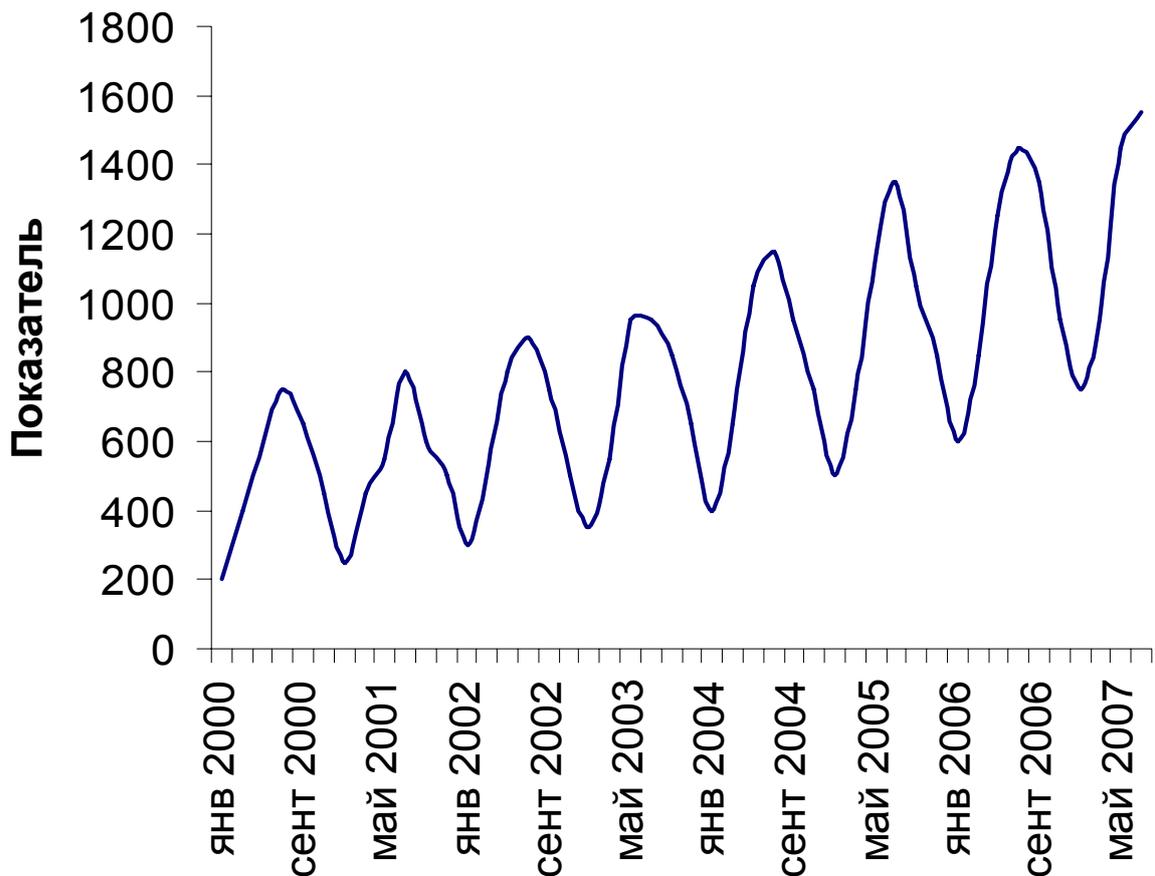


Рис. 4.18. Пример временного ряда

Анализ временного ряда включает следующие этапы:

1. Сглаживание – усреднение данных, при котором уровень несистематических компонент снижается. Одним из таких методов сглаживания является определение скользящего среднего для d соседних членов ряда. Может использоваться среднее арифметическое:

$$\bar{x}_{cp} = \frac{1}{d} \sum_{i=1}^d K_i, \quad (4.18)$$

где d – количество соседних объединенных членов;
или выражения для определения средневзвешенного значения (3.7)-(3.14). Также можно использовать медиану значений, которая с одной стороны, позволяет лучше произвести сглаживание выбросов в измерениях, но с другой стороны: при отсутствии выбросов, кривая приобретает зубчатость и к тому же не позволяет использовать веса. При значительных выбросах используется метод наименьших квадратов или другие методы.

2. Монотонный временной ряд можно представить линейной функцией, аналогично формуле (4.13). Для нелинейных временных рядов необходимо сначала выполнить преобразование данных, используя: экспоненциальное, логарифмическое, полиномиальное и др. или их комбинацию для отдельных участков исследуемой зависимости.

3. Удаление периодических компонент. Т.к. уровни временного ряда содержат трендовую, циклическую, сезонную и случайную составляющие, то все их необходимо определить и построить общую модель временного ряда, используя зависимость:

$$K_{АДД} = \sum_{i=1}^n K_i ,$$

или зависимость:

$$K_{МЛТ} = \prod_{i=1}^n K_i .$$

где K_i – составляющие временного ряда.

В первом случае модель аддитивная, а во втором – мультипликативная.

Если период исследования меньше 5 лет, то циклическую компоненту объединяют с трендом.

От циклической и сезонной компоненты временного ряда избавляются в первую очередь. Периодичность выражается в том, что i -е значение параметра временного ряда похоже на соседнее и на значение, измеренное в тот же момент времени, но в другом году. Поэтому, в периодической зависимости можно выделить корреляционную зависимость определенного порядка k между периодически повторяющимися элементами ряда: i -м и ik -м. Корреляционную зависимость можно оценить с помощью автокорреляции – корреляции между самими членами ряда. Порядок k называют **лагом**, **сдвигом** или **запаздыванием**.

Сезонную компоненту временного ряда (см. рис. 4.19) можно определить с помощью коррелограммы, которая численно и графически характеризует автокорреляционную функцию (зависимость коэффициентов автокорреляции для набора лагов). Автокорреляции последовательных лагов зависимы между собой, т.е. каждый элемент зависит от остальных элементов ряда, поэтому, для удаления периодической составляющей берут разность

соответствующего порядка k для каждого i -го элемента (из каждого i -го элемента вычитают $(i-k)$ -й). Что позволяет:

- определить скрытые периодические составляющие ряда;
- удалением сезонных составляющих преобразовать ряд в стационарный, что полезно при использовании методов спектрального анализа и др.

4. Фильтрация шума позволяет выделить и исключить систематические и случайные ошибки. Методы фильтрации шума позволяют лучше проанализировать регулярную составляющую ряда.

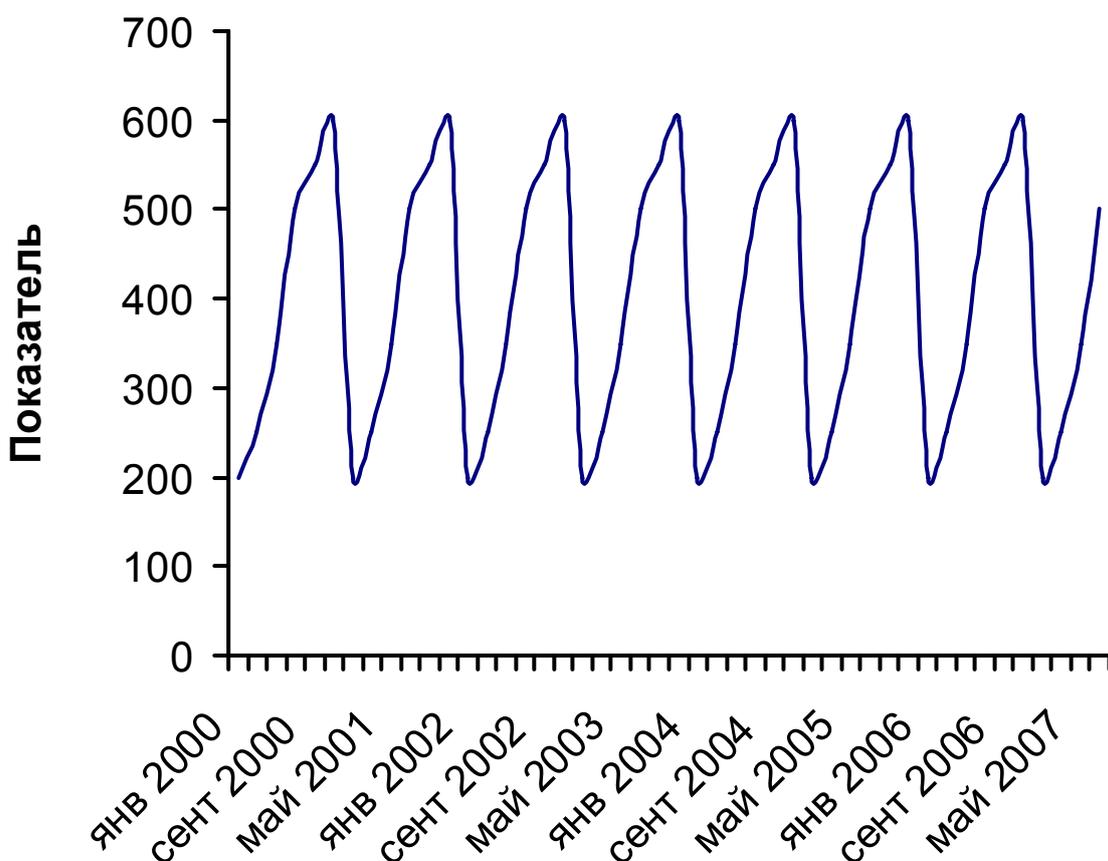


Рис. 4.19. Сезонная компонента временного ряда

Затем, выделяя составляющие уровней временного ряда, можно определить: уравнение тренда, абсолютные и относительные ошибки и т.д.

4.19. Статистический приемочный контроль качества. ГОСТ Р 50779-95

Статистический приемочный контроль качества (ПКК) продукции проводят в целях подтверждения или опровержения верности информации поставщика о соответствии качества контролируемых совокупностей продукции установленным требованиям [24].

Стандарт ГОСТ Р 50779-95 распространяется на:

- контроль поставщика – контроль продукции, проводимый поставщиком или изготовителем для подтверждения достоверности документирование представленной им информации о качестве продукции;
- контроль потребителя – контроль продукции, проводимый потребителем для проверки правильности информации о качестве продукции и результатов контроля поставщика;
- контроль третьей стороны – контроль продукции, проводимый третьей стороной для подтверждения или проверки правильности информации поставщика о качестве продукции и (или) результатов ее контроля.

Данными для принятия решения о соответствии продукции требованиям к ее качеству являются:

- требования к качеству продукции и достоверности принимаемых решений;
- данные выборочного контроля;
- дополнительная информация (тип плана или схемы, исходные требования и т.п.).

План ПКК включает в себя:

- правила и порядок формирования выборок определенных размеров одноступенчатых, многоступенчатых и последовательных процедур;
- правила обработки данных контроля и принятия решений по результатам контроля выборок.

Результаты контроля предыдущих партий являются основой для изменения (корректировки) степени доверия и соответственно рисков потребителя и влияют на принимаемые решения опосредованно – через изменение исходных данных.

Планы ПКК характеризуются рисками потребителя, поставщика или соответствующими уровнями доверия.

Схемы ПКК характеризуются средними по схеме рисками потребителя или средними по схеме рисками поставщика. Таким образом, риски потребителя и поставщика являются характеристиками достоверности решений, принимаемых по результатам ПКК. Указанные характеристики определяют вероятности правильных (верных) и ошибочных решений, принимаемых по результатам ПКК.

Выбор конкретных планов и (или) схем ПКК осуществляет сторона, организующая контроль, при этом она должна обеспечить заданную достоверность решений, затрагивающих интересы другой стороны, а именно:

- при контроле поставщика должно быть обеспечено заданное (нормативное) значение риска потребителя;
- при контроле потребителя должно быть обеспечено заданное (нормативное) значение риска поставщика;
- третья сторона организует контроль по правилам либо поставщика, либо потребителя, обеспечивая соответственно заданные значения рисков потребителя или поставщика.

Потребители имеют право изменять нормативные значения рисков и средних по схеме рисков потребителя при контроле поставщика или соответствующих уровней доверия в диапазонах, указанных в стандарте, в зависимости от степени их доверия к информации поставщика о качестве продукции. При высокой степени доверия они могут увеличивать риски вплоть до величин, означающих переход к приемке продукции без проведения контроля поставщиком.

Выбираемые планы и схемы ПКК продукции должны соответствовать требованиям к их достоверности, которые задаются одним из способов:

1. Ограничением на риск потребителя (нормативное значение – не более при контроле поставщика в виде нормативного значения риска потребителя β_0) и ограничением на риск поставщика при контроле потребителя (в виде нормативного значения риска поставщика α_0).

2. Ограничения на уровни доверия (γ, ν) при использовании поставщиком и потребителем в правилах принятия решений доверительных границ (интервалов, множеств) на групповые показатели качества продукции. Понятно, что при этом требования к групповым показателям качества совокупности продукции должны быть установлены.

Для второго способа выбирают планы, исходя из своих собственных целей, возможностей и критериев оптимальности, соблюдая следующие правила принятия решений:

- при контроле поставщика:
 - решение о соответствии совокупности продукции требованиям к ее качеству принимают, если доверительный интервал (односторонний или двусторонний) или доверительное множество включены в интервал (множество) требуемых значений групповых показателей качества;
 - решение о несоответствии совокупности продукции требованиям к ее качеству принимают, если хотя бы одна точка доверительного интервала (множества) находится вне интервала (множества) требуемых значений групповых показателей качества;
- при контроле потребителя:
 - решение о соответствии принимают, если хотя бы одна точка доверительного интервала (множества) оказывается внутри требований к групповому показателю качества;
 - решение о несоответствии принимают, если все точки доверительного интервала (множества) оказываются вне требований к групповому показателю качества.

Правила принятия решений иллюстрируют рисунки 4.20 и 4.21. На рис. 4.20 представлены правила, соответствующие двусторонним требованиям к групповому показателю качества; на рис. 4.21 – правила, соответствующие групповому показателю в виде процента несоответствующих единиц продукции, – пример односторонних требований. На рисунке 4.21 использованы следующие параметры:

$Q_{\text{норм}}$ – нормативное значение группового показателя качества продукции;

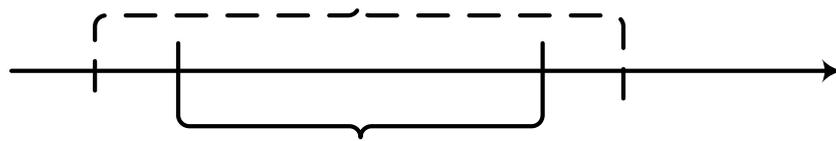
q – групповой показатель качества в виде процента несоответствующих единиц продукции;

$q_{\text{н}}$ и $q_{\text{в}}$ – нижняя и верхняя доверительная граница уровня v процента несоответствующих единиц продукции, построенная по результатам контроля потребителя.

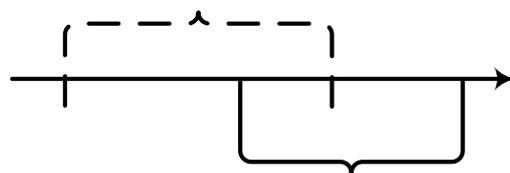
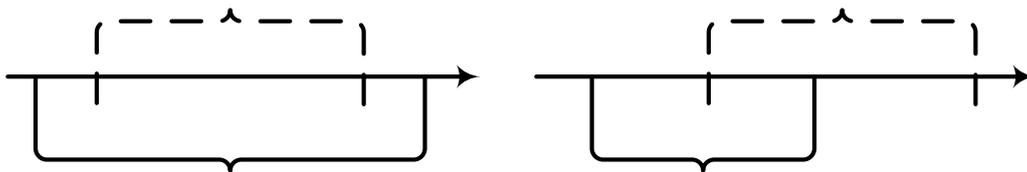
При контроле поставщика риск потребителя равен:

$$\beta = 1 - \gamma,$$

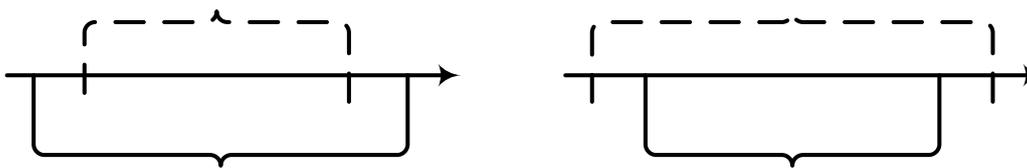
где γ – уровень доверия, используемый при построении доверительного интервала (множества) по результатам контроля поставщика, и при контроле потребителя – риск поставщика:



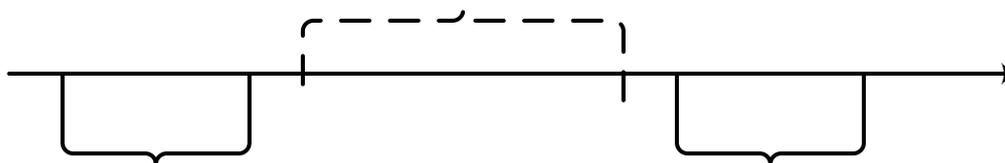
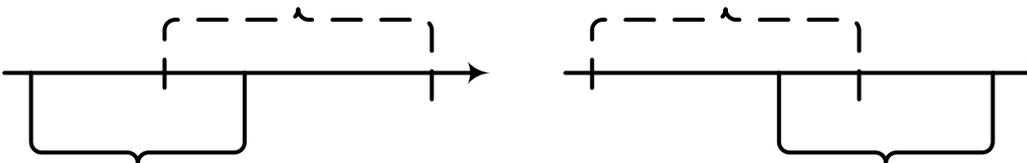
Соответствие



Несоответствие^{а)}



**Показат
качества**



б)

Рис. 4.20. Принятие решения на соответствие при контроле (а) – поставщика и (б) – потребителя; - - - - границы требуемых значений группового показателя качества; ——— доверительный интервал, полученный по результатам контроля качества

Соответствие

**Показател
качества**

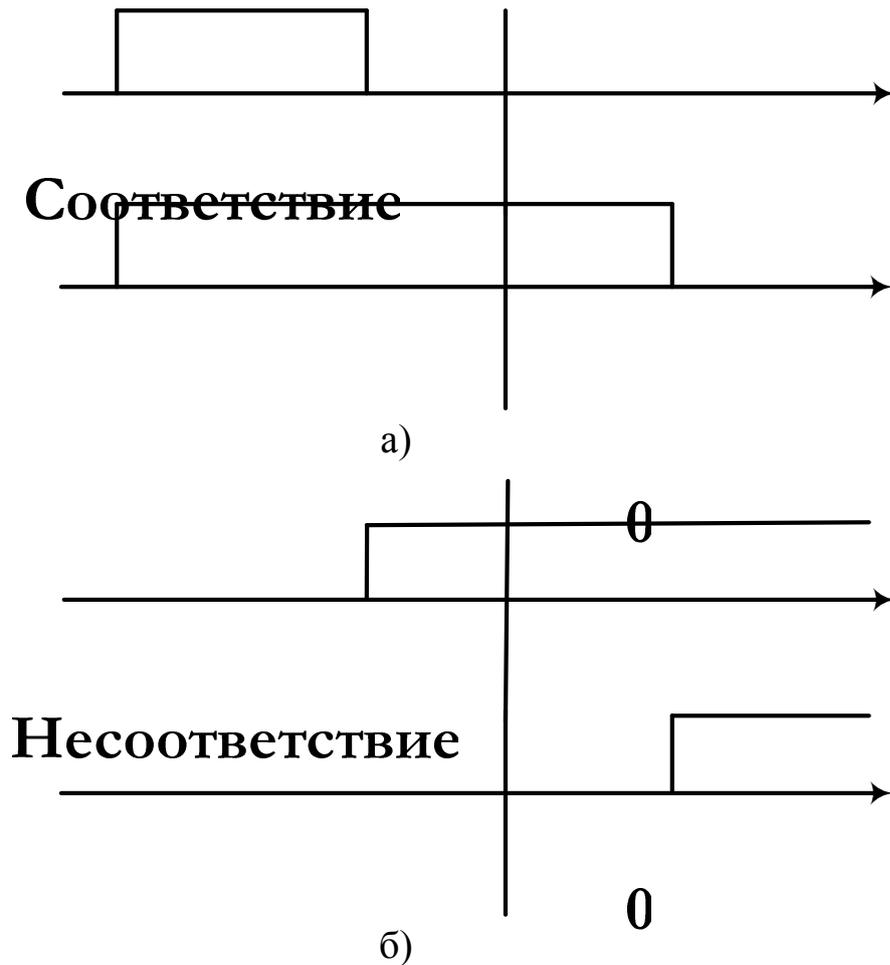


Рис. 4.21. Принятие решения при контроле (а) – поставщика и (б) – потребителя для односторонних требований к групповому показателю качества

$\alpha = 1 - v$ **Соответствие**
 где v – уровень доверия, соответственно используемый при обработке данных контроля поставщика и потребителя.

Нормативные значения риска поставщика при контроле β_0 устанавливаются потребителем из диапазона $[0, 1; \dots; 1, 0]$ в зависимости от степени доверия к информации поставщика о качестве продукции. Чем выше доверие, тем большее значение β_0 может установить потребитель. Верхнее значение $\beta_0 = 1$ соответствует приемке без контроля поставщика, по доверию.

В противном случае поставщик должен проводить контроль продукции дифференцированно в соответствии со значениями рисков, установленными конкретными потребителями.

Несоответствие

Нормативное значение риска поставщика при контроле потребителя, третьей стороны α_0 должно быть установлено в стандартах и (или) договорах из ряда 0,01; 0,05; 0,10 и изменению в процессе проведения потребителем процедур контроля не подлежит. Если значения α_0 специально для данной продукции не указаны, то следует использовать $\alpha_0 = 0,05$.

При заключении договоров на поставку изготовитель (поставщик) должен указать ссылку на соответствующую методику контроля. По требованию потребителя изготовитель (поставщик) обязан ознакомить потребителя с методикой контроля или приложить ее к договору. Аналогично потребитель или третья сторона, при предъявлении поставщику претензий к качеству продукции, обязаны, по требованию поставщика, предоставить ему методики контроля.

При наличии методик контроля, имеющих статус международных, межгосударственных или государственных стандартов, при их прямом применении для выбора планов и схем контроля необходимо в договорах или технических условиях указывать ссылки на эти стандарты.

В ГОСТ Р 50779-95 устанавливается, что партии или другие совокупности продукции должны иметь показатели качества (групповые показатели) и нормы на них (нормативные значения показателей), позволяющие разделить партии, совокупности продукции на две категории: соответствующие требованиям к их качеству (доброкачественные) и несоответствующие (недоброкачественные).

Данные показатели и нормы не зависят от конкретных планов и схем контроля.

Нормативные значения показателей качества ($Q_{\text{норм}}$) должны быть установлены в договорной (контрактной) или нормативной документации по стандартизации. Они являются основой для регулирования отношений между сторонами, конкретные формы которых определяются контрактами и (или) законодательством.

При установлении нормативного значения группового показателя качества, например в виде уровня несоответствий, поставщик тем самым заявляет о выполнении всех экономически целесообразных и технически возможных мер по обеспечению качества продукции и гарантирует качество партии не хуже, чем он в одностороннем порядке или по согласованию с потребителем указал в документации.

Его ответственность за невыполнение требований к качеству партий при поставках потребителю или выпуске продукции в сферу обращения определяется контрактами и законодательством.

При установлении нормативного значения уровня несоответствий поставщик в одностороннем порядке или по согласованию с потребителем (в контракте) может увеличить объемы поставляемых партий за свой счет на определенное количество изделий. Дополнительное количество единиц продукции – «запас количества по качеству» является превентивной компенсацией, осуществляемой поставщиком ввиду невозможности или нецелесообразности уменьшить нормативное значение доли несоответствующих единиц продукции до нуля. Увеличение объемов партий целесообразно для несоответствий критического характера, наличие которых делает практически невозможным использование продукции по назначению.

Для несоответствий других классов целесообразно использовать скидки с оптовых цен пропорционально нормативным значениям долей этих несоответствий.

Для исчисления дополнительного количества единиц продукции – «запаса количества по качеству» рекомендуется использовать формулу:

$$\Delta N = N \cdot q_0 \cdot \beta_0 ,$$

где: ΔN – запас изделий по качеству;

N – объем партии продукции;

q_0 – нормативное значение процента несоответствующих изделий критического характера.

Необходимо отметить, что в соответствии с [24] при поставках дополнительных единиц продукции за свой счет и (или) использовании соответствующих скидок с оптовых цен, поставщик освобождается от ответственности за качество каждой отдельной единицы продукции. Обнаружение таких единиц продукции не дает оснований потребителю для предъявления претензий по данным единицам продукции. Потребитель сохраняет в этих случаях право на предъявление претензий только ко всей партии, если он доказывает, что уровни несоответствий превосходят нормативные значения для определенных классов несоответствий.

Повышение значения риска потребителя приводит к сокращению расходов на контроль и, соответственно, уменьшению себестоимости продукции.

Полученную экономию затрат стороны могут делить в долевым отношении, обусловленном контрактом. Для этого целесообразно использовать скидки с оптовых цен, зависящие от нормативного значения риска потребителя при контроле поставщика.

Понятие «риск потребителя при контроле поставщика» β имеет условный характер и его величина характеризует максимальную вероятность принятия положительного решения по результатам контроля при условии, что качество совокупности, например партии продукции, не соответствует установленным требованиям. Однако сама вероятность поставки партии несоответствующего качества может быть весьма различной. Для поставщика с надежной репутацией, имеющего сертификаты авторитетных организаций на системы качества, эта вероятность невелика. Наоборот, для поставщика, не имеющего таких сертификатов, не владеющего методами управления качеством, неспособного обеспечить стабильность производственных процессов, велика вероятность поставки партии несоответствующего качества.

Потребителя интересует полный риск, который учитывает и вероятность поступления на контроль совокупности продукции несоответствующего качества и вероятность пропуска процедурой контроля такой продукции. В литературе по математической статистике такой риск называется байесовским. Его рассчитывают с учетом априорной информации, т.е. информации, имеющейся в наличии до контроля качества.

Формула, с помощью которой устанавливается связь полного (байесовского) и условного рисков потребителя, приведена ниже.

Потребитель, изучив характер поставок партий продукции данным поставщиком, в том числе стабильность качества, учитывая результаты сертификации системы обеспечения качества продукции поставщика, аттестации производств и другие факторы, может оценить априорную вероятность поступления на статистический ПКК поставщика партии продукции, не соответствующей требованию к ее качеству следующим образом:

$$P(q > q_0) , \tag{4.19}$$

где $P(q > q_0)$ – вероятность невыполнения требования к групповому показателю качества (q – например, уровень несоответствий);

q_0 – нормативное значение группового показателя качества;

q – ожидаемое фактическое значение группового показателя качества.

Тогда полный (байесовский) риск потребителя β_σ удовлетворяет неравенству:

$$\beta_\sigma < \beta \cdot P(q > q_0) , \quad (4.20)$$

Если значение $P(q > q_0)$ существенно меньше 1, например, не превосходит 0,1, потребитель может повысить значение риска β , сохранив при этом достаточно малое значение полного риска потребителя β_σ .

В случае ориентации потребителя на некоторую допустимую вероятность β_δ принятия решения о соответствии для совокупности, не соответствующей требованию к ее качеству (например, $\beta_\delta = 0,01$ или $\beta_\delta = 0,05$), он может определять значение β_0 по формуле:

$$\beta_0 = \begin{cases} \beta_\delta / P(q > q_0), & \text{если } \beta_\delta / P(q > q_0) < 1 \\ 1, & \text{если } \beta_\delta / P(q > q_0) > 1 \end{cases} , \quad (4.21)$$

Аналогичное отношение имеет место для непрерывного статистического контроля. Все приведенные соотношения с точностью до знака неравенства справедливы для любого группового показателя качества.

Определенное на основе (4.19) значение β_0 выражает доверие потребителя к качеству поставляемой продукции. При возрастании β_0 , что означает увеличение доверия потребителя, существенно сокращаются объемы контроля и соответствующие затраты на его проведение.

При использовании схем статистического ПКК с переключением на планы контроля различной жесткости потребитель (третья сторона) может устанавливать ограничение на средний по схеме риск потребителя, пользуясь следующей формулой:

$$\beta_{0c} = \begin{cases} \beta_{c\delta} / P(q > q_0), & \text{если } \beta_{c\delta} / P(q > q_0) < 1 \\ 1, & \text{если } \beta_{c\delta} / P(q > q_0) > 1 \end{cases} , \quad (4.22)$$

где β_{0c} – ограничение на средний по схеме риск потребителя при контроле поставщика – вероятность принять партию с $q = q_0$;

$\beta_{c\sigma}$ – средний по схеме полный (байесовский) риск потребителя, допустимый с точки зрения потребителя (третьей стороны).

Оценка априорной вероятности поступления партии продукции низкого качества проводится по следующей методике.

Методика оценки априорной вероятности поступления партии продукции низкого качества $P(q > q_0)$ является внутренним делом потребителя (третьей стороны). Она может быть, в частности, основана только на экспертной оценке лица, осуществляющего назначение β_0 , или на любой другой оценке.

Допускается по договоренности изготовителя и потребителя назначать β_0 как функцию от информации изготовителя о фактическом уровне качества продукции. В частности, β_0 может быть функцией приемочного уровня q_α , назначаемого в одностороннем порядке изготовителем:

$$\beta_0 = f(q_\alpha) . \quad (4.23)$$

Вид зависимости (4.23) при этом должен быть согласован между изготовителем и потребителем.

Допускается также устанавливать зависимость β_0 от результатов аттестации производств и сертификации систем качества. При положительных результатах аттестации производств и (или) сертификации систем качества не рекомендуется назначать β_0 ниже значения 0,5 (см. таблицы 4.4 и 4.5 степеней доверия).

В зависимости от степени доверия потребителя (см. табл. 4.4), которые определяются видом и количеством априорной информации о поставщике, назначаются β_0 , β_{0c} .

Данная таблица может быть основой для выбора β_0 , β_{0c} потребителем, хотя потребитель и поставщик или только потребитель, а также третья сторона вправе устанавливать собственные методики и соответствующие правила назначения β_0 .

Настоящий стандарт [24] рекомендует использовать ряды значений:

$$\beta_0 = \beta_{0c} ,$$

приведенные в таблицах 4.9 или 4.10.

Таблица 4.9.

Значения риска потребителя в зависимости от семи степеней доверия к поставщику продукции

Обозначение	Степень доверия	Нормативное значение риска потребителя β_0
1	2	3
T1	Требование сплошного контроля продукции перед поставкой потребителю	0
T2	Отсутствие надежной информации о возможностях поставщика обеспечить требуемое качество или информация о низком качестве его поставок, отрицательные отзывы других потребителей	0,1
T3	Отсутствие сертификата на продукцию и систему обеспечения качества, отсутствие собственного опыта заказов у данного поставщика, отсутствие процедур статистического управления технологическими процессами, но при учете косвенной положительной информации от других потребителей или обществ потребителей	0,25
T4	Отсутствие у поставщика сертификата на систему обеспечения качества, но при наличии сертификата на продукцию и продолжительного периода поставок продукции удовлетворительного качества, положительная оценка системы качества самим потребителем, внедрение статистического управления технологическими процессами на отдельных этапах производства	0,5
T5	Наличие сертификата на систему обеспечения качества по ГОСТ 40.9003, применение поставщиком процедур статистического управления технологическими процессами, долговременные поставки высококачественной продукции и т. д.	0,75

Продолжение таблицы 4.9

1	2	3
T6	Наличие у поставщика сертификата на систему обеспечения качества по ГОСТ 40.9001 или ГОСТ 40.9002, применение поставщиком процедур статистического управления технологическими процессами, положительный опыт собственных заказов у данного поставщика и т. п.	0,9
T7	Наличие у поставщика сертификата на систему обеспечения качества по ГОСТ 40.9001, сертификата на производство, безупречная репутация поставщика, применение поставщиком процедур статистического регулирования технологических процессов, длительный период поставки продукции без претензий и т. п.	1,0 поставка готовой продукции без контроля поставщика

Таблица 4.10.

Значения риска потребителя в зависимости от десяти степеней доверия к поставщику продукции

Обозначение степени доверия	Нормативное значение риска потребителя β_0
T1	0
T2	0,1
T3	0,25
T4	0,5
T5	0,6
T6	0,7
T7	0,8
T8	0,9
T9	0,95
T10	1,0

Таблица 4.9. имеет семь степеней доверия, а таблица 4.10 – десять степеней, при этом нижнее крайнее значение степеней доверия этих таблиц соответствует сплошному контролю, а верхнее – переходу к приемке без контроля, по доверию.

Характеристики, определяющие ту или иную степень доверия в таблице 4.9, устанавливаются потребителем в собственной нормативной документации. Они могут носить более индивидуальный характер из-за большей детальности, чем в таблице 4.9 и не стандартизованы.

Расширенная таблица 4.10 позволяет более точно оценивать доверие к поставщику.

Для пояснения методики статистического контроля качества по альтернативному признаку приведем примеры.

Пример 1 – контроль поставщика

Часовой завод производит механические наручные часы первого класса, которые поставляет на торговую базу (оптовому потребителю) партиями объемом 2120 шт. В договоре поставки установлен показатель качества партии часов – уровень несоответствий по единичному показателю «продолжительность действия от полностью заведенной пружины». Нормативный уровень этого группового показателя качества продукции $q_0=2,7\%$. В договоре установлено также минимальное нормативное значение риска потребителя при контроле поставщика $\beta_0=0,1$. Потребитель к моменту заключения договора не имеет надежной информации о поставщике и качестве поставляемой продукции и поэтому устанавливает $\beta_0=0,1$.

Изготовитель (поставщик) принимает решение использовать одноступенчатые планы статистического ПКК по альтернативному признаку. Для выбора конкретных планов он применяет стандарт предприятия «Статистический ПКК механических наручных часов по альтернативному признаку». Стандарт предприятия позволяет получить множество допустимых планов для значений β_0 , установленных настоящим стандартом. В частности, для $\beta_0=0,1$, $q_0=2,7\%$ допустимыми являются планы:

$n = 85;$	$A = 0;$
$n = 140;$	$A = 1;$
$n = 191;$	$A = 2;$
$n = 239;$	$A = 3;$
$n = 286;$	$A = 4;$
$n = 331;$	$A = 5$ и т. д.

где: n – объем выборки; A – приемочное число.

Изготовитель анализирует оперативные характеристики этих планов контроля. Он рассчитывает таким образом, чтобы его собственный риск не превышал 0,05, т. е. вероятность приемки

партии была не ниже 0,95. Эта вероятность должна быть определена при фактическом уровне несоответствий. Полученная изготовителем оценка фактического уровня несоответствий составляет 0,6%. Она используется в качестве приемочного уровня несоответствий q_α . Из приведенного множества допустимых планов вероятность приемки не ниже 0,95 при $q_\alpha = 0,6\%$ обеспечивают планы контроля с приемочными числами 3 и более. Из них изготовитель выбирает наименее трудоемкий план:

$$n = 239; \quad A = 3,$$

который обеспечивает вероятность приемки $P = 0,9503$ при $q_\alpha = 0,6\%$.

В результате контроля 239 заведенных часов только у одних часов продолжительность действия оказалась меньше нормативной, поэтому партия может быть поставлена потребителю, а несоответствующее изделие должно быть заменено годным.

Пример 2 – контроль потребителя

Оптовая торговая организация проводит контроль качества партии из 2120 механических наручных часов первого класса на соответствие требованию к групповому показателю качества – уровню несоответствий по единичному показателю «продолжительность действия от полностью заведенной пружины».

Нормативный уровень этого группового показателя качества $q_0 = 2,7\%$, значение риска поставщика при контроле потребителя и инспектирующих органов установлено $\alpha_0 = 0,05$.

Организация-потребитель использует для статистического ПКК одноступенчатые планы контроля, применяя для выбора плана контроля сертифицированный пакет прикладных программ. В частности, выбор конкретного плана осуществляется на основе предположения о том, что фактический уровень несоответствий $q_\beta = 8,0\%$ и приемлемым является риск потребителя $\beta_0 = 0,20$. Тогда оптимальный по минимуму объема выборки план контроля следующий:

$$n = 73; \quad A = 4,$$

Этот план обеспечивает поставщику защиту от необоснованного возврата партии часов: вероятность отклонения партии, обладающей нормативным уровнем $q_0 = 2,7\%$, менее значения $\alpha_0 = 0,05$. При этом

данный план будет отклонять партию часов с предполагаемым уровнем несоответствий $q_\beta = 8,0\%$ с вероятностью не менее $1 - \beta = 0,80$.

В результате контроля 73 заведенных часов продолжительность действия у одного экземпляра часов оказалась меньше нормативной. Это не превышает приемочного числа $A = 4$, поэтому оснований для возврата партии часовому заводу нет.

Пример 3 (а) – контроль поставщика при увеличении риска потребителя

Потребитель через региональный центр стандартизации, сертификации и метрологии (ЦСМ) провел оценку системы качества на часовом заводе. Принято решение, что система качества соответствует требованиям ГОСТ 40.9002. Учитывая это, а также историю качества поставок, потребитель оценил вероятность поставки партий часов с $q > q_0$. Оценка этой вероятности равна 0,1. Исходя из полного риска $\beta_0 = 0,05$, он установил значение своего риска $\beta_0 = 0,5$, которое должен использовать поставщик при приемочном статистическом контроле.

Допустимыми планами контроля поставщика при этом для партий часов объемом 2120 шт. с $q_0 = 2,7\%$ являются следующие:

$n = 26;$	$A = 0;$
$n = 63;$	$A = 1;$
$n = 100;$	$A = 2;$
$n = 136;$	$A = 3$ и т. д.

Изготовитель, зная, что фактический уровень несоответствий его часов не превосходит 0,6% и ориентируясь на приемку с вероятностью не ниже $1 - \alpha = 0,95$, выбирает план:

$$n = 63; \quad A = 1,$$

который обеспечивает вероятность приемки $P=0,9501$ при $q=0,6\%$.

По сравнению с первоначальным планом контроля $n=239$, $A=3$ затраты на приемочный контроль снижаются на 62%, что составляет снижение себестоимости продукции на 3%. В соответствии с договором на поставку поставщик снижает оптовую цену на 1,5%, а оставшиеся 1,5% экономии должны быть включены в прибыль поставщика.

Пример 3 (б)

В течение года потребитель не зарегистрировал ни одного случая поставки партии часов с уровнем несоответствий выше нормативного.

Поставщик получил сертификат соответствия своей системы ГОСТ 40.4001 от организации, аккредитованной национальным органом по сертификации.

С учетом всей этой информации потребитель отказался от систематического входного контроля, перешел к инспекционной форме контроля системы качества у поставщика и установил для контроля поставщика $\beta_0 = 0,9$.

В соответствии с этим изменился план контроля поставщика:

$$n = 4; \quad A = 0.$$

Данный план позволил сократить затраты на контроль по сравнению с первоначальным планом ($n = 239$; $A = 3$) на 98%, а себестоимость продукции – на 5%. Эта экономия в соответствии с договором делится поровну: поставщик увеличивает свою прибыль на 2,5%, а оптовая цена поставок снижается также на 2,5%.

4.20. Внедрение статистических методов на производстве

Методы статистики – наиболее важная часть системы качества в фирме. В японских корпорациях все, начиная с председателя Совета директоров и до рядового рабочего в цехе, обязаны знать хотя бы основы статистических методов [25]. В настоящее время статистические методы обеспечения качества широко применяются в США, Японии, Великобритании, Германии, Франции, Италии, Голландии, Дании и других странах.

Несмотря на всемирную известность представителей отечественной школы математической статистики (А.И. Колмогорова, Н.В. Смирнова, А.Я. Хинчина, Я.Б. Шора и др.), Россия пока отстает от промышленно развитых стран в области массового применения статистических методов. Интенсивное распространение этих методов в вашей стране приходится на 40-50-е годы. Но впоследствии статистические методы, несмотря на их научную обоснованность и прогрессивный характер, практически не используются, за исключением отдельных предприятий. Основными причинами низкого применения статистических методов являются:

- низкая технологическая дисциплина;

- пренебрежение нормами конструкторской и технологической документации;
- несогласованность конструкторских норм с технологическими и метрологическими возможностями;
- нехватка квалифицированных специалистов в области статистических методов;
- усложненность многих методических пособий по статистическим методам, их перегруженностью математикой;
- отсутствие экономической заинтересованности предприятий во внедрении этих методов.

Статистические методы являются лишь одним из многочисленных средств обеспечения качества. Повышения качества, производительности труда и конкурентоспособности продукции нельзя добиться исключительно за счет массированного применения, например, контрольных карт или диаграмм.

Рассмотренные выше статистические методы: контрольный листок, диаграмма Парето, схема Исикавы, гистограмма, диаграмма разброса, расслоение, контрольная карта, график временного ряда и др., – можно отнести к **статистическим методам**. Они позволяют:

- установить зависимость изучаемых явлений от случайных факторов как качественную (дисперсионный анализ), так и количественную (корреляционный анализ);
- исследовать связи между случайными и неслучайными величинами (регрессивный анализ);
- выявить роль отдельных факторов в изменении анализируемого параметра (факторный анализ) и т. д.

Помимо них на производстве могут использоваться **экономико-математические методы**, опирающиеся на математический аппарат для нахождения оптимального варианта из множества возможных на основе принятого критерия. Эта группа включает в себя множество методов:

- линейного программирования;
- нелинейного программирования;
- динамического программирования;
- планирования экспериментов;
- имитационного моделирования;
- теории игр;
- теории массового обслуживания;
- теории расписаний;

- функционально-стоимостного анализа и др.

Применение статистических методов на производстве можно начать с простых (семь методов, описанные выше в п.4, относятся к простым). При этом можно выбрать несколько разных статистических методов, а затем выбрать такой из них, который обеспечит достижение наилучшего результата при минимальных затратах. Применение специальных программных средств – индикаторов позволяет представлять статистические данные в наглядном графическом или анимационном виде на экране ЭВМ.

Особое внимание хочется уделить средствам мониторинга, контроля и измерений технологических параметров, – так называемым SCADA-системам [26].

4.21. SCADA-системы

Типичное использование SCADA-систем: в генераторах электрической энергии, в преобразовательных и распределительных станциях, нефте-газо-насосных и компрессорных станциях, водонасосных и водонапорных станциях, телевизионных сетях, транспортных сетях, сложных технологических установках химической промышленности и т.д.

Современные SCADA-системы обладают следующими свойствами:

- полностью распределенная многозадачность в реальном масштабе времени;
- графическое динамическое отображение;
- прогнозирование в реальном времени;
- графическое прогнозирование на основе полученных данных в прошлом;
- резервирование на уровне главной станции;
- интерактивное редактирование БД;
- интерактивное редактирование графической информации;
- интерактивный генератор отчетов;
- интерактивный вспомогательный пакет вычислений;
- поддержка многотерминальных рабочих станций и сетей;
- поддержка многоканального оборудования в реальном времени;
- управление аварийными ситуациями и событиями;

- поддержка всплывающих меню для работы и конфигурирования;
- сетевая файловая система и передачи файлов;
- поддержка FTP-протокола;
- промышленно-ориентированное ПО.

В отличие от систем контроля внутризаводскими процессами, SCADA-системы обычно включают в себя разветвленную сеть телекоммуникаций. Измеренные в реальном масштабе времени большим числом удаленных датчиков, от систем контроля данные передаются посредством телекоммуникаций на центральный пульт управления, который располагается на значительном расстоянии от контролируемых объектов. В центре управления компьютеры получают данные измерений от всех объектов и представляют их в виде окончательного динамического процесса на экране. Считываемые данные регистрируются и отображаются в графическом и текстовом формате, а команды управления поступают обратно на удаленные участки либо в автоматическом режиме, либо при помощи команд системного оператора, для внесения изменений в ТП. Такие системы включают в себя от 10 до 200 удаленных объектов, каждый из которых может содержать от 16 до 2000 измерительных датчиков. Для достижения необходимой полноты картины отображаемого процесса, база данных, накапливающая данные измерений, должна обновляться каждые несколько секунд, а полученные данные должны обладать достаточной точностью. К тому же необходима быстрая отработка системой команд оператора. Вдобавок к этому, отправка данных и исполнение команд оператора должны происходить с высокой эффективностью, надежностью и безопасностью, особенно в условиях воздействия на систему помех, таких, например, как помехи в электрической сети.

Оборудование, установленное на удаленных объектах или RTU (отдаленные оконечные устройства), позволяет измерять напряжение, потоки, давление, температуру, местоположение устройства, аварийные события на оборудовании и рассчитывает интенсивность потока, уровни и т.п. Измерения и вычисления выполняются с большой скоростью для обеспечения высокой степени точности при любых воздействиях окружающей среды, в которой функционирует система. Удаленные оконечные устройства являются интеллектуальными и, обычно, содержат несколько микропроцессоров, работающих с мощным ПО в реальном масштабе времени. Они сконфигурированы таким образом, чтобы быть

совместимыми с каждой отдельной платформой ПК, и спроектированы для гибкого применения с разнообразными их возможностями.

Компьютерная система, находящаяся в Центре управления (или главное оконечное устройство) может состоять из отдельного компьютера с дисплеем и регистрирующих внешних устройств, или, для выполнения большего круга задач, может состоять из нескольких компьютеров, объединенных в локальную сеть (типа Ethernet). Для главного оконечного устройства характерно приложение в качестве измерительной или портативной диагностирующей и обслуживающей системы. Многокомпьютерные системы обеспечивают как расширение числа рабочих станций, так и дополнительную защиту при отказе системы.

От главных оконечных устройств небольших и средних размеров требуется способность работать с высокопроизводительными компьютерами на базе PC, которые работают со SCADA-системами в среде операционной системы, работающей в реальном масштабе времени.

Для случая самых сложных SCADA-систем, когда возможна обработка баз данных измерений, превышающих 50000 записей, необходима универсальная ЭВМ со специализированным ПО для SCADA-систем.

Сформулируем особенности SCADA-систем:

- совместимость с DOS (WINDOWS версией);
- тестовый набор функциональных возможностей (PTS);
- регулируемое изменение параметров;
- изменение контрольных параметров;
- развитые утилиты конфигурирования;
- диспетчерское управление цифровым и аналоговым вводом-выводом;
- способность местного контроля;
- динамическое отображение считываемых данных;
- отображение считываемых данных в форме максимального/минимального значений;
- отображение списка событий;
- отображение захвата волнового сигнала;
- отображение анализа в виде гармоник.

Для управления системной графикой и БД не требуется никакого опыта в программировании.

Способность функционирования системы под операционными системами WINDOWS и DOS, позволяет интегрировать в неё другие приложения.

На сегодняшний день пользователям систем контроля и отображения процессов требуется мощное, но все же недорогое решение для эксплуатации SCADA-приложений. Это становится возможным при использовании многопроцессорных систем, мультизадачных многопользовательских систем, и ПО для PC-ориентированных SCADA-приложений.

В состав системы включаются также средства для обеспечения графического интерфейса пользователя, что ускоряет процесс обучения и эксплуатации. Также поддерживается многооконный режим, когда все необходимые процессы доступны для наблюдения одновременно в интерактивном режиме, что экономит время в ходе эксплуатации.

Таким образом, образуется мощный пакет с высокой производительностью на PC-совместимых SCADA-приложениях.

4.22. Концепция «6σ»

«6σ» (шесть сигм) – это подход к совершенствованию ТП, при котором стремятся сосредоточиться на критически важных параметрах для потребителя и найти причины брака. Это стратегический подход, работающий для всех процессов, продукции и отраслей. Впервые подход «6σ» был взят на вооружение и развит компанией «Motorola» [27, 28]. Экономический эффект от внедрения технологии «6σ» внушительный, поэтому все больше компаний заявляют о приверженности данной концепции. Соответствие уровня конкурентоспособности компании от стабильности ТП показано в таблице 4.11 [29].

Концепция «6σ» базируется на использовании следующих статистических методов:

- карт контроля качества;
- анализа процессов;
- планирования экспериментов.

Таблица 4.11.

Соответствие конкурентоспособности компании от
воспроизводимости ТП

Концепция	Число дефектов на миллион	Стоимость низкого качества, % от объема продаж	Уровень конкурентоспособности продукции
1 σ	690000		
2 σ	308537	30-40	Неконкурентоспособна
3 σ	66807	20-30	
4 σ	6210	15-20	Средняя по отрасли
5 σ	233	10-15	
6 σ	3,4	< 10	Мировой класс

Исходя из таблицы 4.11, следование технологии «6 σ » обеспечивает число дефектов изделий 3,4 шт. на 1 миллион возможностей. Как этого достичь?

Если распределение отклонений параметра продукции считать подчиненным нормальному закону, а контрольные пределы: нижний и верхний соответствуют границам отрезка $[-3\sigma; 3\sigma]$, то какой должен быть максимальный разбаланс ТП, чтобы количество брака сократилось до минимальной величины, указанной в таблице 4.11? Данные о воспроизводимости процессов, собранные поставщиками продукции, приведенные в [30], свидетельствуют, что настройка процессов может иметь разброс $\pm 1,5\sigma$ и больше. Для принятия концепции «6 σ » производителю необходимо, чтобы вариабельность ТП не вышла за рамки $\pm 1,5\sigma$ (см. рис. 4.24) [31]. Причиной этому может быть действие постоянных причин, воздействующих на ТП.

Вообще концепция «6 σ » может строиться по классической схеме непрерывного совершенствования с использованием цикла Шухарта-Деминга (см. п. 3.4), который затем был преобразован в принцип МАІС – измеряй–анализируй–улучшай–контролируй. Впоследствии к началу цикла добавилась стадия определяй: DMAIC, а затем, исходя из рекомендаций Харри и Шредера, определили, что в программе необходимо восемь ступеней: осознай–определяй–

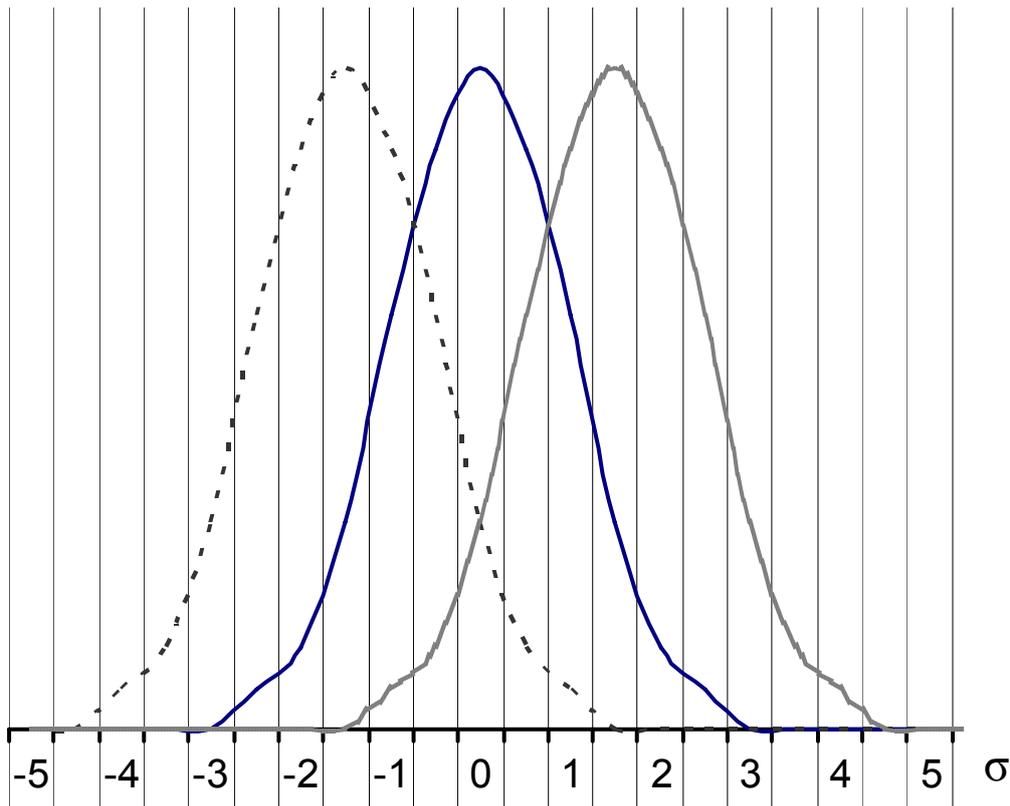


Рис. 4.24. Разброс отклонений параметра процесса в пределах $\pm 1,5\sigma$

измеряй–анализируй–улучшай–контролируй–стандартизируй–интегрируй.

Для внедрения рассматриваемого подхода «6 σ » на предприятии необходимо:

- выделение критичных параметров изделия на каждой стадии ТП;
- обеспечение заданного процента выхода годных изделий на каждой стадии ТП;
- создание в организации определенной культурной и социальной среды: лидерство сверху, ясность и согласованность целей, командная работа, обучение, поддержка успешных действий и достижений, активное участие коллектива и т.п.;
- ввести систему поощрений и призов за успехи не отдельных подразделений, а всей компании в целом;
- создание в организации инфраструктуры на основе обученных сотрудников с разной компетенцией;
- и, таким образом, разработать системную концепцию внедрения технологии «6 σ ».

Концепция дает результат из-за [27]:

- постоянного совершенствования организации на основе интегрированного подхода и использования человеческого фактора;
- ориентации на конечный финансовый результат компании;
- объединения инструментов совершенствования в единую систему;
- строгой ограниченности проектов по времени 3...6 месяцев.

Программы по внедрению технологии «бσ» требуют также обеспечение ресурсами для создания требуемой инфраструктуры.

Не смотря на достигнутые положительные результаты, концепция «бσ» имеет как сторонников, так и противников. Последние подчеркивают, что недостатками данного подхода является то, что [31, 32]:

- главной целью для работников компании становится не удовлетворение запросов потребителя, а экономия на проекте;
- технология позволяет оценивать принятые решения, но не позволяет предотвратить проблему;
- 90% улучшений достигается с помощью 20% полученных знаний в процессе обучения;
- технология оказывается эффективной в компаниях с сильным директивным духом, без постоянного давления руководства результатов не достигнуть;
- до 60% времени уходит у специалистов на сбор статистических данных и составление отчетности по проектам;
- обучение корпоративного клиента стоит от 1 млн. \$, что приемлемо лишь для очень крупных компаний;
- технология приносит прибыль только тем, кто ею торгует.

Хочется надеяться, что технология «бσ» станет внедряться в организациях среднего и даже малого бизнеса и станет одной из составляющих для общей концепции управления качеством для фирм-производителей любого уровня.

4.23. Метод развертывания функции качества

Метод QFD (QFD – Quality Function Deployment – развертывание функции качества) – это технология проектирования изделий и ТП, позволяющая преобразовать неосознанные пожелания потребителя в технические требования к продукции и параметры ТП.

Исследование потребительских пожеланий и удовлетворенности может осуществляться с помощью аппарата методов сбора информации: анкетирование, телефонный опрос, интервью в фокусных группах, комбинации методов.

Авторами метода QFD являются японские профессора С. Мидзуно и Ё. Акао. Авторы поставили перед собой задачу разработать метод, который позволил бы удовлетворить потребности потребителей в продукции прежде, чем она была бы разработана. В то время существовали только методы выявления проблем в процессе производства, и после изготовления продукции. Использование данного метода позволяет планировать обеспечение качества при проектировании, так как исправление ошибок в процессе изготовления на основе претензий от потребителей уже очень дорого.

С другой стороны, результатом стремления понять потребителя может стать «тупик» или «обгон» его требований. Для этого необходимо ориентироваться на какую-то ценность, которая и реализуется для удовлетворения требований потребителей. Потребительская ценность представляет собой сочетание продуктов, цены, обслуживания, взаимоотношений, а также имиджа. Предложение ценности определяет сегменты рынка, на которые направлена стратегия организации, и то, как организация собирается специализироваться в целевых сегментах рынка по сравнению с конкурентами. Профессор Гарвардской школы бизнеса Р. Каплан и Д. Нортон проанализировали предложения потребительской ценности различных компаний и выявили, что все они соответствуют трем различным стратегиям, которые организация использует для своей специализации на целевом рынке [33]:

1. **Лидерство продукта.** Стратегия продвижения продукции в неизвестную, не опробованную зону или зону своих интересов. Эту стратегию определили для себя корпорации SONY и INTEL. Предприятия с такой стратегией должны иметь отличные характеристики своевременности предоставления продукции, доставки, а также функциональности и имидж. При данной стратегии

организация должна производить продукты, лучшие в своем классе, которые быстро захватывают рынок.

2. Доверительные отношения с клиентами. Стратегия служит для формирования доверительных отношений с потребителями, налаживая тесные связи с ними. Фирма должна иметь отличные взаимоотношения с потребителями, обслуживание, имидж организации.

3. Операционное совершенство. Стратегия, направленная на операционное совершенство, при котором демонстрируется присущее только данной организации высокое качество в сочетании с соответствующей ценой и удобным процессом покупки. Примером может послужить стратегия компании McDonalds. Такие компании должны иметь отличные характеристики цены, качества, времени, ассортимента продукции, имидж организации.

Метод QFD имеет другое название в некоторых работах: метод структурирования функции качества, хотя дословный перевод с японского такой, как указано в определении. Дополнительными названиями являются метод «домов качества» и синхронного инжиниринга [34].

Метод QFD основан на использовании матриц или так называемых «домов качества», учитывающих требования потребителей и параметры, от которых зависит качество продукта. Название происходит из-за сходства некоторых элементов с настоящим домом. Структура такой матрицы представлена на рис. 4.25.

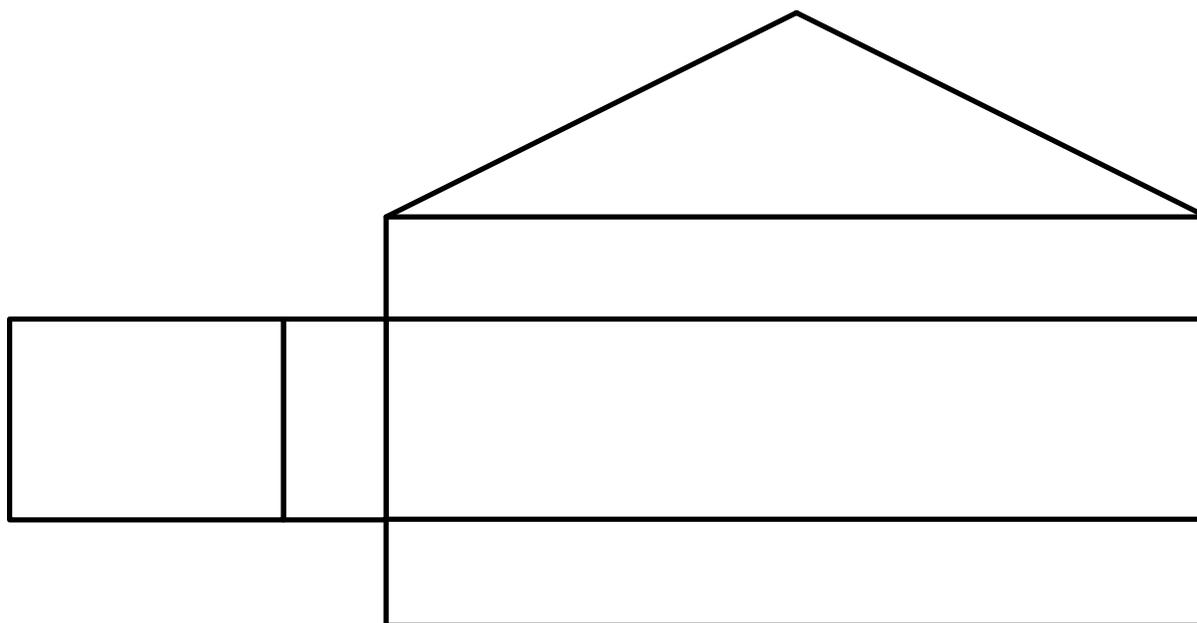


Рис. 4.25. Структура «дома качества»

В левой части матрицы находится список требований потребителей, который составляется на основе анкетирования групп респондентов. Так как требования потребителей могут быть противоречивыми, фирма-производитель должна решить: какие требования должны быть удовлетворены, а какие нет.

Важность или рейтинг показателя отражается по каждому параметру обычно по десятибалльной шкале. Важность оценивается с помощью одного из методов:

- повторным опросом – каждый респондент оценивает важность каждого требования по десятибалльной шкале с усреднением результатов;
- процедурой парных сравнений – респондент оценивает все требования, разбитые на пары в процентах от 100, а затем результаты по каждому требованию суммируются.

Затем формируется список параметров изделия, изменение которых позволяет добиться удовлетворения требований респондентов. Параметры располагаются сверху «дома качества».

После этого, необходимо определить зависимости между требованиями потребителей и параметрами изделия в виде матрицы отношений (по аналогии с уравнениями связи между внешними и внутренними параметрами конструкции см. п. 3.8). Обычно для этого используется балльная система, отражающая несколько степеней зависимости. Такие зависимости можно оценить с помощью:

- здравого смысла;
- мнения эксперта в данной области;
- наблюдений, практического опыта эксперта;
- проведения специальных исследований.

Степень корреляции между исследуемыми показателями проставляется в соответствии с методологией структурирования функции качества в зависимости от их веса: 9 – сильная связь, 3 – средняя зависимость и 1 – слабая. Степень проставляется в виде чисел или условных обозначений в соответствующие пересечения строки и столбца зависимых параметров.

Корреляционная матрица строится на основе взаимосвязей параметров изделия между собой. Обычно отражается качественно в виде символов для того, чтобы специалисты различных направлений и уровня подготовки могли обработать и понять таблицу. Значки проставляются в местах пересечения параметров изделия и формируют «крышу дома». Это наиболее трудоемкий и сложный этап. Его продолжительность может достигать 1,5 года.

Пример «дома качества» для оценки качества нового ноутбука изображен на рис. 4.26. На рисунке использованы следующие условные обозначения.

Характер взаимосвязи между двумя факторами:

○ – положительный: с ростом одного фактора второй увеличивается;

⊖ – отрицательный: с ростом одного фактора второй уменьшается.

Значение каждого параметра изделия может минимизироваться ↓ и максимизироваться ↑.

Для обозначения степени корреляции на рис. 4.26 обозначена:

... – сильная корреляция с весом 9;

.. – средняя зависимость с весом 3;

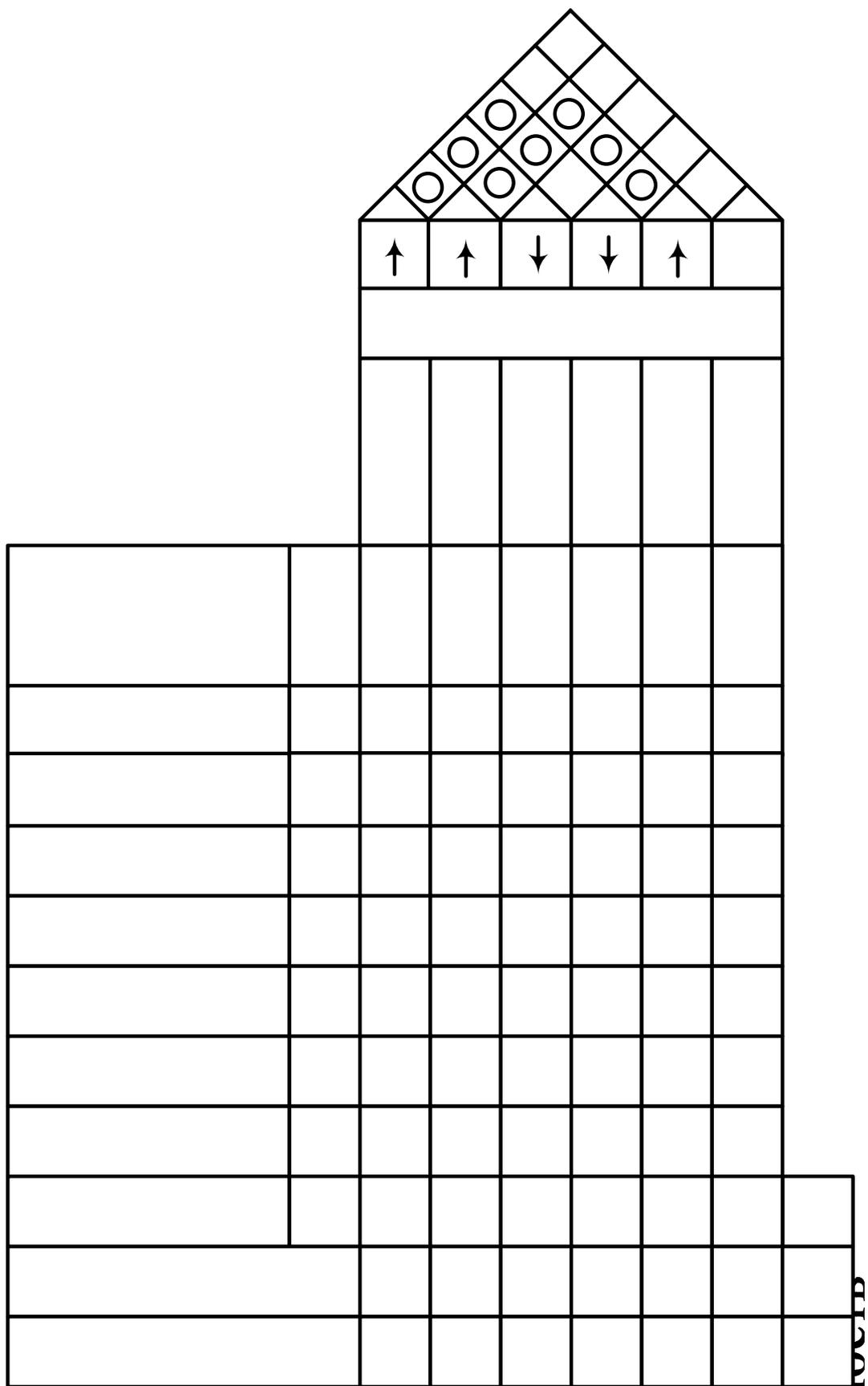
. – слабая зависимость с весом 1.

Абсолютный вес каждого параметра вычисляется как сумма произведений значений важности на степень корреляции. Относительный вес – это абсолютный вес, отнесенный к сумме всех абсолютных весов по всем параметрам изделия, выраженный в процентах.

Как видно из приведенного «дома качества» наиболее важным показателем для потребителя является параметр емкость аккумулятора 247 баллов или 30%.

Далее определяются технические и экономические трудности смещения параметров изделия в нужную сторону. Оценка выполняется экспертами и проставляется в нижней части «дома качества» или в его «подвале» обычно по пятибалльной шкале. Чем выше трудность изменения (улучшения) параметра, тем выше балл (см. рис. 4.27).

Для сравнения исследуемого продукта с продуктами-аналогами осуществляется оценка удовлетворения требованиям потребителей относительно конкурентов. Это так называемый **бенчмаркинг продукта**, но только не по техническим параметрам, а по степени удовлетворения потребностей потребителя. Цель бенчмаркинга – определить, имеет ли выпускаемое изделие параметры, которые наиболее важны для потребителя. При создании принципиально новой продукции или новой фирмы этот этап неприменим или применим частично. В качестве конкурента А может выступать фирма, рыночная доля которой немного больше нашей, а в качестве



ПОТРЕБИТЕЛЕЙ

Рис. 4.26. Пример структуры дома качества: первая часть

Частота
процессора

Важность

1. Хочу¹⁴² дешёвый
НОУТБУК

9

• • •

Затем определяются преимущества и недостатки проектируемого изделия, и определяется интегральный показатель важности. По показателю важности определяются наиболее важные параметры для повышения конкурентоспособности изделия.

С помощью технологии QFD можно определить взаимосвязь, например, между: требованиями потребителя, техническими параметрами компонентов, операциями ТП, требованиями производства [35, 36]. Тогда серия «домов качества» состоит из четырех матриц (см. рис. 4.28).

В первом «доме» требования потребителя отражаются в строках, а параметры изделия (процесса) – в столбцах. Основная цель построения «дома» №1 – установление соответствия между требованиями заказчика и характеристиками изделия.

Процесс построения такой матрицы подробно описан выше.

Второй «дом» строится с целью понять, какие параметры системы отвечают за выделенные характеристики. В правой части производится сравнение конкурирующих изделий по их потребительским характеристикам. Результатом построения второй матрицы станут интегральные показатели важности улучшений параметров компонентов изделия, полученные из первой матрицы.

Аналогично производится построение остальных «домов качества», в результате чего весовые коэффициенты проходят через всю цепочку анализа, обеспечивая взаимосвязь матриц между собой.

В результате использования метода QFD изделие приобретает лидирующие характеристики среди изделий-конкурентов.

Особенностью метода QFD, является то, что он позволяет объединить усилия работников в области маркетинга и технических специалистов при проектировании новой, или совершенствовании существующей продукции.

Таким образом, метод QFD дает следующие преимущества [37]:

- устанавливает связи между требованиями потребителей, техническими параметрами продукции, параметрами подсистем и компонентов;
- позволяет выделить приоритетные ожидания потребителей и воплотить их в продукцию;
- создание базы данных для будущих разработок или усовершенствования ТП, которую можно использовать для удовлетворения будущих потребностей потребителей [35];

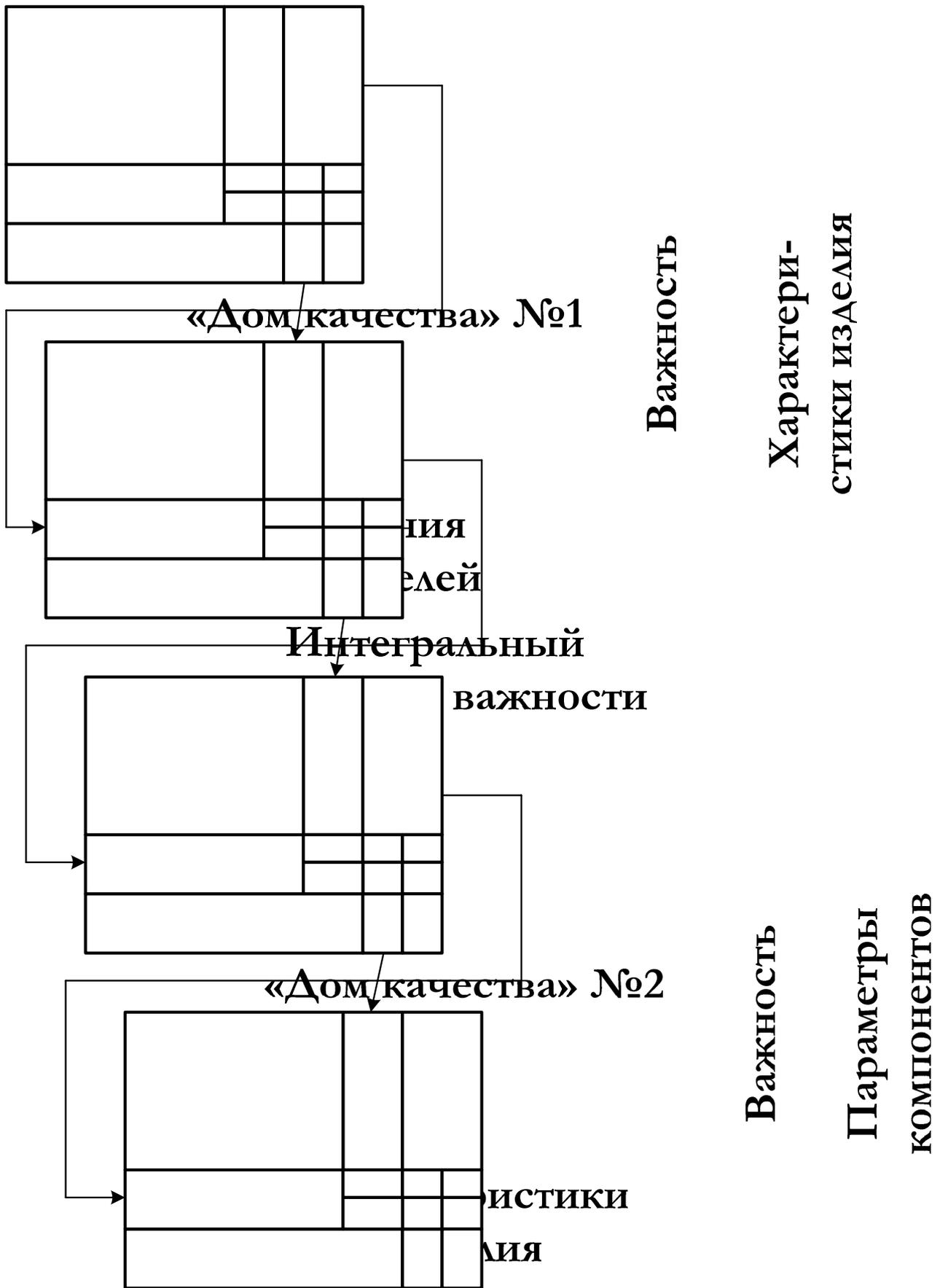


Рис. 4.28. Структура системы из четырех «домов качества»

- повышает эффективность производства за счет целенаправленной работы в направлении конкурентных параметров качества продукции;
- ориентирует все этапы жизненного цикла продукции на удовлетворение потребностей потребителей;
- обеспечивается более быстрое выдвигание на рынок продукции с более высоким качеством, что дает дополнительную прибыль компании;
- повышается деловая культура и улучшается управление на всех этапах изготовления продукции.

Метод QFD является еще одной технологией, реализующей концепцию всеобщего менеджмента качества (TQM).

По мнению генерального секретаря Европейской Организации Качества Жюслин де Норей, компания, решая проблему качества, может обеспечить себе эффективность следующим образом:

- во-первых, компания должна добиться права на демонстрацию соответствия своей системы менеджмента качества требованиям МС ИСО серии 9000 или аналогичных стандартов, учитывающих ее отраслевую специфику;
- во-вторых, компания должна сформировать и реализовывать стратегию постоянного улучшения, используя при этом идеологию, которая нашла соответствующее отражение в стандарте ИСО 9004, в принципах TQM и концепции «6σ»;
- в-третьих, компания должна располагать стратегией прорыва и способностью эффективно ее реализовывать в борьбе с конкурентами [38].

4.24. Метод граничного сканирования

Начиная с 1990 года, стандарт IEEE 1149.1/JTAG или технология BS (Boundary Scan – граничное сканирование) утвердила себя как незаменимый инструмент при тестировании устройств с ограниченным доступом к выводам интегральных микросхем (ИМС). Широкое применение многослойных печатных плат с ИМС в корпусах, изготовленных по технологиям BGA, COB и QFP, дало новый мощный импульс развитию этой технологии.

Граничное сканирование используется как средство доступа к внутренним регистрам микросхем для наблюдения за их состоянием в процессе отладки [39-41]. Технология BS применяется также для ОВР

(On-board programming – внутрисхемного программирования), одним из направлений которого является ISP (In-System Programming – внутрисистемное программирование). Под термином ISP обычно понимают внутрисхемное программирование установленных на плату интегральных схем ПЛИС (CPLD, FPGA), а сам термин ОВР относится к внутрисхемному программированию ИМС флэш-памяти и ЭСППЗУ (EEPROM).

Во-первых, стандарт IEEE 1149.1/JTAG определяет стандарт шины с протоколом. Шина может применяться иерархически на всех используемых уровнях – от ИМС до системы, состоящей из нескольких отдельных печатных плат и/или модулей. Для этого достаточно на каждом уровне соединить друг с другом в единую цепочку все элементы, в которых заложена аппаратная избыточность, обеспечивающая граничное сканирование. В дальнейшем такие элементы будем называть совместимыми со стандартом 1149.1 или BS-элементами. Как показано на рис. 4.29, все 1149.1 BS-ИМС на плате соединяются друг с другом так, чтобы выход TDO (Test Data Out – выход тестовых данных) предыдущей микросхемы был соединён со входом TDI (Test Data In – вход тестовых данных) следующей.

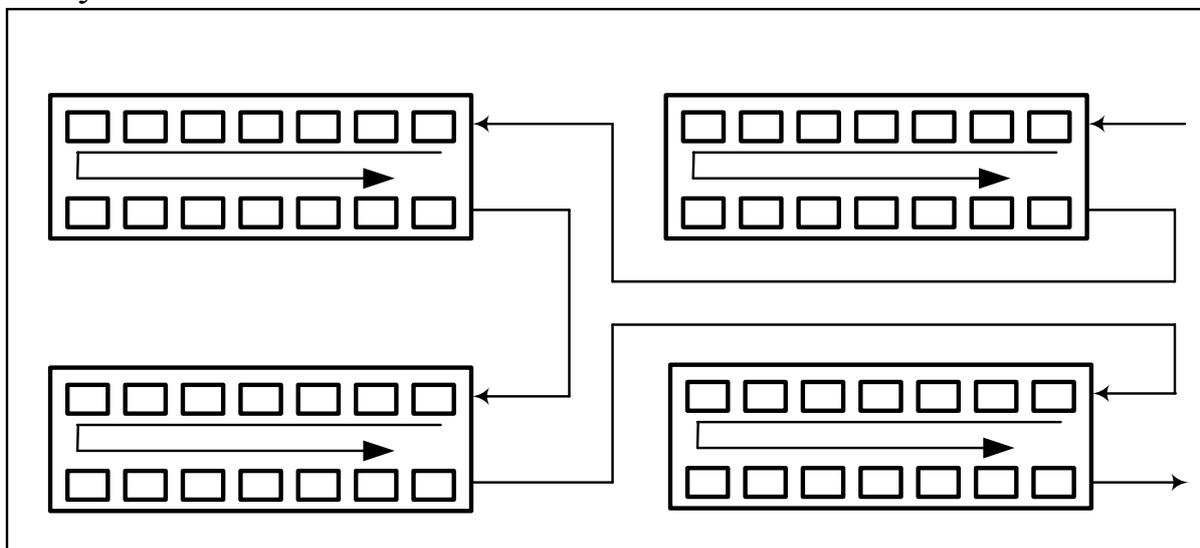


Рис. 4.29. Организация пути сканирования на плате (BS-цепочка)

На уровне системы TDO предыдущей печатной платы может быть соединён с TDI последующей платы, как показано на рис. 4.30. Это лишь один из возможных вариантов применения граничного сканирования на уровне системы, самый простой и без аппаратной избыточности. Ниже будут рассмотрены более сложные и

существенно более эффективные методы объединения локальных BS-цепочек.

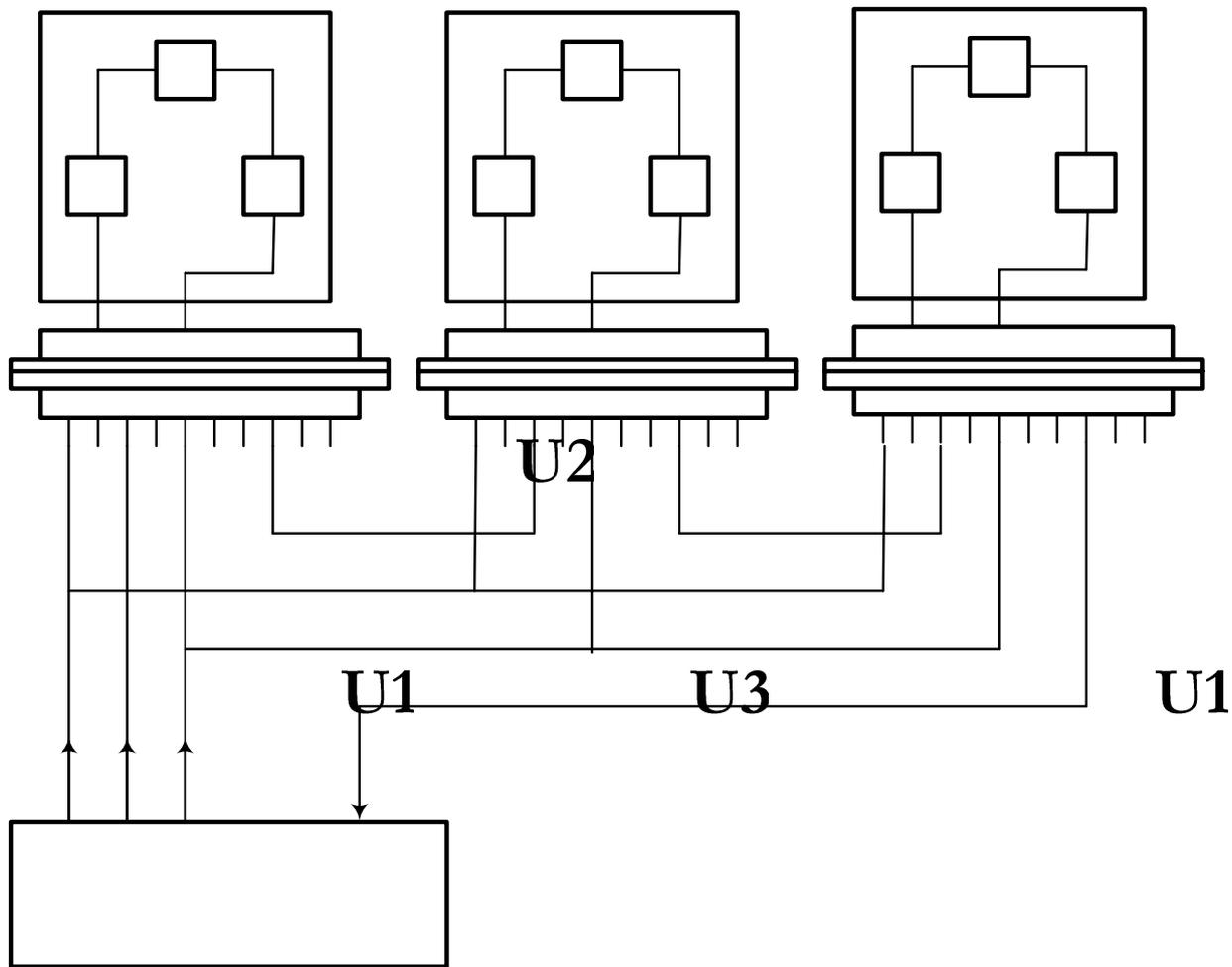


Рис. 4.30. Вариант организации пути сканирования в системе

Во-вторых, принцип граничного сканирования заключается в размещении последовательного сдвигового регистра (BS-регистра) по границам 1149.1 BS-микросхем, причём сами ячейки такого регистра располагаются непосредственно между внешними выводами и функциональным ядром этих микросхем. К каждой ИМС добавляются 4 (иногда 5) внешних вывода-контакты: TDI, TDO, TMS (Test Mode Select – выбор тестового режима) и TCK (Test Clock – тестовая синхронизация). К внешнему разъёму каждой платы добавляются эти же 4 внешних вывода. Стандарт IEEE 1149.1/JTAG предусматривает также необязательный пятый внешний вывод TRST (асинхронный сброс).

На самом нижнем уровне этой иерархии находится 1149.1 BS-микросхема, внутренняя структура которой показана на рис. 4.31.

Согласно стандарту IEEE 1149.1, к каждому выводу ИМС подсоединена специальная схема, состоящая из 2 триггеров и 2 мультиплекторов, обеспечивающая два режима функционирования – нормальный, то есть штатный, и режим тестирования. С помощью тестовой шины стандарта IEEE 1149.1 можно управлять этими логическими ячейками. Вообще-то BS-ячейка может работать и в обычном режиме ИМС, и это одна из основных идей BS-технологии.

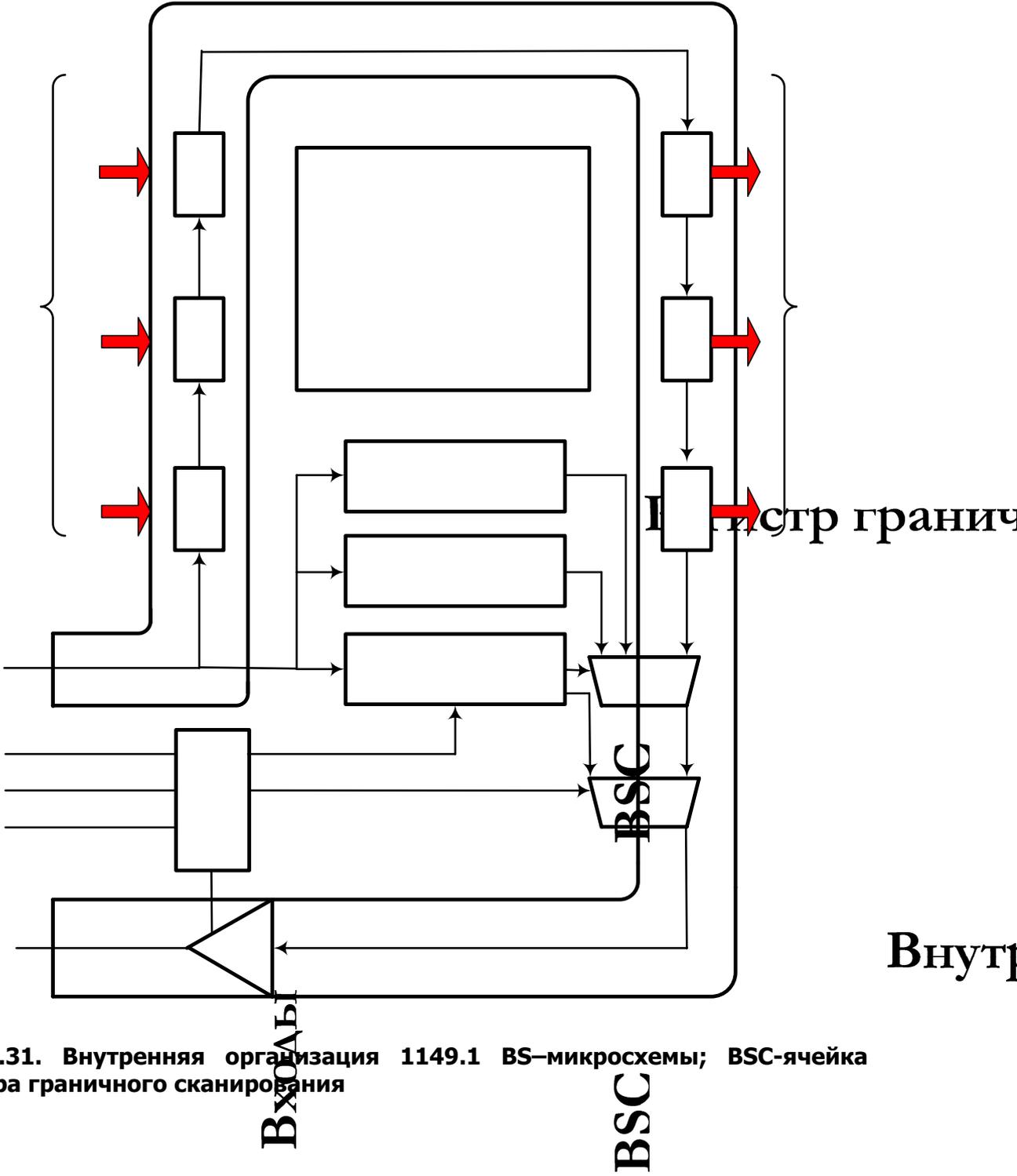


Рис. 4.31. Внутренняя организация 1149.1 BS-микросхемы; BSC-ячейка регистра граничного сканирования

Стандарт IEEE 1149.1 различает 4 основных элемента BS-структуры, каждый из которых размещается на BS-ИС [42]:

- порт тестового доступа (TAP – Test Access Port), представляющий собой совокупность указанных выше пяти выводов ИМС;
- контроллер порта (TAP-контроллер);
- регистр команд;
- группа регистров данных (BS-регистр, шунт-регистр, регистр-идентификатор, специальные регистры).

Первые три элемента BS-структуры, а также BS-регистр и шунт-регистр являются обязательными, ими снабжены все BS-ИМС, остальные регистры данных необязательны. Управление одноразрядными ячейками BS-регистра осуществляется TAP-контроллером в функции команд, поступающих в последовательном коде на вход TMS и стробируемых нарастающим фронтом синхроимпульсов TCK. В зависимости от выбранной TAP-контроллером команды, каждая BS-ячейка граничного сканирования может либо принимать поступающий на вход Data In бит данных во входной триггер, либо выдавать содержимое триггера на выход Data Out, либо последовательно сдвигать бит данных от входа Scan In к выходу Scan Out в пределах BS-регистра, передавать бит данных от входа Scan In к выходу Data Out, либо передавать бит данных напрямую от Data In к Data Out. Эта маршрутизация выполняется входным и выходным мультиплексорами, непосредственно управляемыми TAP-контроллером.

Если на цифровой плате установлены только сканируемые микросхемы (что случается нечасто), то в этом случае отпадает необходимость применять внутрисхемное тестирование для выполнения диагностических процедур. Фактически, с помощью технологии BS появляется возможность упростить многие задачи, "разрезав" схему на отдельные кусочки меньших размеров. Так, технология граничного сканирования позволила применить в электронике принцип "разделяй и властвуй".

Однако на практике построить полностью сканируемую цифровую плату или систему сможет далеко не каждый разработчик. Причины очевидны. Во-первых, многие производители микросхем и сегодня выпускают цифровые ИМС, не поддерживающие стандарт IEEE 1149.1. Кроме того, на подавляющем большинстве современных электронных плат устанавливаются аналоговые микросхемы и пассивные элементы. Не смотря на это, все равно существует

возможность тестировать платы и системы, используя технологию BS. В этом случае, как показано на рис. 4.32, только 1149.1 BS-ИМС соединяются так, чтобы организовать путь сканирования на плате, не затрагивая при этом остальные пассивные и активные элементы. Конечно, в этом случае полнота покрытия неисправностей будет ниже, чем в полностью сканируемой плате, и будет сильно зависеть от соблюдения разработчиком платы правил и принципов тестопригодного проектирования.

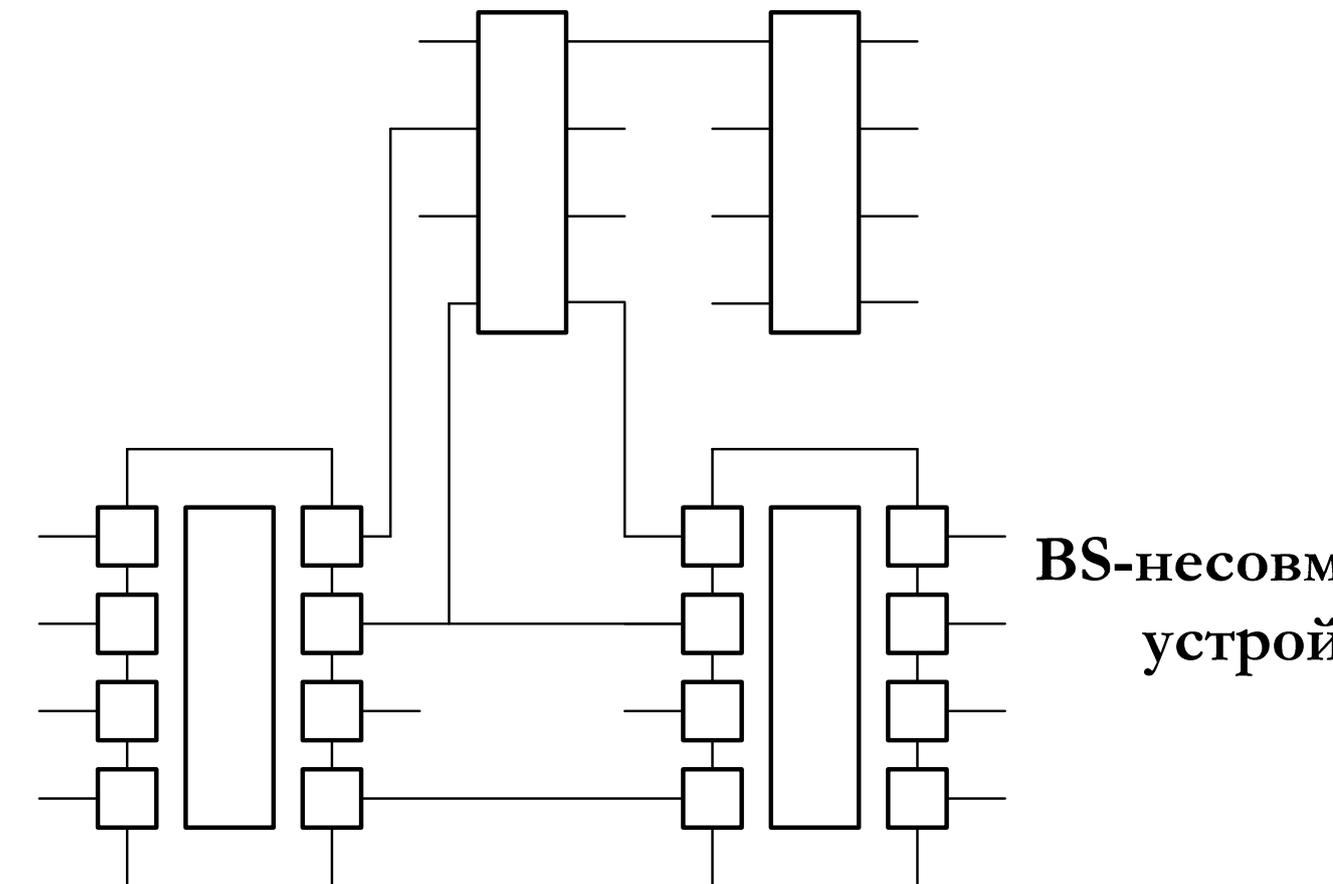


Рис. 4.32. Частично сканируемая плата

Программно-аппаратные комплексы граничного сканирования

Для того чтобы получить максимальную отдачу от использования технологии граничного сканирования, ~~н~~обходим универсальный и доступный инструментарий. За последние 10 лет ряд компаний в Европе и США производят программно-аппаратные комплексы на базе ПК, предназначенные для разработки и применения программ тестирования и внутрисхемного

программирования на базе технологии граничного сканирования. Наиболее известными разработчиками программно-аппаратных комплексов являются:

- ASSET InterTech Inc. США [42];
- GOEPEL Electronic Германия [43];
- JTAG Technologies Нидерланды [44];
- CORELIS Inc. США [45].

Лидирующие позиции на мировом рынке BS-комплексов занимает компания ASSET Inter-Tech с их комплексом ScanWorks. Эта фирма значительно опередила конкурентов на североамериканском рынке (43% мирового рынка) и широко представлена также на европейском рынке BS-комплексов (39% мирового рынка).

Все эти компании производят широкую гамму портативных, недорогих компьютеризованных систем разработки и применения программ тестового диагностирования и внутрисхемного программирования с использованием технологии граничного сканирования.

Как показано на рис. 4.33 и 4.34, они базируются на ПК, который соединяется с тестируемым и/или программируемым устройством либо через интерфейсную плату, либо непосредственно через параллельный порт компьютера [46].

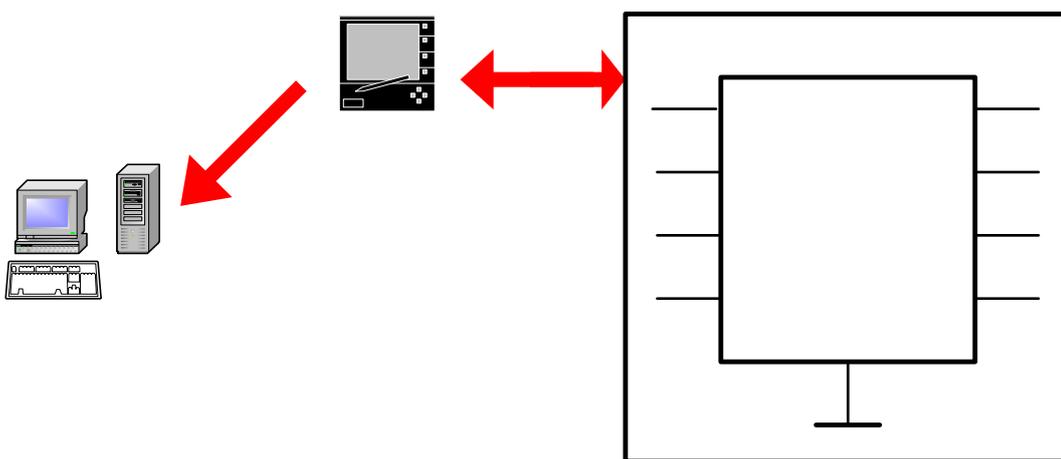
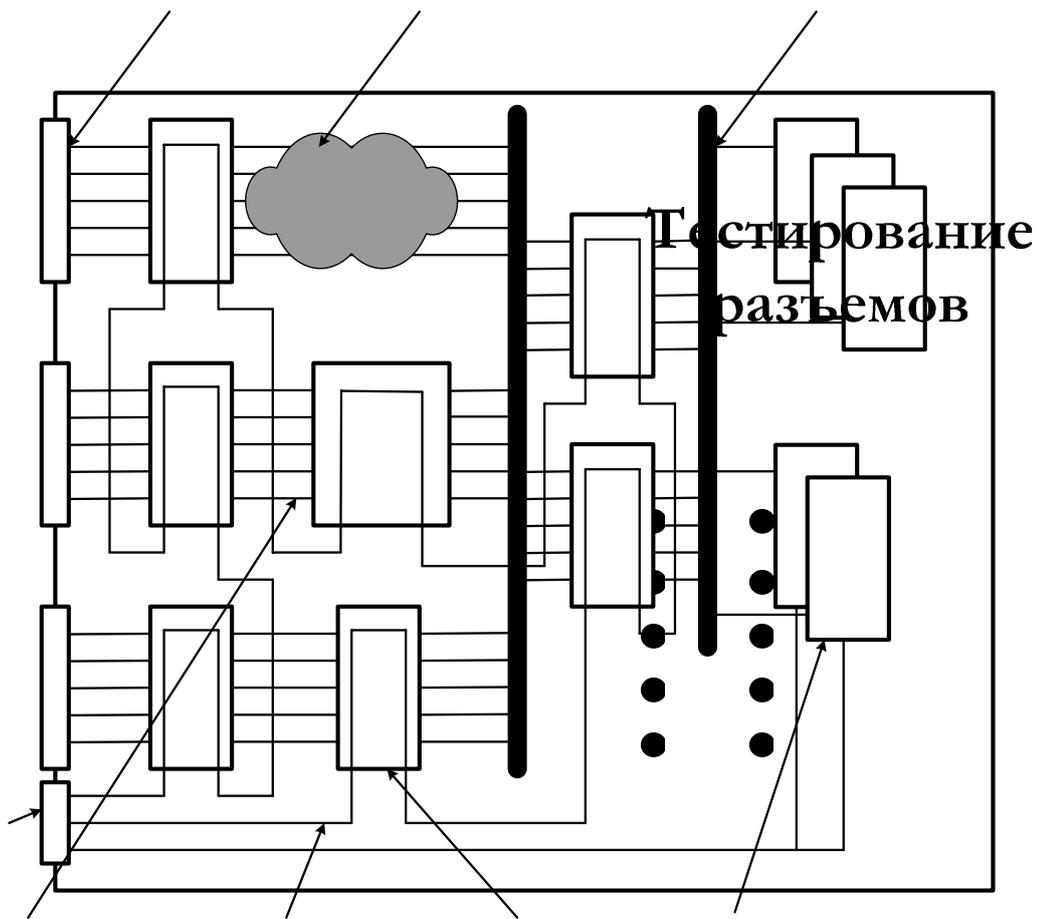


Рис. 4.33. Программно-аппаратный комплекс граничного сканирования на базе ПК



Тест
КА

Рис. 4.34. Типичное разбиение на фрагменты для граничного сканирования современной платы

Программное обеспечение таких комплексов позволяет разрабатывать и применять программы как для поиска и диагностирования неисправностей различных классов, так и для внутрисхемного программирования. Предварительно в систему необходимо ввести некоторые исходные данные: описание BS-ИМС, описание пути сканирования и описание тестируемой платы (модуля, системы) в целом.

Описание каждой BS-ИМС задаётся оригинальным BSDL (Boundary Scan Description Language) файлом на все сканируемые элементы, которые установлены на плате. В этих файлах содержится информация о том, какова структура граничного сканирования данной ИМС, организован путь сканирования в элементе и какие функции, определённые стандартом 1149.1, она поддерживает.

**ТАР-
разъем**

Производители BS-ИМС бесплатно обеспечивают пользователей этими файлами. Информацию о месте хранения BSDL-файлов можно отыскать на соответствующих сайтах производителей ИМС.

Затем вводится информация о том, как соединены между собой все элементы, установленные на плате (netlist). Обычно файл с таким описанием может быть введён в любом из существующих форматов САПР печатных плат. И, наконец, с помощью специального языка HSDL (Hierarchical Scan Description Language) описывается путь сканирования на плате (BS-цепочка).

После этого схема платы разбивается на отдельные фрагменты. Каждый такой фрагмент представляет схемную структуру, тестирование которой выполняется с использованием определённого подхода. На рис. 4.34 показаны результаты такого разбиения типичной современной платы. Идеальной является структура, состоящая из линий, входы и выходы которых соединены со сканируемыми элементами, и никакие другие элементы к этим линиям не подключены. В таких схемных структурах технология граничного сканирования позволяет обнаружить все неисправности, вызванные обрывами линий и замыканиями между ними, а также все константные неисправности на этих линиях и неисправности, проявляющие себя как константные. В тех случаях, когда линии схемы неконтролируемы (или частично контролируемы) через сканируемые элементы, полнота покрытия неисправностей существенно ниже. Очевидно, что полнота покрытия неисправностей зависит от обеспечения показателей управляемости и наблюдаемости на линиях схемы со стороны сканируемых элементов BS-ИМС. Вот почему для эффективного использования технологии BS разработчикам схем так важно владеть принципами и методами тестопригодного проектирования.

Рассмотрим вкратце отдельные возможные этапы применения технологии граничного сканирования.

Проверка целостности пути сканирования

Это, в сущности, самотестирование структуры граничного сканирования. На рис. 4.32 это линии 1, 2 и 3. Кроме того, на этом этапе проверяется отсутствие неисправностей (обрывы, замыкания, константные дефекты) на линиях сигналов TCK, TMS и TRST.

Тестирование межсоединений

Существующие алгоритмы тестирования межсоединений дают хорошие результаты как для обнаружения, так и для локализации неисправностей типа обрыва или замыкания линий, а также

константных неисправностей в схемных структурах, которые начинаются и заканчиваются сканируемыми элементами. На рис. 4.32 это линии 4 и 5.

Для проверки целостности соединений разъёмов со сканируемыми элементами достаточно предусмотреть специальные технологические кабели, которые соединяют внешние выходы со входами.

Определённые трудности возникают при тестировании соединений между сканируемыми и не сканируемыми элементами, как например, линии 6, 7 и 8 на рис. 4.32.

Полнота покрытия неисправностей в таких случаях зависит от того, как определены соответствующие выводы сканируемых и не сканируемых элементов (входы, выходы, входо-выходы с возможностью перевода в третье состояние и так далее) и в какой степени возможно исключение (или учёт) влияния остальной схемы на данные линии (общие шины, объединённые выходы, "прозрачные" буферы и резисторы, подключенные к питанию или "земле" резисторы и так далее). Такие ситуации требуют детального анализа, и лучше, если он выполняется на этапе тестопригодного проектирования схемы, а не на этапе тестирования готовой платы. В конечном счёте, низкая управляемость и наблюдаемость в таких схемных структурах приводит к тому, что тесты обладают невысокой полнотой покрытия неисправностей.

Тестирование межсоединений с памятью

На этом этапе с помощью сканируемых элементов в память записываются, а затем из неё считываются тестовые данные (см. рис. 4.34). Тест для обнаружения обрывов и замыканий между линиями, а также константных неисправностей и неисправностей, проявляющих себя как константные, обычно представляет собой прямой и обратный "шахматный код" с некоторыми модификациями.

Тестирование кластеров

Кластером называется схемная структура, состоящая из несканируемых элементов, входы и выходы которой соединены со сканируемыми элементами. С их помощью на кластер подаются тестовые воздействия, и регистрируется их реакция. Тесты для кластеров в подавляющем большинстве случаев пишутся вручную на специальном макроязыке. Такие тесты разрабатываются относительно тех же классов неисправностей, что и тесты межсоединений.

Следует заметить, что технология граничного сканирования, в общем случае, не предназначена для реализации функционального

тестирования, являясь (наряду с зондовым внутрисхемным тестированием, известным как ICT – In-Circuit Testing) важнейшей составной частью структурного тестирования. Тем не менее, в отдельных случаях технология граничного сканирования может быть применена и в некоторых функциональных тестах ИМС, предусматривающих подобное тестирование.

Внутрисхемное программирование

Как было указано выше, внутрисхемное программирование установленных на плату интегральных схем подразделяется на внутрисистемное программирование (ISP) ПЛИС (CPLD, FPGA), а собственно термин ОВР относится к внутрисхемному программированию ИМС флэш-памяти и ЭСППЗУ (EEPROM). Отличие между этими двумя подходами определяется самой структурой двух указанных групп ИМС памяти: ПЛИС всегда являются сканируемыми ИМС, тогда как ИМС флэш-памяти и ЭСППЗУ таковыми не являются никогда.

В соответствии с этим отличием, программирование ПЛИС (ISP) осуществляется при помощи их самих, как бы изнутри (рис. 4.34), и для этого никакие другие BS-ИМС не нужны. Для программирования ПЛИС по цепям граничного сканирования должен быть подготовлен специальный ПВФ-файл (последовательный векторный формат, SVF – Serial Vector Format), стандарт которого совместно разработан в 1991 году фирмами Texas Instruments и Teradyne. ПВФ представляет собой стандартный текстовый файл для записи тестовых векторов (входных воздействий и ожидаемых реакций) и масок для их последовательного ввода по цепям граничного сканирования. Любой из упомянутых выше программно-аппаратных комплексов граничного сканирования позволяет автоматически получать ПВФ-файлы на основе исходного файла программирования ПЛИС в любом формате, а также осуществляет сам процесс внутрисистемного программирования установленного на плату ПЛИС.

ИМС флэш-памяти и ЭСППЗУ, не являясь BS-ИМС, нуждаются для реализации их внутрисхемного программирования в окружении других BS-ИМС, при помощи которых и реализуется процесс их программирования (рис. 4.34). Это совершенно другой процесс, не требующий применения ПВФ-файлов, однако нуждающийся в разработке программ внутрисхемного программирования на специальном макроязыке, позволяющем описать конкретное окружение данной ИМС памяти в данной плате и конкретные

особенности процессов записи/чтения данного типа ИМС памяти. Подготовка адекватного окружения предназначенных для внутрисхемного программирования ИМС флэш-памяти и ЭСППЗУ является одним из важнейших этапов тестопригодного проектирования плат.

Обычно под этим термином понимается программирование флэш-памяти, CPLD, FPGA и EEPROM, которые уже установлены на плату, с помощью сканируемых элементов, также находящихся на этой плате. В качестве примера, на рис. 4.35 показан принцип внутрисхемного программирования флэш-памяти с помощью граничного сканирования BS.

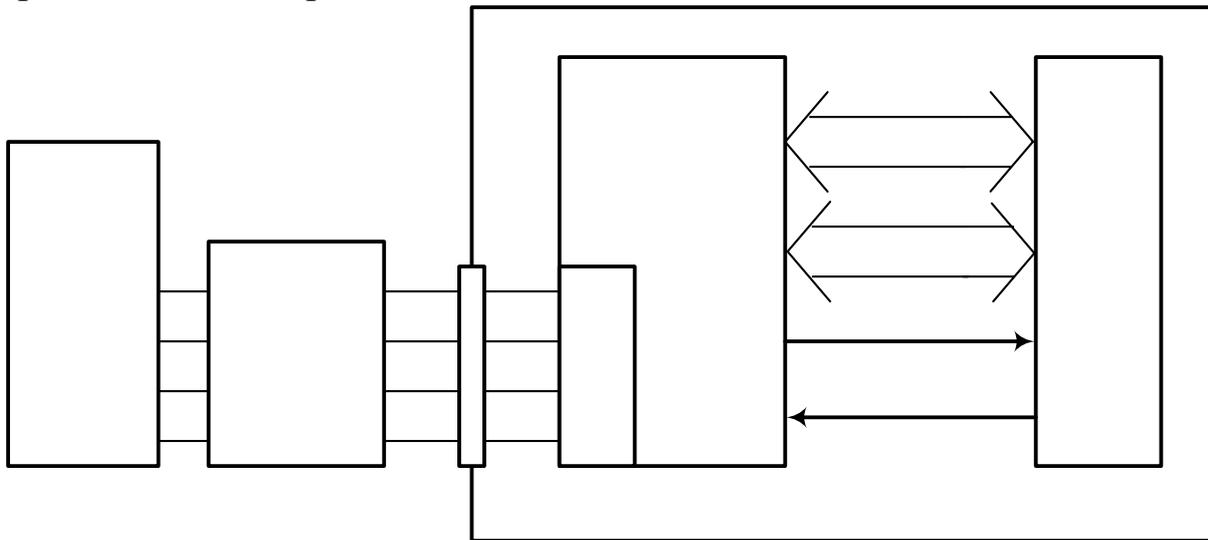


Рис. 4.35. Внутрисхемное программирование флэш-памяти

Применение внутрисхемного программирования ISP имеет следующие преимущества:

- отпадает необходимость в использовании отдельного программатора ИМС;
- появляется гибкость при проектировании плат за счёт простого и быстрого способа многократно реконфигурировать разрабатываемую систему;
- отпадает необходимость использовать дорогостоящие и ненадёжные панельки для установки программируемой микросхемы и вручную устанавливать ИМС с хрупкими выводами, требующими применения специальных мер электростатической защиты. Современные ИМС в корпусах BGA и QFN вовсе не предназначены для установки на панельки,

Комплекс

на базе
ПК

ТАР-

157

контроллер

TD1

TD0

TMS

TSC

У
П
СКА

ТА
ПО

так что других способов их программирования просто не существует;

- отпадает необходимость в складском хранении заранее запрограммированных ИМС, ведении их инвентаризации, наклеек и так далее;
- появляется возможность выполнять модернизацию системы после её изготовления в процессе эксплуатации, в том числе, дистанционно;
- улучшаются сервисные возможности при эксплуатации системы;
- появляется возможность удобно управлять данными инвентаризации на платы (версия сборки, версия прожига, серийный номер и так далее) с помощью EEPROM.

Для того, чтобы успешно применять внутрисхемное программирование, необходимо помнить, что программирование микросхем осуществляется непосредственно внутри собранной платы. Нужно тщательно продумать взаимодействие этих микросхем с другими элементами системы в режиме программирования и в рабочем режиме, а также учитывать влияние окружающей схемы логики.

Влияние граничного сканирования на развитие новых технологий

Сегодня становится очевидным, что граничное сканирование означает гораздо больше, нежели только тестовое диагностирование и внутрисхемное программирование. Поскольку BS позволяет организовать доступ к аппаратным структурам внутреннего сканирования и встроенного самотестирования (BIST – Built-In Self-Test), команды INTEST и RUNBIST становятся обычными для сложных заказных СБИС и ПЛИС.

Кроме того, бурно развиваются несколько новых направлений, в основу которых были положены идеи и принципы граничного сканирования.

Так, ещё в начале 90-х годов была сформирована группа для разработки стандарта IEEE 1149.4 Mixed-Signal Test Bus Standard. В нём определены правила доступа к выводам аналоговых элементов для подачи аналоговых и цифровых воздействий и получения реакций в цифровом и аналоговом видах [47]. В 1999 году данный стандарт был утверждён, и несколько компаний уже активно готовят к выпуску продукцию, которая его поддерживает. Массовое появление на рынке ИМС со встроенными механизмами аналогового и гибридного

граничного сканирования произведёт подлинный переворот в современной электронике, и мы находимся на пороге этого события.

Принципы граничного сканирования находят своё применение и в тестировании систем на кристалле (SoC). Под SoC понимается система с шинной организацией, которая состоит из нескольких сложных элементов: ядра, встроенной памяти и связующей логики. Тестирование таких систем является чрезвычайно сложной задачей, существенно более сложной, чем тестирование микропроцессоров. Её решение возможно только при использовании структурных методов тестопригодного проектирования. В 1995 была создана рабочая группа IEEE по разработке стандарта IEEE P1500 Embedded-Core Test Standard. Основная деятельность этой группы была направлена на создание стандартных структур тестирования, которые можно было бы встраивать в систему на кристалле. Такие структуры должны обеспечивать тестирование отдельных ядер и связей между ними. Рабочая группа P1500 предложила структуры, очень близкие к структурам граничного сканирования в стандарте 1149.1.

Контрольные вопросы

1. Что такое параметр и допуск на параметр?
2. Какие методы могут использоваться для анализа отклонения параметра? Какой из них точнее? Почему?
3. В чем особенности проведения технического контроля на различных стадиях жизненного цикла продукции?
4. Чем отличается выборка от пробы?
5. Почему результаты разрушающего контроля являются недостоверными?
6. В чем отличие измерительного и активного контроля?
7. Какой диапазон значений коэффициента автоматизации контрольно-измерительных операций соответствует автоматическим устройствам контроля?
8. Для каких целей строится статистический ряд? Какие этапы включает построение статистического ряда?
9. Как наилучшим образом разбить диапазон значений, определяемый размахом?
10. В каком случае гистограмма будет стремиться к кривой плотности распределения вероятности?
11. Как строится полигон распределения случайной величины?
12. К чему стремится математическое ожидание случайной величины при условии, что распределение подчинено нормальному закону?
13. Что характеризует медиана?
14. Почему с ростом уровня вероятности принятия гипотезы по критерию Пирсона значения убывают, а по Колмогорову, – увеличиваются?
15. Для каких задач применим критерий Стьюдента? В чем их различие?
16. Для какой проверки служит критерий Фишера?
17. Из каких этапов состоит построение диаграммы рассеяния?
18. Что показывает коэффициент корреляции?
19. В чем состоит метод медиан?
20. При каких условиях возникает ложная корреляция? Назовите причину, по которой она проявляется.
21. В чем отличие в распределениях событий Пуассона и нормальном?
22. Что позволяет выявить контрольный листок?
23. В чем состоит метод стратификации данных?

24. Какие факторы учитывает метод 5М?
25. В чем основное назначение контрольных карт при управлении качеством?
26. Что означает выход контролируемого параметра за верхний или нижний контрольный предел?
27. Чем опасно образование тренда? Периодичности?
28. Что позволяет выявить диаграмма Парето?
29. В чем отличие диаграмм Парето по причинам и результатам деятельности?
30. Каким образом причинно-следственная диаграмма позволяет улучшить качество продукции?
31. Для чего служит временной ряд?
32. На какие виды контроля распространяется статистический приемочный контроль качества?
33. Как задается достоверность планов и схем приемочного контроля качества продукции?
34. От чего зависит «запас количества по качеству»?
35. При каких условиях поставщик освобожден от ответственности за качество отдельной единицы продукции?
36. К чему приводит повышение значения риска потребителя: к уменьшению или повышению себестоимости продукции, почему?
37. В чем основные причины пробуксовки статистических методов?
38. Какие преимущества предприятию дает использование SCADA-систем?
39. На чем основана концепция «6 σ »?
40. Перечислите достоинства и недостатки использования подхода «6 σ ».
41. В чем состоит метод развертывания функции качества?
42. Опишите элементы и этапы построения «дома качества»?
43. Для чего строится несколько «домов качества»?
44. В чем состоит принцип граничного сканирования?
45. Как осуществляется тестирование электроэлементов, которые не совместимы с технологией граничного сканирования?

5. Обеспечение качества

5.1. Обеспечение качества на отдельных этапах жизненного цикла ЭС

Рассмотрим основные требования к обеспечению качества на отдельных этапах жизненного цикла продукции («спирали качества») [20].

Этап исследования рынка и обоснования разработки. На этом этапе осуществляется формирование уровня качества изделий, соответствующего современным достижениям научно-технического прогресса, а также изыскание принципов и путей, обоснование возможности и целесообразности создания новой продукции. Основным условием обеспечения высокого качества продукции является максимально точное определение требований заказчика (потребителя) к продукции на текущий период и прогнозирование на перспективу.

Основными объектами управления в системе качества на стадии исследования являются:

- сбор и анализ требований отечественных и зарубежных заказчиков (потребителей);
- сбор и анализ информации о техническом уровне и качестве однотипной отечественной и зарубежной продукции;
- прогнозирование облика нового изделия или поколения изделий, разработка комплексных планов и целевых программ развития продукции (развития предприятия, отрасли) на основе опыта ее эксплуатации, достижений НТП;
- комплексное прогнозирование требований к перспективным материалам, комплектующим изделиям, средствам контроля и испытаний;
- экономический анализ эффективности создания новой техники и т.д.

Этап разработки (проектирования) продукции. На этом этапе осуществляется разработка рабочей конструкторской документации, технологической документации для изготовления опытных образцов, проводится утверждение технических условий для организации серийного (или массового) производства.

На стадии разработки технической (конструкторской и технологической) документации на изделие производится:

- формирование в техническом задании и договоре на разработку полного комплекса функциональных требований к новой продукции;
- многовариантное проектирование с использованием патентных исследований и опыта производства, эксплуатации и ремонта аналогичных изделий с выбором оптимального проекта;
- детальная проработка проекта с широким применением стандартизованных, унифицированных, проверенных в эксплуатации комплектующих изделий и конструкторско-технологических решений, с использованием методов математического моделирования;
- подтверждение рациональности выбранных технических решений путем всесторонних испытаний опытных образцов в условиях, максимально приближенных к условиям эксплуатации и т.д.

Показатели качества, предусмотренные в проекте, должны четко и однозначно отражать критерии приемки и отбраковки продукции. Критерии приемки, обеспечивающие оценку изделия, включают: эксплуатационные данные, допуски и характерные признаки, методы испытаний и измерений, требования к точности оборудования и т.д. В процессе разработки изделия проводится периодическая оценка проекта на наиболее важных этапах разработки изделия.

Проведение испытаний, как правило, включает:

- оценку эксплуатационных свойств, долговечности, безопасности и ремонтпригодности в предполагаемых условиях хранения и эксплуатации продукции;
- проверку запроектированных показателей на соответствие назначению;
- утверждение программного обеспечения ЭВМ.

По завершению каждого этапа разработки проекта проводится критический анализ результатов проектирования. Система качества также должна предусматривать возможность внесения изменений в проект на основе опыта, накопленного в процессе производства и эксплуатации.

Этап производства. На этом этапе осуществляется организация промышленного изготовления изделий (деталей, узлов) в соответствии с плановыми заданиями и сформированным уровнем качества, а также повышение качества изделий на основе опыта эксплуатации. Основным условием обеспечения качества продукции на данном этапе является изготовление ее в строгом соответствии с

технической документацией. Для этого при производстве продукции осуществляется:

- применение прогрессивных энерго-, ресурсо- и материалосберегающих и экологически чистых технологий;
- параллельная с разработкой продукции подготовка серийного производства, включая технологическую подготовку, подготовку кадров, освоение новых ТП;
- внедрение комплексной системы технического контроля, от входного контроля материалов и комплектующих изделий до приемки готового изделия;
- применение методов и средств контроля и испытаний, обеспечивающих требуемую точность и достоверность результатов;
- аттестация организационно-технического уровня производства и сертификации продукции;
- своевременное снятие с производства устаревшей продукции.

Планирование процесса производства должно предусматривать последовательный контроль режима производства: контроль материалов, оборудования, процессов и технологии, математического обеспечения для ЭВМ, персонала, условий труда, материально-технического снабжения.

Система качества должна предусматривать и квалифицированную проверку специальных техпроцессов, в которых предъявляются особо высокие требования к рабочим условиям: времени, температуре, влажности и т.д.

Все производственное оборудование проверяется на точность до ввода в эксплуатацию. Порядок и методы проверки контрольно-измерительного и испытательного оборудования должны быть отражены в соответствующих документах, т.е. зафиксированы.

Оценка стабильности производства осуществляется в рамках сертификации продукции или сертификации производства и системы качества с учетом специфики производства.

Этап эксплуатации. На этом этапе осуществляется ввод в эксплуатацию изделий, при этом одновременно производится:

- подготовка и обучение персонала приемам и методам эксплуатации новой продукции;
- организация системы технического обслуживания и контроля качества продукции;
- поддержание качества продукции при эксплуатации и удовлетворение рекламаций;

- авторский надзор за продукцией со стороны изготовителя;
- совершенствование продукции в эксплуатации (доработка по бюллетеням);
- создание системы информации о качестве и надежности продукции в эксплуатации. Особенно важным является своевременное получение объективной информации по показателям безопасности и надежности, о рекламациях, повторяемости отказов и других дефектах.

Как показывает опыт, функционирование системы качества создает благоприятный психологический климат на предприятии: выполнение процессов идет без помех, ошибок и отступлений, улучшается сотрудничество между подразделениями предприятия, ощущается более сознательное отношение к обеспечению качества у всех сотрудников, а новые из них быстрее включаются в производственный процесс.

5.2. Обеспечение ремонтпригодности при разработке изделий. ГОСТ 23660-79

Под **ремонтпригодностью** понимают свойство ТС (изделия), заключающееся в приспособленности ее к обнаружению и устранению отказов, а также к их предупреждению.

Цель обеспечения ремонтпригодности – снижение временных и финансовых затрат на ремонт и техническое обслуживание (ТО) в процессе эксплуатации изделий [48]. Следовательно, обеспечение ремонтпригодности, улучшает один из показателей качества и качество продукции в целом. При отработке изделия на ремонтпригодность:

- снижается частота и потребность в ремонте и ТО изделия;
- повышается технологичность и ремонтная технологичность изделий;
- понижаются требования к квалификации персонала, осуществляющего ремонт и ТО.

Для достижения ремонтпригодности необходимо:

- повышать доступность, легкоъемность узлов, обеспечить взаимозаменяемость, унифицировать и стандартизировать детали и сборочные единицы;

- ограничивать число и ассортимент материалов, инструментов, вспомогательного оборудования, приспособлений для ТО и ремонта.

Квалификацию персонала, осуществляющего ремонт, удастся снизить за счет:

- автоматизации процессов диагностики и контроля технического состояния изделий;
- простоты и определенности в обозначении мест для контроля и обслуживания изделия;
- разработанных процессов для диагностики, а также замены отказавших узлов;
- применения соединений, конструкций, материалов, исключающих неправильный монтаж-демонтаж блоков;
- разработки подробной документации по ТО и ремонту изделий.

Исходя из вышеперечисленных требований, ремонтпригодность необходимо обеспечить на всех этапах проектирования изделия по специально составленной программе.

Для количественной оценки ремонтпригодности изделий:

- исследуются и анализируются зависимости показателей ремонтпригодности от конструктивных характеристик, массогабаритных параметров, показателей надежности, потребляемой мощности и т.п.;
- учитываются и анализируются операции по ТО и ремонту с точки зрения необходимости и периодичности с оценкой затрат времени, труда и средств на их выполнение, для чего:
 - определяется периодичность проведения ТО и ремонта для каждого изделия, сборочной единицы, системы;
 - определяется оптимальный порядок ремонтных и обслуживающих операций, а также количество необходимого персонала;
 - оценка трудоемкости и стоимости по каждой операции;
 - составление необходимой документации;
 - определение примерного состава оборудования, материалов, запасных частей, оснастки для проведения ремонтных работ;
- составляется ремонтная документация.

Для обеспечения ремонтпригодности изделий необходимы следующие исходные данные:

- по надежности деталей и узлов ЭС;

- по определению частоты и причины отказов ЭС и их компонентов;
- по испытаниям изделий на предельное состояние.

Работы по обеспечению ремонтпригодности аппаратуры проводятся в первую очередь с компонентами, в большей степени влияющими на качество продукции и/или дорогие, быстроизнашивающиеся, уязвимые при воздействии окружающей среды.

В технически и экономически обоснованных случаях должна закладываться возможность восстановления деталей, узлов и блоков уже на этапе проектирования изделия, а, следовательно, порядок операций по ремонту, периодичность замены, вероятность непланового ремонта, ремонтная документация и т.п.

Для обеспечения ремонтпригодности сборочных единиц в процессе их разработки:

- исходными данными служит информация: о надежности, ремонтпригодности при работе в РЭА, о затратах времени, труда и средств на ремонт и ТО; результаты испытаний новых типов сборочных единиц;
- определяется единая или кратная периодичность для проведения ТО или ремонта для каждой сборочной единицы;
- на стадии разработки ТЗ, в зависимости от сложности сборочных единиц и их функциональности, определяются необходимые показатели их ремонтпригодности, а также их значения;
- выделяются сборочные единицы и их составные части, требующие применения новых ТП, специального оснащения для ТО и ремонта;
- определяется предполагаемое количество запасных частей на срок эксплуатации до планового ремонта и списания;
- определяются способы утилизации или переработки сборочных единиц, вышедших из строя или после выработки ресурса;
- регламентируются условия хранения сборочных единиц.
- проводится оценка принятых мер по обеспечению ремонтпригодности сборочных единиц.

Для обеспечения ремонтпригодности изделий при разработке:

- определяется список деталей, ресурс которых меньше ресурса изделия в целом;

- определяется целесообразность, организация и периодичность проведения ремонта и ТО изделий;
- на основании оценки надежности и ресурса изделия определяется количество запасных частей на срок эксплуатации до планового ТО и списания;
- рассчитываются показатели ремонтпригодности изделий, которые подлежат проверке на основе опыта их эксплуатации;
- составляется план мероприятий для улучшения ремонтпригодности изделий, выпускающихся серийно;

По действующему ГОСТ 23660-79 основными показателями ремонтпригодности по каждому виду изделий, в общем, являются следующие:

- средняя продолжительность ТО или ремонта по каждой операции и в целом;
- средняя трудоемкость ТО или ремонта по каждой операции и в целом;
- средняя стоимость ТО по каждой операции и в целом;
- коэффициент доступности;
- коэффициент взаимозаменяемости;
- коэффициент легкоъемности;
- показатель технологичности при монтаже;
- коэффициент унификации;
- коэффициент стандартизации.

Продолжительность и трудоемкость определяются исходя из затрат времени и нормативов на ТО и ремонт для каждой операции в отдельности. На частные показатели трудоемкости операций влияет:

- тип движения исполнителя;
- длительность движения;
- повторяемость движений;
- темп усилий;
- удобство выполнения движений;
- зона расположения исполнителя относительно изделия;
- расстояние от исполнителя по плоскостям;
- обзор и т.п.

Затем частные показатели суммируются, и составляется документация на ТО и ремонт по каждому виду изделия.

5.3. Надежность ЭС на этапе проектирования

Надежность – свойство аппаратуры, которое заключается в способности сохранять постоянство своих технических характеристик в некоторых пределах при заданных условиях эксплуатации в течение определенного времени.

Надежность – важнейший показатель качества ЭС, т.к. ненадежная техника даже с сертификатом качества нужна лишь как элемент мебели.

Надежность – комплексный показатель, определяющийся набором величин.

Понятие надежности тесно связано с понятиями безотказности, долговечности, ремонтпригодности, сохраняемости и др.

Под **безотказностью** ЭС понимают свойство непрерывно сохранять работоспособность в течение заданного промежутка времени при данных условиях эксплуатации.

Долговечность – это свойство ТС сохранять работоспособность до наступления предельного состояния при установленных правилах обслуживания и ремонта.

Сохраняемость – свойство системы сохранять показатели безотказности, долговечности и ремонтпригодности в течение времени хранения и (или) транспортировки и после хранения и транспортировки.

Живучесть – надежность ЭС в условиях разрушающего воздействия внешних факторов.

Эффективность ЭС – приспособленность их к выполнению технических и экономических задач.

Отказ – случайное событие, состоящее в том, что прибор перестает выполнять свои функции.

Неисправность – предусматривает нарушение работы аппарата, но необязательно выводит его из строя.

Отказы можно разделить на 3 вида:

- внезапные (причина – скрытые дефекты, дефекты производства, напряжения и т.д.);
- постепенные – возникают с течением времени эксплуатации; характерны тем, что изделие работоспособно, но некоторые его характеристики выходят за пределы, предусмотренные техническими условиями. Причина – старение и износ деталей, элементов;

- **сбой** – кратковременный самоустраниющийся отказ. Причина – дефекты программ, залипание контактов. Сбой характерен для ЭС и является самым опасным видом отказа.

Так как надежность – сложное свойство, то существуют следующие единые показатели для оценки ее частных свойств.

Показатели безотказности

Для невозстанавливаемых (неремонтируемых) ЭС:

- вероятность безотказной работы;
- частота отказов;
- интенсивность отказов;
- средняя наработка до отказа.

Для восстанавливаемых (ремонтируемых) ЭС:

- вероятность безотказной работы;
- параметр потока отказов (интенсивность);
- средняя наработка на отказ.

Показатели долговечности

Для невозстанавливаемых ЭС:

- средний срок службы;
- средний срок службы до списания;
- гамма-процентный срок службы;
- назначенный ресурс;
- средний ресурс;
- гамма-процентный ресурс.

Для восстанавливаемых ЭС:

- средний срок службы;
- средний срок службы до списания;
- гамма-процентный срок службы;
- средний срок службы до среднего (капитального) ремонта;
- средний срок службы между средними (капитальными) ремонтами;
- назначенный ресурс;
- средний ресурс;
- гамма-процентный ресурс;
- средний ресурс между средними (капитальными) ремонтами;
- средний ресурс до списания;
- средний ресурс до среднего (капитального) ремонта.

Показатели ремонтпригодности

- вероятность восстановления в заданное время;

- среднее время восстановления.

Показатели сохраняемости

- средний срок сохраняемости;
- гамма-процентный срок сохраняемости.

К комплексным показателям надежности относятся:

- коэффициент готовности;
- коэффициент технического использования;
- коэффициент оперативной готовности;
- средняя и удельная суммарная трудоемкость технического обслуживания;
- средняя и удельная суммарная трудоемкость ремонтов.

На надежность на этапе проектирования будут влиять:

- принятые конструкторские решения;
- принятые схемотехнические решения;
- параметры, закладываемые проектировщиком, которые будут влиять на ЭС в процессе ее производства и эксплуатации.

Учет влияния факторов на надежность ЭС в процессе производства и эксплуатации производится на этапе проектирования с помощью коэффициентов [49]:

$$\lambda_{\text{экспл}} = \lambda_0 \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot \dots ,$$

где: $\lambda_{\text{экспл}}$ – интенсивность отказов с учетом влияния производственных и эксплуатационных факторов;

λ_0 – расчетная или лабораторная интенсивность отказов;

k_1, k_2, k_3, \dots – коэффициенты, которые понижают или повышают λ_0 , – это коэффициенты: вибрации, электрической нагрузки, влияния температуры, радиации, и т.д.

Расчетное значение λ_0 рассчитывается, исходя из известных значений интенсивностей ЭРЭ, узлов и блоков по формуле:

$$\lambda_0 = \sum_{i=1}^S \lambda_{0i} ,$$

где: λ_{0i} – интенсивность отказа i -го элемента;

S – количество элементов.

Для увеличения надежности на этапе проектирования ЭС необходимо следующее:

- применение оптимальных конструкторских и схемотехнических решений;
- использование типовых конструкторских и технологических решений;
- использование простых структур и простых структурных схем;
- защита аппаратуры от внешних воздействий (амортизация, герметизация, термостатирование и др.);
- равномерное распределение нагрузок на подсистемы;
- создание условий для быстрого отыскания отказавших элементов (обеспечение ремонтпригодности);
- использование методов отработки схемотехнических и конструкторских решений на надежность;
- резервирование элементов аппаратуры, создание избыточности.

5.4. Расчеты надежности ЭС

Расчет на надежность является необходимым инструментом для определения уровня надежности ЭС.

В результате расчета определяются количественные показатели надежности ЭС.

Расчет может выполняться на этапе проектирования и на этапе эксплуатации.

На этапе проектирования расчет проводится с целью прогнозирования и определения ожидаемой надежности проектируемого аппарата.

На результаты расчетов влияют: выбор элементной базы, наличие и вид резервирования и т.п. После расчета можно определить количество ЗИП (запасного имущества прибора).

На этапе эксплуатации цель расчета другая – оценить количественные показатели надежности аппаратуры.

На основе этих расчетов разрабатываются методы профилактики, методы повышения надежности, соблюдения температурного режима и т.д.

В задание на расчет надежности входят следующие данные:

- состав аппаратуры (структурные или функциональные схемы);
- назначение и основные сведения о работе этой аппаратуры;
- показатели надежности элементов и узлов;

- указания об отказах, которые необходимо учитывать при расчете;
- определение условий эксплуатации аппарата;
- требование к полноте учета факторов, влияющих на ЭС;
- требуемый уровень надежности ЭС.

Выбор метода расчета надежности определяется заданием на расчет надежности и исходными данными для расчета.

Расчеты на надежность можно классифицировать следующим образом.

1. Расчет на заданную надежность.

Расчет сводится к определению интенсивности отказов узлов по заданному заказчиком среднему времени безотказной работы T_0 прибора. Сначала определяется общая интенсивность отказов по формуле:

$$\lambda_{общ} = \frac{1}{T_0} , \quad (5.1)$$

затем надежность всего объекта:

$$P_{общ} = \exp(-\lambda_{общ} \cdot t) , \quad (5.2)$$

после этого определяются интенсивности отказов узлов λ_i по зависимости:

$$P_{общ} \leq f(p_1, p_2, \dots, p_n) \quad (5.3)$$

и из выражения (5.2).

Расчет проводится при проектировании ЭС.

Задача усложняется из-за необходимости представления в аналитическом виде функции в (5.3).

2. Проверочный расчет.

Цель – проверить значение показателей надежности на определенный момент времени.

Зная λ_i для всех узлов, находят T_0 по соотношению (5.1) и $P_{общ}$ по (5.2). Затем оценивается полученный результат.

В зависимости от полноты учета влияющих факторов, проверочные расчеты делятся на 3 типа:

- оценочный;
- ориентировочный;
- уточненный.

Оценочный расчет

Проводится на этапе проектирования, когда еще не разработана принципиальная электрическая схема в окончательном виде. Используются соотношения:

$$P(t) = \exp(-\lambda_C \cdot t), \quad \lambda_C t \ll 1, \quad \lambda_0 = \sum_{i=1}^S \lambda_i.$$

При этом расчете делается 3 предположения:

- все элементы одного типа равнонадежные;
- интенсивность отказов λ не зависит от времени t ;
- отказ любого элемента приводит к отказу всей системы.

Цель этого расчета проверить выполнимость требований по надежности, заданных в ТЗ заказчиком, а также сравнение различных вариантов конструкций.

Ориентировочный расчет

При этом расчете делается 5 предположений:

- все элементы одного типа равнонадежные;
- интенсивность отказов λ не зависит от времени t ;
- отказ любого элемента приводит к отказу всей системы;
- все элементы работают в номинальном режиме;
- отказы считаются случайными явлениями, и друг от друга не зависят.

Полагают, что все элементы работают одновременно.

Для ориентировочного расчета учитывается количество элементов и их тип. Так же для него нужна модель надежности системы и интенсивности отказов всех элементов.

Уточненный расчет

Учитывает все типы элементов и режимы их работы (тепловой, электрический и т.д.).

$$\lambda_{\text{экспл}} = \lambda \cdot \alpha \cdot k,$$

где: k – коэффициент или набор коэффициентов, учитывающий условия эксплуатации:

$$k = k_{\text{вибр}} \cdot k_{\text{уд}} \cdot k_{\text{вл}} \cdot k_{\text{рад}} \cdot \dots;$$

α – учитывает режим работы ЭС по нагрузке и температуре:

$$\alpha = \varphi(K_H, T),$$

K_H – коэффициент нагрузки, рассчитываемый по соотношению:

$$K_H = \frac{A_{\text{факт}}}{A_{\text{номин}}} \leq 1 ,$$

где: $A_{\text{факт}}$ – фактическое значение параметра ЭС (мощность, напряжение, частота и т.д.);

$A_{\text{номин}}$ – номинальное значение того же параметра.

Для этого расчета нужна модель, учитывающая связи между элементами, составляемая на основе электрических схем.

Схема расчета на надежность изображена на рис. 5.1.

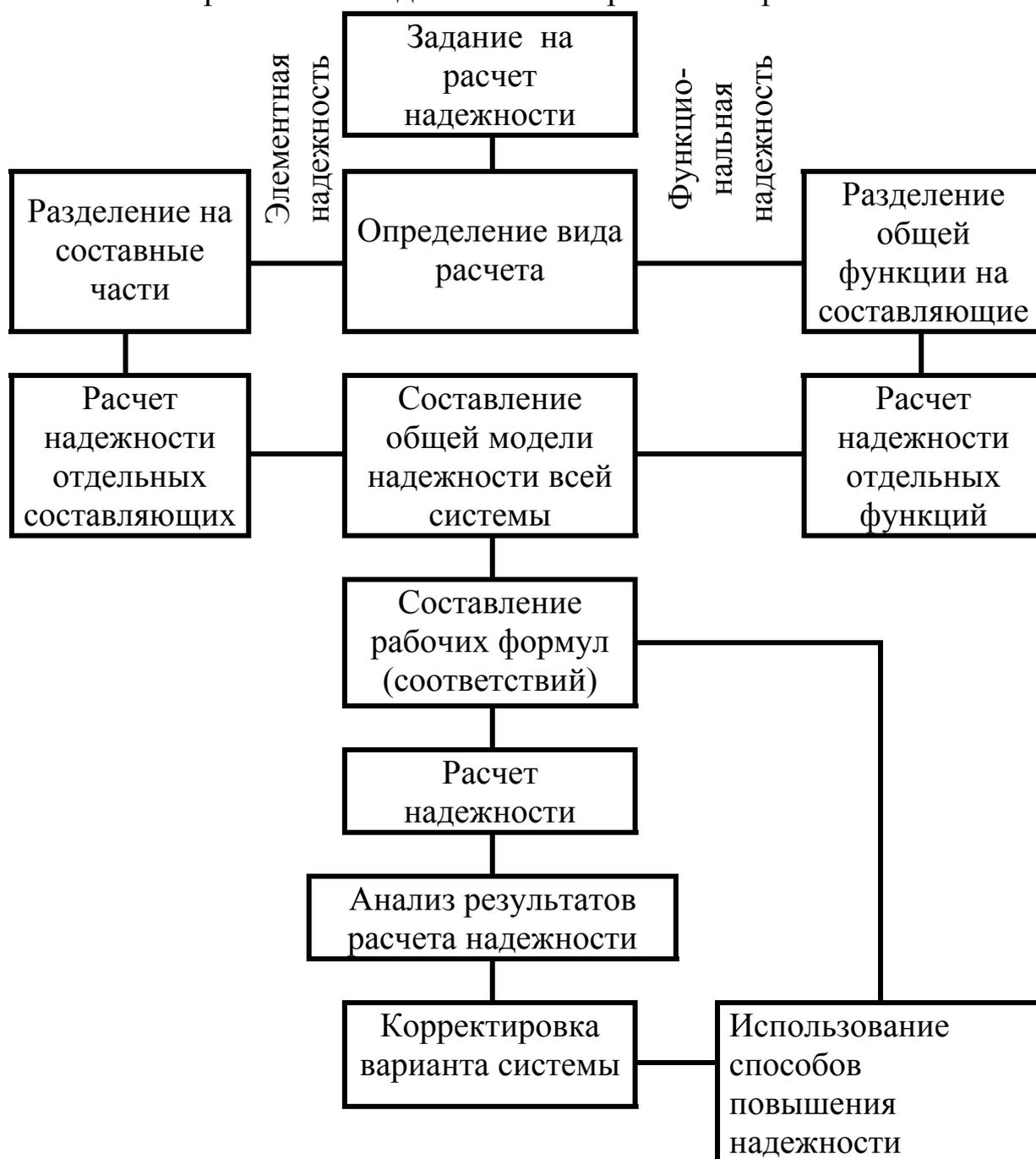


Рис. 5.1. Порядок расчета на надежность

5.5. Резервирование ЭС

Резервирование – такой способ повышения надежности, при котором создается избыточность в аппаратуре (элементная, информационная или временная).

Резервирование делится на:

- **элементное** – элемент резервируется таким же элементом;
- **информационное** – для обнаружения и устранения сбоев в аппаратуре путем использования информационных кодов;
- **временное** – выделяется промежуток времени для профилактики и ремонта аппаратуры (рис. 5.2).

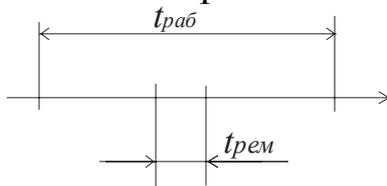


Рис. 5.2. Выделение временного промежутка для ремонта и профилактики

По способу включения резервных элементов резервирование делится на:

1. постоянное: резервные элементы постоянно включены в схему (систему).

Недостаток: из-за постоянного включения резервных блоков их запас надежности расходуется (запас надежности элементов падает).

2. Включение резервных элементов путем замещения: резервный элемент включается только при выходе из строя основного элемента.

Достоинство: не расходуется запас надежности.

3. Скользящее резервирование: резервные элементы заменяют любой элемент такого же типа в любой части аппарата (рис. 5.3).

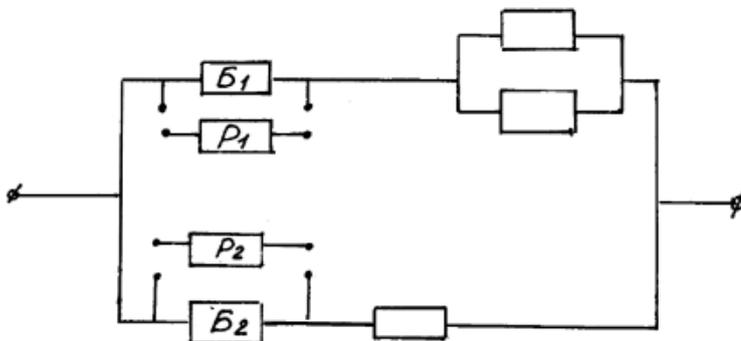


Рис. 5.3. Скользящее резервирование

Резервирование в аппаратуре можно разделить на 3 типа.

1. Общее резервирование (рис. 5.4).

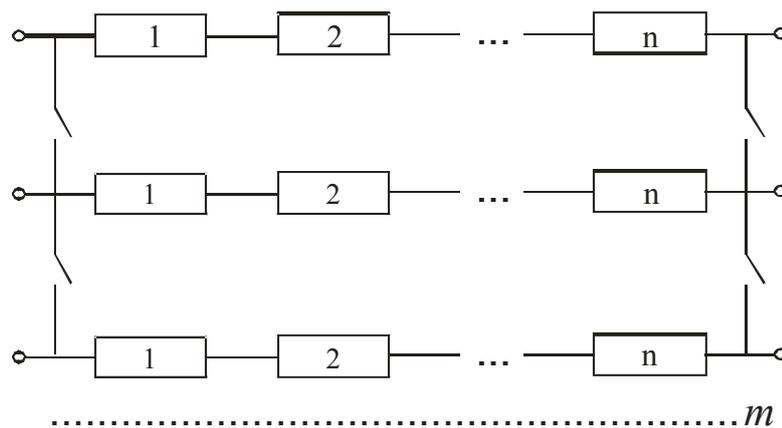


Рис. 5.4. Общее резервирование

При общем резервировании: вся цепь из n элементов, в случае ее выхода из строя, заменяется на такую же – резервную при помощи коммутирующих устройств. В общем случае такая конструкция может иметь $(m-1)$ резервных цепей.

Тогда, **кратность резервирования** будет показывать отношение суммы основных и резервных блоков к количеству основных. Для общего резервирования с одной основной цепью (на рис. 5.4):

$$K = \frac{m}{1} = m . \quad (5.4)$$

Определим вероятность безотказной работы зарезервированной таким образом системы, используя соотношения:

$$p = 1 - q ,$$

где: p – вероятность безотказной работы;

q – вероятность отказа элемента;

для последовательной цепи из двух разных блоков:

$$P_{\text{общ}} = p_1 \cdot p_2 ,$$

при параллельном включении элементов:

$$Q_{\text{общ}} = q_1 \cdot q_2 .$$

Для начала рассчитаем вероятность безотказной работы основной цепи:

$$P_{осн\ цепи} = \prod_{i=1}^n p_i \cdot$$

Тогда, вероятность отказа основной цепи (или резервной):

$$Q_{осн\ цепи} = 1 - \prod_{i=1}^n p_i \cdot$$

Вероятность отказа системы:

$$Q_{системы} = \prod_{j=1}^m Q_{цепи\ j} = Q_{цепи\ j}^m = (1 - \prod_{i=1}^n p_i)^m \cdot$$

Тогда общая вероятность безотказной работы всей системы равна:

$$P_{системы} = 1 - (1 - \prod_{i=1}^n p_i)^m \cdot \quad (5.5)$$

2. Раздельное резервирование (см. рис. 5.5).

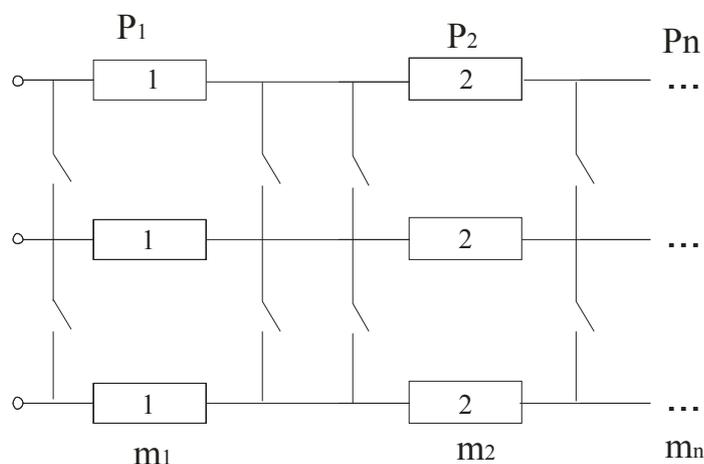


Рис. 5.5. Раздельное резервирование

При раздельном резервировании каждому из элементов может подключиться с помощью коммутаторов до $(m-1)$ резервных элементов.

Недостаток: большое количество переключателей, которые снижают надежность.

Для определения общей надежности системы при таком виде резервирования сначала определим вероятность отказа столбца элементов вместе с резервными элементами:

$$Q_{\text{столбца}} = \prod_{j=1}^m q_j \cdot$$

Затем, определим вероятность безотказной работы столбца элементов:

$$P_{\text{столбца}} = 1 - \prod_{j=1}^m q_j = 1 - \prod_{j=1}^m (1 - p_j) \cdot$$

Тогда общая вероятность работоспособности для последовательно соединенных элементов будет:

$$P_{\text{системы}} = \prod_{i=1}^n (1 - \prod_{j=1}^m (1 - p_j)) = \prod_{i=1}^n (1 - (1 - p_i)^m) \cdot \quad (5.6)$$

3. Мажоритарное резервирование

Используется в ЭС для ликвидации сбоев. Основу системы составляет решающий элемент, на вход которого поступает однотипная информация (рис. 5.6). При «голосовании» происходит отсеив сбойных сигналов и на выход поступает сигнал без ошибки.



Рис. 5.6. Мажоритарное резервирование

5.6. Обеспечение надежности ЭС на этапе производства. ГОСТ 23502-79

По стандарту [50] **технологический прогон** – это заключительный этап процесса изготовления ЭС, представляющий собой относительно непродолжительную его работу (в соответствии с назначением) в условиях, близких к эксплуатационным, с целью обнаружения и устранения скрытых дефектов.

Технологическому прогону подвергают те ЭС, для которых установлен период приработки и выявлена его экономическая целесообразность в соответствии с отраслевым стандартом (ОСТ) или стандартом предприятия (СТП).

Периодом приработки называется начальный период времени наработки ЭС, в течение которого имеет место устойчивая тенденция к уменьшению параметра потока отказов из-за наличия скрытых дефектов. Приработку заканчивают к моменту времени, после которого уменьшение параметра потока (интенсивности) отказов можно считать прекратившимся. После периода приработки следует период, при котором вероятность отказа достаточно мала.

Если изделие не имеет периода стабильной, безотказной работы после приработки или сразу после изготовления, то технологический прогон в этом случае нецелесообразен. В остальных случаях период приработки определяется либо из статистических данных, либо в результате специальных испытаний контрольных образцов.

Продолжительность технологического прогона ЭС обычно составляет часть периода его приработки.

Технологическому прогону подвергают все выпускаемые ЭС.

При технологическом прогоне ЭС:

- выявляются и устраняются скрытые дефекты;
- стабилизируются технические характеристики изделия;
- устраняются дефекты, не выявленные в ходе технического контроля;
- сокращается число изделий со скрытыми дефектами;
- появляется возможность принимать меры по устранению причин появления скрытых дефектов продукции;
- накапливаются статистические данные, используемые в дальнейшем для повышения качества ЭС;
- производится взаимная приработка отдельных элементов.

При организации технологического прогона ЭС регламентируются:

- внешние условия проведения;
- режимы работы изделия при прогоне и продолжительность времени каждого режима;
- перечень параметров, контролируемых в результате прогона, периодичность измерений, точность измерений;
- формы учета отказов и дефектов;
- порядок обработки результатов прогона;
- порядок разработки и реализации мероприятий по устранению причин дефектов;
- порядок расчета экономического эффекта от внедрения технологического прогона.

Условия проведения прогона соответствуют предельным условиям при эксплуатации ЭС, указанным в документации (пониженное/повышенное напряжение питания ЭС, частые включения/выключения аппаратуры и т.п.).

Оптимальная продолжительность прогона устанавливается, исходя из:

- статистических данных наработки ЭС между отказами;
- затрат завода-изготовителя на технологический прогон, гарантийный ремонт и замену изделия.

После проведения технологического прогона, отказавшие восстанавливаемые изделия ремонтируются, а невосстанавливаемые заменяются новыми.

Для изделий желательно обеспечить непрерывный контроль работоспособности. В противном случае периодичность контроля устанавливается переменной: с большей частотой в начале прогона и с меньшей – в конце, т.к. наибольшее число отказов возникает на начальном этапе проверки работоспособности ЭС.

При непрерывном контроле восстанавливаемых и невосстанавливаемых изделий наработка испытываемых изделий на один отказ в интервале времени (t_{j-1}, t_j) :

$$\tau_j = N_j(t_j - t_{j-1}), \quad (5.7)$$

где: N_j – число работоспособных изделий, находящихся под наблюдением, начиная с момента времени $t = t_{j-1}$;

t_j – наработка до j -й проверки или до j -го отказа, при этом $t_0 = 0$.

Для периодического контроля восстанавливаемых и невосстанавливаемых изделий τ_j вычисляется по формуле:

$$\tau_j \approx \frac{N_j}{m_j} (t_j - t_{j-1}), \text{ при } \frac{N_j}{m_j} > 10 ,$$

$$\tau_j \approx \left(\frac{N_j}{m_j} - 0,5 \right) (t_j - t_{j-1}), \text{ при } \frac{N_j}{m_j} < 10 , \quad (5.8)$$

где: m_j – число отказов, возникших на интервале $(t_{j-1}; t_j)$ (при непрерывном контроле работоспособности $m_j=1$).

Соотношения (5.7) и (5.8) справедливы при условии, что на время контроля и восстановления работоспособности или замены изделий все испытываемые изделия прекращают работу, либо время контроля и восстановления значительно меньше интервала наработки между смежными проверками.

При периодическом контроле для некоторого j :

$$m_j = 0, \quad \tau_j = \tau_{j+1} ,$$

$$\tau_{j+1} = \frac{N_j (t_{j+1} - t_{j-1})}{m_{j+1}} , \quad (5.9)$$

где величину ω_j вычисляют по формуле:

$$\omega_j = \frac{1}{\tau_j} .$$

Величины $\omega_1, \omega_2, \omega_3, \dots$ должны образовывать невозрастающую последовательность (от конца к началу):

$$\omega_1 \geq \omega_2 \geq \dots \geq \omega_j \geq \dots \geq \omega_n .$$

Если этого не происходит, то проводятся поэтапные усреднения для получения необходимого результата. Для этого сравнивается ω_j с ω_{j+1} (начиная с ω_1).

Если $\omega_j > \omega_{j+1}$, то переходят к сравнению со следующим значением ω_{j+2} , а значение ω_j записывают в строку с индексом j .

Если:

$$\omega_j = \omega_{j+1} = \dots = \omega_{j+g-1} \leq \omega_{j+g} > \omega_{j+g+1} ,$$

то вычисляется усредненное значение:

$$\omega'_j = \frac{g+1}{\sum_{i=j}^{i=j+g} \tau_i}, \quad (5.10)$$

где $g+1$ – число усредняемых значений ω_j .

Полученное усредненное значение по формуле (5.10) записывают $g+1$ раз в строки, начиная с индекса j до $j+g$.

После усреднения значений ω от ω_j до ω_{j+g} переходят к сравнению значений ω_{j+g+1} и ω_{j+g+2} и т.д., пока не будут рассмотрены все значения ω .

Если последовательность ω не образует убывающую последовательность, то проводят вторичное усреднение и т.д.

Полученные значения представляются в виде графика экспериментальной функции $\omega^*(t)$ (см. рис. 5.7).

Если ступенчатая функция не получается убывающей, то процесс приработки для данного вида изделий не имеет места.

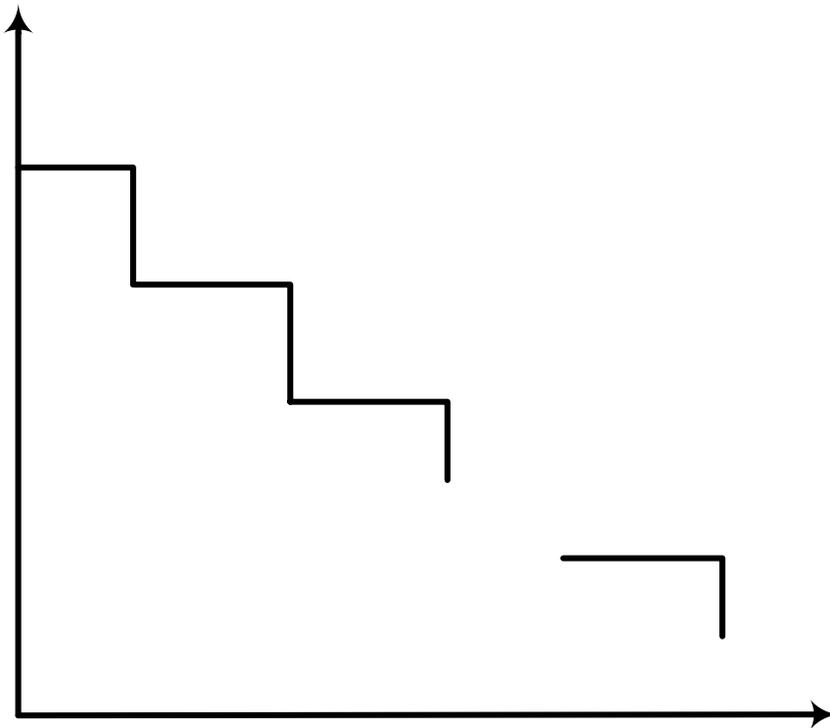


Рис. 5.7. Ступенчатая функция $\omega^*(t)$

Далее ступенчатая функция $\omega^*(t)$ аппроксимируется с помощью зависимости:

$$\omega^*(t)$$

$$\omega(t) = b_1 \exp(-\alpha \cdot t) + b_0, \quad (5.11)$$

где: b_0, b_1, α – безразмерные положительные коэффициенты.

Коэффициент b_0 вычисляется по формуле:

$$b_0 = \frac{\omega_1 \cdot \omega_n - \omega_{cp}^2}{\omega_1 + \omega_n - 2 \cdot \omega_{cp}}, \quad (5.12)$$

где:

ω_1 – ордината экспериментальной функции, абсциссу для которой t_1 выбирают по возможности равной одному из первых значений t_j ;

ω_n – ордината экспериментальной функции, абсциссу для которой t_n выбирают равной одному из первых значений t_j ;

ω_{cp} – ордината экспериментальной функции, абсциссу для которой t_{cp} вычисляют по формуле:

$$t_{cp} = \frac{t_1 + t_n}{2}. \quad (5.13)$$

Оставшиеся коэффициенты b_1 и α вычисляют по формулам:

$$\ln b_1 = \frac{\sum_{j=1}^k x_j^2 \sum_{j=1}^k y_j - \sum_{j=1}^k x_j y_j \sum_{j=1}^k x_j}{k \sum_{j=1}^k x_j^2 - \left(\sum_{j=1}^k x_j \right)^2}, \quad (5.14)$$

$$\alpha = \frac{\left| k \sum_{j=1}^k x_j y_j - \sum_{j=1}^k x_j \sum_{j=1}^k y_j \right|}{\left| k \sum_{j=1}^k x_j^2 - \left(\sum_{j=1}^k x_j \right)^2 \right|}, \quad (5.15)$$

где: k – количество скачков экспериментальной функции;

x_j – расстояние от начала координат до середины интервала (t_{j-1}, t_j) , которое определяется по соотношению:

$$x_j = \frac{t_{j-1} + t_j}{2}, \quad (5.16)$$

$$y_j = \ln(\omega_j - b_0), \quad (5.17)$$

где ω_j – последнее значение в таблице.

Найденные значения по формулам (5.14) - (5.17) подставляются в (5.11) и строится график (см. рис. 5.8).

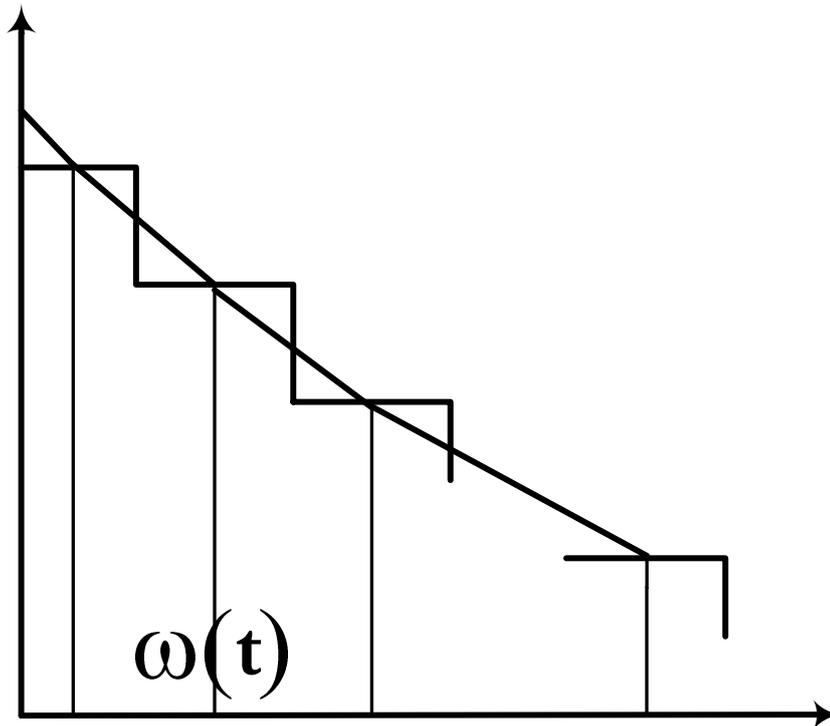


Рис. 5.8. Аппроксимирующая функция $\omega(t)$

Для оптимизации продолжительности технологического прогона учитываются минимальные суммарные затраты завода-изготовителя на проведение прогона и на гарантийные ремонты/замены изделий, а также заданный уровень надежности.

Поэтому, оптимальную продолжительность прогона вычисляют по формуле:

$$t_{opt}^{np} = \frac{1}{\alpha} \ln \left[\frac{2b_1(C_{zp} - C_2 - C_4)}{C_1 + C_3 + b_0(C_2 + C_4)} \right], \quad (5.18)$$

3

где: b_0, b_1, α – безразмерные коэффициенты, вычисляемые по формулам (5.12), (5.14) и (5.15);

$C_{гр}$ – средние затраты завода-изготовителя на устранение отказа единицы продукции в течение гарантийного срока, руб.;

C_1 – заработная плата работников участка технологического прогона по обслуживанию одного изделия в час, руб.;

C_2 – средние расходы на заработную плату персонала, занятого ремонтом, отнесенные к одному отказу изделия, руб.;

C_3 – средние расходы на электроэнергию, отнесенные к одному изделию в течение одного часа технологического прогона, руб.;

C_4 – средняя стоимость комплектующих изделий и материалов, требующихся для ремонта одного отказавшего невосстанавливаемого изделия, руб.

При ограничении суммарных затрат C_C заводом-изготовителем на проведение технологического прогона и гарантийный ремонт, определяют гарантированную наработку оптимальной продолжительности, получаемую при введении технологического прогона:

$$T_{\max}^{zp} = \frac{1}{C_{zp} b_0} \left\{ C_C - [C_1 + C_3 + b_0(C_2 + C_4)] \cdot t_{opt}^{np} - \right. \\ \left. - \frac{b_1}{\alpha}(C_2 + C_4) - \frac{b_1}{\alpha} \exp(-\alpha \cdot t_{opt}^{np}) \cdot (C_{zp} - C_2 - C_4) \right\}. \quad (5.19)$$

Для определения годового экономического эффекта от внедрения технологического прогона оптимальной продолжительности воспользуемся соотношением [51]:

$$\mathcal{E} = E_1 - E_2, \quad (5.20)$$

где: E_1 – затраты завода-изготовителя на ремонт изделий в течение гарантийного срока $T_{гр}$ при отсутствии технологического прогона, руб. Определяются по соотношению:

$$E_1 = C_{zp} N \cdot \left[b_0 T_{zp} + b_1 (1 - \exp(-\alpha \cdot T_{zp})) \right], \quad (5.21)$$

где: N – годовой объем выпуска;

E_2 – суммарные затраты завода-изготовителя на гарантийные ремонты изделий и на проведение технологического прогона оптимальной продолжительности, руб. Определяются как:

$$\begin{aligned}
E_2 = & C_1 \cdot N \cdot t_{opt}^{np} + (C_2 + C_4)N \cdot \left\{ b_0 \cdot t_{opt}^{np} - \right. \\
& \left. - \frac{b_1}{\alpha} (1 - \exp(-\alpha \cdot t_{opt}^{np})) \right\} + C_3 \cdot N \cdot t_{opt}^{np} + \\
& + C_1 \cdot N \cdot \left\{ b_0 \cdot T_{zp} + \frac{b_1}{\alpha} \exp(-\alpha \cdot t_{opt}^{np}) \times \right. \\
& \left. \times (1 - \exp(-\alpha \cdot T_{zp})) \right\} .
\end{aligned} \tag{5.22}$$

Порядок внедрения технологического прогона можно разложить на три этапа:

- подготовительный этап, – на нем:
 - определяют: наличие периода приработки, экономическую целесообразность проведения технологического прогона;
 - обрабатывают статистические данные об отказах;
 - строится график $\omega^*(t)$;
 - вычисляют коэффициенты b_0 , b_1 , α , определяющие теоретическую функцию $\omega(t)$;
 - по соотношениям (5.18) и (5.20) определяются оптимальную продолжительность технологического прогона и годовой экономический эффект от проведения технологического прогона оптимальной продолжительности;
 - принимается решение о необходимости технологического прогона;
 - разрабатывается необходимая документация;
- на этапе проведения технологического прогона:
 - определяются порядок работы ЭС, последовательность измерения контролируемых параметров;
 - устраняются отказы или повреждения, возникшие в результате технологического прогона;
 - результаты прогона направляются в цеха-изготовители, в подразделение надежности, отделы главного технолога и главного конструктора для анализа;
- на этапе уточнения:
 - по мере накопления статистической информации проверяется оптимальность принятой продолжительности прогона и, при необходимости, она корректируется;

- при внесении изменений в конструкцию изделия или технологию его изготовления оптимальность продолжительности технологического прогона должна проверяться.

Основными принципами обеспечения надежности ЭС на этапе производства являются [52, 53]:

- использование передовых технологических процессов;
- проверка элементов, устанавливаемых в блоки;
- тренировка элементов и узлов, устанавливаемых в аппаратуру;
- применение статистических методов контроля качества;
- повышение стабильности технологических процессов;
- повышение культуры производства.

Факторы, влияющие на надежность ЭС в процессе производства:

- стабильность технологического процесса;
- отсутствие нарушений технологического процесса;
- частота и форма контроля готовой продукции;
- уровень автоматизации (снижает уровень влияния ошибок человека);
- квалификация рабочих и ИТР;
- чистота воздуха в цехах и общая культура производства.

5.7. Надежность ЭС на этапе эксплуатации

Общие принципы обеспечения надежности ЭС при эксплуатации:

- использование научно обоснованных методов эксплуатации;
- профилактика отказов;
- использование методов прогнозирования отказов;
- тренировка и проверка вновь устанавливаемых элементов и узлов;
- улучшение условий эксплуатации (применение кондиционирования в помещении и т.д.);
- повышение квалификации обслуживающего персонала.

Факторы, влияющие на надежность ЭС в процессе эксплуатации:

- окружающая среда, ее воздействие;

- влияние человека-оператора;
- качество эксплуатации;
- старение материалов.

Контрольные вопросы

1. Какие действия производятся при управлении качеством на стадии исследования? На этапе проектирования? На этапе производства? На этапе эксплуатации?
2. Раскройте понятие ремонтпригодности изделия.
3. Какие требования предъявляются к аппаратуре для достижения ремонтпригодности?
4. Что необходимо учитывать для количественной оценки ремонтпригодности?
5. Как обеспечивается ремонтпригодность изделий? Сборочных единиц?
6. Перечислите показатели ремонтпригодности по ГОСТ 23660-79.
7. Дайте определение надежности аппаратуры.
8. Какие виды отказов характерны для ЭС? Какой из них самый опасный?
9. В чем отличие показателей надежности восстанавливаемых и невосстанавливаемых ЭС?
10. Как учитывается влияние внешних факторов на надежность на этапе проектирования РЭА?
11. Приведите пример фактора, влияние которого может повысить надежность аппаратуры на этапе проектирования.
12. Какими мерами можно увеличить надежность на этапе проектирования?
13. Для чего служат расчеты РЭА на надежность?
14. Какие еще трудности могут возникнуть при расчете на заданную надежность?
15. Какой из проверочных расчетов обладает наибольшей точностью?
16. Какими достоинствами и недостатками обладает резервирование ЭРА?
17. Перечислите достоинства скользящего резервирования.
18. У какого типа резервирования наивысшая вероятность безотказной работы?
19. Что произойдет, если при мажоритарном резервировании количество входных сигналов, поступающих в решающее устройство, будет четным?
20. В чем состоит технологический прогон? При каких условиях он проводится?

21. Как соотносятся: время приработки и время технологической приработки?
22. Что необходимо регламентировать для организации прогона?
23. Исходя из чего определяется оптимальная продолжительность прогона технического изделия?
24. Для чего величины ω_j должны образовывать неубывающую последовательность?
25. Каков порядок внедрения технологического прогона на предприятии?
26. Перечислите основные принципы обеспечения надежности ЭС на этапе производства.
27. Можно ли повысить надежность, заложенную на этапе проектирования ЭС, в процессе их производства?
28. Какие факторы влияют на надежность в процессе производства ЭС?
29. Каким образом обеспечивается надежность на этапе эксплуатации?
30. Можно ли повысить надежность ЭС в период их эксплуатации? Каким образом?
31. Как можно уменьшить влияние факторов, влияющих на надежность ЭС в процессе их эксплуатации?

Заключение

Постоянное повышение качества продукции – одна из важнейших задач любого предприятия, целью которого является выпуск конкурентоспособной и надежной продукции. Такие страны, как Япония, США, Англия, Германия занимаются разработками в области качества уже несколько десятков лет, что позволило им выйти на передовые позиции и завоевать существенные доли рынка. Не отстают от них Корея и Китай, с каждым годом увеличивая как количество, так и качество продукции. За ними попятам идут Малайзия, Тайвань, Индия и другие быстроразвивающиеся страны. Перенимая опыт высокоразвитых стран в области управления качеством, страны достигают быстрый рост качества продукции и признание фирм-производителей на мировом рынке. Российским фирмам предстоит активно внедрять и развивать у себя не только системы качества, но и философию качества, культуру производства, заботу прежде всего о потребителе и его потребностях.

Технологии качества постоянно развиваются, образуются новые направления на основе уже разработанных. Современные ЭС являются наиболее сложными выпускаемыми продуктами, поэтому на них в первую очередь нацелены все новейшие исследования и разработки в области повышения качества.

Описанные в учебном пособии принципы управления качеством опираются на аппарат экономико-математических методов, с помощью которых может осуществляться и оптимизация качества. Это тема для отдельной публикации.

В настоящем учебном пособии раскрыты основные методы, направленные на повышение качества электронной продукции, описаны стандарты качества, затронуты вопросы контроля и диагностирования аппаратуры.

Материал пособия предназначен для студентов, обучающихся по направлению «Проектирование и технология электронных средств».

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение I

Таблица кодовых значений для метода медиан

k	α		k	α		k	α	
	0,01	0,05		0,01	0,05		0,01	0,05
8	0	0	36	9	11	64	21	23
9	0	1	37	10	12	65	21	24
10	0	1	38	10	12	66	22	24
11	0	1	39	11	12	67	22	25
12	1	2	40	11	13	68	22	25
13	1	2	41	11	13	69	23	25
14	1	2	42	12	14	70	23	26
15	2	3	43	12	14	71	24	26
16	2	3	44	13	15	72	24	27
17	2	4	45	13	15	73	25	27
18	3	4	46	13	15	74	25	28
19	3	4	47	14	16	75	25	28
20	3	5	48	14	16	76	26	28
21	4	5	49	15	17	77	26	29
22	4	5	50	15	17	78	27	29
23	4	6	51	15	17	79	27	30
24	5	6	52	16	18	80	28	30
25	5	7	53	16	18	81	28	31
26	6	7	54	17	19	82	28	31
27	6	7	55	17	19	83	29	32
28	6	8	56	17	20	84	29	32
29	7	8	57	18	20	85	30	32
30	7	9	58	18	21	86	30	33
31	7	9	59	19	21	87	31	33
32	8	9	60	19	21	88	31	34
33	8	10	61	20	22	89	31	34
34	9	10	62	20	22	90	32	35
35	9	11	63	20	23	91	32	35

Приложение II

Квантили распределения χ^2

Число степеней свободы, k	Вероятность, P															
	0,999	0,995	0,990	0,975	0,950	0,900	0,800	0,700	0,300	0,200	0,100	0,075	0,050	0,010	0,005	0,001
1	1,6x x10 ⁻⁶	3,9x x10 ⁻⁵	1,6x x10 ⁻⁴	9,8x x10 ⁻⁴	3,9x x10 ⁻³	0,016	0,064	0,148	1,07	1,64	2,71	3,84	5,02	6,63	7,88	10,8
2	0,002	0,010	0,020	0,051	0,103	0,211	0,446	0,713	2,41	3,22	4,61	5,99	7,38	9,21	10,6	13,8
3	0,024	0,072	0,115	0,216	0,352	0,584	1,00	1,42	3,67	4,64	6,25	7,81	9,35	11,3	12,8	16,3
4	0,091	0,207	0,297	0,484	0,711	1,06	1,65	2,19	4,88	5,99	7,78	9,49	11,1	13,3	14,9	18,5
5	0,210	0,412	0,554	0,831	1,15	1,61	2,34	3,00	6,06	7,29	9,24	11,1	12,8	15,1	16,7	20,5
6	0,381	0,676	0,872	1,24	1,64	2,20	3,07	3,83	7,23	8,56	10,6	12,6	14,4	16,8	18,5	22,5
7	0,598	0,989	1,24	1,69	2,17	2,83	3,82	4,67	8,38	9,80	12,0	14,1	16,0	18,5	20,3	24,3
8	0,857	1,34	1,65	2,18	2,73	3,49	4,59	5,53	9,52	11,0	13,4	15,5	17,5	20,1	22,0	26,1
9	1,15	1,73	2,09	2,70	3,33	4,17	5,38	6,39	10,7	12,2	14,7	16,9	19,0	21,7	23,6	27,9
10	1,48	2,16	2,56	3,25	3,94	4,87	6,18	7,27	11,8	13,4	16,0	18,3	20,5	23,2	25,2	29,6
11	1,83	2,60	3,05	3,82	4,57	5,58	6,99	8,15	12,9	14,6	17,3	19,7	21,9	24,7	26,8	31,6
12	2,21	3,07	3,57	4,40	5,23	6,30	7,81	9,03	14,0	15,8	18,5	21,0	23,3	26,2	28,3	32,9
13	2,62	3,57	4,11	5,01	5,89	7,04	8,63	9,93	15,1	17,0	19,8	22,4	24,7	27,7	29,8	34,5
14	3,04	4,07	4,66	5,63	6,57	7,79	9,47	10,8	16,2	18,2	21,1	23,7	26,1	29,1	31,3	36,1
15	3,48	4,60	5,23	6,26	7,26	8,55	10,3	11,7	17,3	19,3	22,3	25,0	27,5	30,6	32,8	37,7
16	3,94	5,14	5,81	6,91	7,96	9,31	11,2	12,6	18,4	20,5	23,5	26,3	28,8	32,0	34,3	39,3
18	4,90	6,26	7,01	8,23	9,39	10,9	12,0	14,4	20,6	22,8	26,0	28,9	31,5	34,8	37,2	42,3
20	5,92	7,43	8,26	9,59	10,9	12,4	14,6	16,3	22,8	25,0	28,4	31,4	34,2	37,6	40,0	45,3
22	6,98	8,64	9,54	11,0	12,3	14,0	16,3	18,1	24,9	27,3	30,8	33,9	36,8	40,3	42,8	48,3
24	8,08	9,89	10,9	12,4	13,8	15,7	18,1	19,9	27,1	29,6	33,2	36,4	39,4	43,0	45,6	51,2
26	9,22	11,2	12,2	13,8	15,4	17,3	19,8	21,8	29,2	31,8	35,6	38,9	41,9	45,6	48,3	54,1
28	10,4	12,5	13,6	15,3	16,9	18,9	21,6	23,6	31,4	34,0	37,9	41,3	44,5	48,3	51,0	56,9
30	11,6	13,8	15,0	16,8	18,5	20,6	23,4	25,5	33,5	36,3	40,3	43,8	47,0	50,9	53,7	59,7
35	14,7	17,2	18,5	20,6	22,5	24,8	27,8	30,2	38,9	41,8	46,1	49,9	53,2	57,3	60,3	66,6
40	17,9	20,7	22,2	24,4	26,5	29,1	32,3	34,9	44,2	47,3	51,8	55,8	59,3	63,7	66,8	73,4
45	21,3	24,3	25,9	28,4	30,6	33,4	36,9	39,6	49,5	52,7	57,5	61,7	65,4	70,0	73,2	80,1
50	24,7	28,0	29,7	32,4	34,8	37,7	41,4	44,3	54,7	58,2	63,2	67,5	71,4	76,2	79,5	86,7
55	28,2	31,7	33,6	36,4	39,0	42,1	46,0	49,1	60,0	63,6	68,8	73,3	77,4	82,3	85,7	93,2
60	31,7	35,5	37,5	40,5	43,2	46,5	50,6	53,8	65,2	69,0	74,4	79,1	83,3	88,4	92,0	99,6
65	35,4	39,4	41,4	44,6	47,4	50,9	55,3	58,6	70,5	74,4	80,0	84,8	89,2	94,4	98,1	106,0
70	39,0	43,3	45,4	48,8	51,7	55,3	59,9	63,3	75,7	79,7	85,5	90,5	95,0	100,4	104,2	112,3
75	42,8	47,2	49,5	52,9	56,1	59,8	64,5	68,1	80,9	85,1	91,1	96,2	100,8	106,4	110,3	118,6
80	46,5	51,2	53,5	57,2	60,4	64,3	69,2	72,9	86,1	90,4	96,6	101,9	106,6	112,3	116,3	124,8
85	50,3	55,2	57,6	61,4	64,7	68,8	73,9	77,7	91,3	95,7	102,1	107,5	112,4	118,2	123,3	131,0
90	54,2	59,2	61,8	65,6	69,1	73,3	78,6	82,5	96,5	101,1	107,6	113,1	118,1	124,1	128,3	137,2
95	58,0	63,2	65,9	69,9	73,5	77,8	83,2	87,3	101,7	106,4	113,0	118,8	123,9	130,0	134,2	143,3
100	61,9	67,3	70,1	74,2	77,9	82,4	87,9	92,1	106,9	111,7	118,5	124,3	129,6	135,8	140,2	149,4

Приложение III

Квантили распределения Стьюдента

Число степеней свободы k	Вероятность P									
	0,6	0,7	0,8	0,9	0,95	0,975	0,990	0,995	0,999	0,9995
1	0,325	0,727	1,376	3,078	6,314	12,71	31,82	63,66	318,3	636,6
2	0,289	0,617	1,061	1,886	2,920	4,303	6,965	9,925	22,33	31,60
3	0,277	0,584	0,978	1,638	2,353	3,182	4,541	5,841	10,22	12,94
4	0,271	0,569	0,941	1,533	2,132	2,776	3,747	4,604	7,173	8,610
5	0,267	0,559	0,920	1,476	2,015	2,571	3,365	4,032	5,803	6,859
6	0,265	0,553	0,906	1,440	1,943	2,447	3,143	3,707	5,208	5,959
7	0,263	0,549	0,896	1,415	1,895	2,365	2,998	3,490	4,885	5,405
8	0,262	0,546	0,889	1,397	1,860	2,306	2,896	3,355	4,501	5,041
9	0,261	0,543	0,883	1,383	1,833	2,262	2,821	3,250	4,297	4,781
10	0,260	0,542	0,879	1,372	1,812	2,228	2,784	3,169	4,144	4,587
11	0,260	0,540	0,876	1,363	1,796	2,201	2,718	3,106	4,025	4,437
12	0,259	0,539	0,873	1,356	1,782	2,179	2,681	3,055	3,930	4,318
13	0,259	0,538	0,870	1,350	1,771	2,160	2,650	3,012	3,852	4,221
14	0,258	0,537	0,868	1,345	1,761	2,145	2,624	2,977	3,787	4,140
15	0,258	0,536	0,866	1,341	1,753	2,131	2,602	2,947	3,733	4,073
16	0,258	0,535	0,865	1,337	1,746	2,120	2,583	2,921	3,686	4,015
17	0,257	0,534	0,863	1,333	1,740	2,110	2,567	2,898	3,646	3,965
18	0,257	0,534	0,862	1,330	1,734	2,101	2,552	2,878	3,611	3,965
19	0,257	0,533	0,861	1,328	1,729	2,093	2,539	2,861	3,579	3,883
20	0,257	0,533	0,860	1,325	1,725	2,086	2,528	2,845	3,552	3,850
21	0,257	0,532	0,859	1,323	1,721	2,080	2,518	2,831	3,527	3,819
22	0,256	0,532	0,858	1,321	1,717	2,074	2,508	2,819	3,505	3,792
23	0,256	0,532	0,858	1,319	1,714	2,069	2,500	2,807	3,485	3,767
24	0,256	0,531	0,857	1,318	1,711	2,064	2,492	2,797	3,467	3,745
25	0,256	0,531	0,856	1,316	1,708	2,060	2,485	2,787	3,450	3,725
26	0,256	0,531	0,856	1,315	1,706	2,056	2,479	2,779	3,435	3,707
27	0,256	0,531	0,855	1,314	1,703	2,052	2,473	2,771	3,421	3,690
28	0,256	0,530	0,855	1,313	1,701	2,048	2,467	2,763	3,408	3,674
29	0,256	0,530	0,854	1,311	1,699	2,045	2,462	2,756	3,396	3,659
30	0,256	0,530	0,854	1,310	1,697	2,042	2,457	2,750	3,385	3,646
40	0,255	0,529	0,851	1,303	1,684	2,021	2,423	2,704	3,307	3,551
50	0,255	0,528	0,849	1,298	1,676	2,002	2,403	2,678	3,262	3,495
60	0,254	0,527	0,848	1,296	1,671	2,000	2,390	2,660	3,232	3,460
80	0,254	0,527	0,846	1,292	1,664	1,990	2,374	2,639	3,195	3,415
100	0,254	0,526	0,845	1,290	1,660	1,984	2,365	2,626	3,174	3,389
200	0,254	0,525	0,843	1,286	1,653	1,972	2,345	2,601	3,131	3,339
500	0,253	0,525	0,842	1,283	1,648	1,965	2,334	2,586	3,106	3,310
∞	0,253	0,524	0,842	1,282	1,645	1,960	2,326	2,576	3,090	3,291
α_1	0,2	0,4	0,6	0,8	0,9	0,95	0,98	0,99	0,998	0,999
$\beta_1, \%$	40	30	20	10	5	2,5	1	0,5	0,1	0,05
$\beta_2, \%$	80	60	40	20	10	5	2	1	0,2	0,1

Приложение IV

Таблица значений критерия Фишера для уровня значимости 0,05

k ₂	k ₁											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	161	200	216	225	230	234	237	239	241	242	243	244
2	18,51	19,00	19,16	19,25	19,30	19,33	19,35	19,37	19,38	19,40	19,40	19,41
3	10,13	9,55	9,28	9,12	9,01	8,94	8,89	8,85	8,81	8,79	8,76	8,74
4	7,71	6,94	6,59	6,39	6,26	6,16	6,09	6,04	6,00	5,96	5,94	5,91
5	6,61	5,79	5,41	5,19	5,05	4,95	4,88	4,82	4,77	4,74	4,70	4,68
6	5,99	5,14	4,76	4,53	4,39	4,28	4,21	4,15	4,10	4,06	4,03	4,00
7	5,59	4,74	4,35	4,12	3,97	3,87	3,79	3,73	3,68	3,64	3,60	3,57
8	5,32	4,46	4,07	3,84	3,69	3,58	3,50	3,44	3,39	3,35	3,31	3,28
9	5,12	4,26	3,86	3,63	3,48	3,37	3,29	3,23	3,18	3,14	3,10	3,07
10	4,96	4,10	3,71	3,48	3,33	3,22	3,14	3,07	3,02	2,98	2,94	2,91
11	4,84	3,98	3,59	3,36	3,20	3,09	3,01	2,95	2,90	2,85	2,82	2,79
12	4,75	3,89	3,49	3,26	3,11	3,00	2,91	2,85	2,80	2,75	2,72	2,69
13	4,67	3,81	3,41	3,18	3,03	2,92	2,83	2,77	2,71	2,67	2,63	2,60
14	4,60	3,74	3,34	3,11	2,96	2,85	2,76	2,70	2,65	2,60	2,57	2,53
15	4,54	3,68	3,29	3,06	2,90	2,79	2,71	2,64	2,59	2,54	2,51	2,48
16	4,49	3,63	3,24	3,01	2,85	2,74	2,66	2,59	2,54	2,49	2,46	2,42
17	4,45	3,59	3,20	2,96	2,81	2,70	2,61	2,55	2,49	2,45	2,41	2,38
18	4,41	3,55	3,16	2,93	2,77	2,66	2,58	2,51	2,46	2,41	2,37	2,34
19	4,38	3,52	3,13	2,90	2,74	2,63	2,54	2,48	2,42	2,38	2,34	2,31
20	4,35	3,49	3,10	2,87	2,71	2,60	2,51	2,45	2,39	2,35	2,31	2,28
21	4,32	3,47	3,07	2,84	2,68	2,57	2,49	2,42	2,37	2,32	2,28	2,25
22	4,30	3,44	3,05	2,82	2,66	2,55	2,46	2,40	2,34	2,30	2,26	2,23
23	4,28	3,42	3,03	2,80	2,64	2,53	2,44	2,37	2,32	2,27	2,24	2,20
24	4,26	3,40	3,01	2,78	2,62	2,51	2,42	2,36	2,30	2,25	2,22	2,18
25	4,24	3,39	2,99	2,76	2,60	2,49	2,40	2,34	2,28	2,24	2,20	2,16
26	4,23	4,37	2,98	2,74	2,59	2,47	2,39	2,32	2,27	2,22	2,18	2,15
27	4,21	3,35	2,96	2,73	2,57	2,46	2,37	2,31	2,25	2,20	2,16	2,13
28	4,20	3,34	2,95	2,71	2,56	2,45	2,36	2,29	2,24	2,19	2,15	2,12
29	4,18	3,33	2,93	2,70	2,55	2,43	2,35	2,28	2,22	2,18	2,14	2,10
30	4,17	3,32	2,92	2,69	2,53	2,42	2,33	2,27	2,21	2,16	2,13	2,09

(k₁—число степеней свободы для выборки с большей дисперсией, k₂—число степеней свободы для выборки с меньшей дисперсией)

Таблица значений критерия Фишера для уровня значимости 0,05
(продолжение)

k ₂	k ₁											
	14	16	20	24	30	40	50	75	100	200	500	∞
1	245	246	248	249	250	251	252	253	253	254	254	254
2	19,42	19,43	19,44	19,45	19,46	19,47	19,48	19,48	19,49	19,49	19,50	19,50
3	8,71	8,69	8,66	8,64	8,62	8,59	8,58	8,57	8,55	8,54	8,53	8,53
4	5,87	5,84	5,80	5,77	5,75	5,72	5,70	5,68	5,66	5,65	5,64	5,63
5	4,64	4,60	4,56	4,53	4,50	4,46	4,44	4,42	4,41	4,39	4,37	4,36
6	3,96	3,92	3,87	3,84	3,81	3,77	3,75	3,72	3,71	3,69	3,68	3,67
7	3,53	3,49	3,44	3,41	3,38	3,34	3,32	3,29	3,27	3,25	3,24	3,23
8	3,24	3,20	3,15	3,12	3,08	3,05	3,02	3,00	2,97	2,95	2,94	2,93
9	3,03	2,99	2,93	2,90	2,86	2,83	2,80	2,77	2,76	2,73	2,72	2,71
10	2,86	2,83	2,77	2,74	2,70	2,66	2,64	2,61	2,59	2,56	2,55	2,54
11	2,74	2,70	2,65	2,61	2,57	2,53	2,51	2,47	2,46	2,43	2,42	2,40
12	2,64	2,60	2,54	2,51	2,47	2,43	2,40	2,36	2,35	2,32	2,31	2,30
13	2,55	2,51	2,46	2,42	2,38	2,34	2,31	2,28	2,26	2,23	2,22	2,21
14	2,48	2,44	2,39	2,35	2,31	2,27	2,24	2,21	2,19	2,16	2,14	2,13
15	2,42	2,38	2,33	2,29	2,25	2,20	2,18	2,16	2,12	2,10	2,08	2,07
16	2,37	2,33	2,28	2,24	2,19	2,15	2,12	2,09	2,07	2,04	2,02	2,01
17	2,33	2,29	2,23	2,19	2,15	2,10	2,08	2,04	2,02	1,99	1,97	1,96
18	2,29	2,25	2,19	2,15	2,11	2,06	2,04	2,00	1,98	1,95	1,93	1,92
19	2,26	2,21	2,15	2,11	2,07	2,03	2,00	1,96	1,94	1,91	1,90	1,88
20	2,22	2,18	2,12	2,08	2,04	1,99	1,97	1,92	1,91	1,88	1,86	1,84
21	2,20	2,16	2,10	2,05	2,01	1,96	1,94	1,89	1,88	1,84	1,82	1,81
22	2,17	2,13	2,07	2,03	1,98	1,94	1,91	1,87	1,85	1,81	1,80	1,78
23	2,15	2,11	2,05	2,00	1,96	1,91	1,88	1,84	1,82	1,79	1,77	1,76
24	2,13	2,09	2,03	1,98	1,94	1,89	1,86	1,82	1,80	1,77	1,75	1,73
25	2,11	2,07	2,01	1,96	1,92	1,87	1,84	1,80	1,78	1,75	1,73	1,71
26	2,10	2,05	1,99	1,95	1,90	1,85	1,82	1,78	1,76	1,73	1,70	1,69
27	2,08	2,04	1,97	1,93	1,88	1,84	1,81	1,76	1,74	1,71	1,68	1,67
28	2,06	2,02	1,96	1,91	1,87	1,82	1,79	1,75	1,73	1,69	1,67	1,65
29	2,05	2,01	1,94	1,90	1,85	1,80	1,77	1,73	1,71	1,67	1,65	1,64
30	2,04	1,99	1,93	1,89	1,84	1,79	1,76	1,72	1,70	1,66	1,64	1,62

Таблица значений критерия Фишера для уровня значимости 0,05
(продолжение)

k ₂	k ₁											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
32	4,15	3,29	2,90	2,67	2,51	2,40	2,31	2,24	2,19	2,14	2,10	2,07
34	4,13	3,28	2,88	2,65	2,49	2,38	2,29	2,23	2,17	2,12	2,08	2,05
36	4,11	3,26	2,87	2,63	2,48	2,36	2,28	2,21	2,15	2,11	2,07	2,03
38	4,10	3,24	2,85	2,62	2,46	2,35	2,26	2,19	2,14	2,09	2,05	2,02
40	4,08	3,23	2,84	2,61	2,45	2,34	2,25	2,18	2,12	2,08	2,04	2,00
42	4,07	3,22	2,83	2,59	2,44	2,32	2,24	2,17	2,11	2,06	2,03	1,99
44	4,06	3,21	2,82	2,58	2,43	2,31	2,23	2,16	2,10	2,05	2,01	1,98
46	4,05	3,20	2,81	2,57	2,42	2,30	2,22	2,15	2,09	2,04	2,00	1,97
48	4,04	3,19	2,80	2,57	2,41	2,30	2,21	2,14	2,08	2,03	1,99	1,96
50	4,03	3,18	2,79	2,56	2,40	2,29	2,20	2,13	2,07	2,03	1,99	1,95
55	4,02	3,16	2,78	2,54	2,38	2,27	2,18	2,11	2,06	2,01	1,97	1,93
60	4,00	3,15	2,76	2,53	2,37	2,25	2,17	2,10	2,04	1,99	1,95	1,92
65	3,99	3,14	2,75	2,51	2,36	2,24	2,15	2,08	2,03	1,98	1,94	1,90
70	3,98	3,13	2,74	2,50	2,35	2,23	2,14	2,07	2,02	1,97	1,93	1,89
80	3,96	3,11	2,72	2,49	2,33	2,21	2,13	2,06	2,00	1,95	1,91	1,88
100	3,94	3,09	2,70	2,46	2,31	2,19	2,10	2,03	1,97	1,93	1,89	1,85
125	3,92	3,07	2,68	2,44	2,29	2,17	2,08	2,01	1,96	1,91	1,87	1,83
150	3,90	3,06	2,66	2,43	2,27	2,16	2,07	2,00	1,94	1,89	1,85	1,82
200	3,89	3,04	2,65	2,42	2,26	2,14	2,06	1,98	1,93	1,88	1,84	1,80
400	3,86	3,02	2,62	2,39	2,23	2,12	2,03	1,96	1,90	1,85	1,81	1,78
10 ³	3,85	3,00	2,61	2,38	2,22	2,11	2,02	1,95	1,89	1,84	1,80	1,76
∞	3,84	3,00	2,60	2,37	2,21	2,10	2,01	1,94	1,88	1,83	1,79	1,75

Таблица значений критерия Фишера для уровня значимости 0,05
(продолжение)

k ₂	k ₁											
	14	16	20	24	30	40	50	75	100	200	500	∞
32	2,01	1,97	1,91	1,86	1,82	1,77	1,74	1,69	1,67	1,63	1,61	1,59
34	1,99	1,95	1,89	1,84	1,80	1,75	1,71	1,67	1,65	1,61	1,59	1,57
36	1,98	1,93	1,87	1,82	1,78	1,73	1,69	1,65	1,62	1,59	1,56	1,55
38	1,96	1,92	1,85	1,81	1,76	1,71	1,68	1,63	1,61	1,57	1,54	1,53
40	1,95	1,90	1,84	1,79	1,74	1,69	1,66	1,61	1,59	1,55	1,53	1,51
42	1,93	1,89	1,83	1,78	1,73	1,68	1,65	1,60	1,57	1,53	1,51	1,49
44	1,92	1,88	1,81	1,77	1,72	1,67	1,63	1,58	1,56	1,52	1,49	1,48
46	1,91	1,87	1,80	1,76	1,71	1,65	1,62	1,57	1,55	1,51	1,48	1,46
48	1,90	1,86	1,79	1,75	1,70	1,64	1,61	1,56	1,54	1,49	1,47	1,45
50	1,89	1,85	1,78	1,74	1,69	1,63	1,60	1,55	1,52	1,48	1,46	1,44
55	1,88	1,83	1,76	1,72	1,67	1,61	1,58	1,52	1,50	1,46	1,43	1,41
60	1,86	1,82	1,75	1,70	1,65	1,59	1,56	1,50	1,48	1,44	1,41	1,39
65	1,85	1,80	1,73	1,69	1,63	1,58	1,54	1,49	1,46	1,42	1,39	1,37
70	1,84	1,79	1,72	1,67	1,62	1,57	1,53	1,47	1,45	1,40	1,37	1,35
80	1,82	1,77	1,70	1,65	1,60	1,54	1,51	1,45	1,43	1,38	1,35	1,32
100	1,79	1,75	1,68	1,63	1,57	1,52	1,48	1,42	1,39	1,34	1,31	1,28
125	1,77	1,72	1,65	1,60	1,55	1,49	1,45	1,39	1,36	1,31	1,27	1,25
150	1,76	1,71	1,64	1,59	1,53	1,48	1,44	1,37	1,34	1,29	1,25	1,22
200	1,74	1,69	1,62	1,57	1,52	1,46	1,41	1,35	1,32	1,26	1,22	1,19
400	1,72	1,67	1,60	1,54	1,49	1,42	1,38	1,32	1,28	1,22	1,16	1,13
10 ³	1,70	1,65	1,58	1,53	1,47	1,41	1,36	1,30	1,26	1,19	1,13	1,08
∞	1,69	1,64	1,57	1,52	1,46	1,39	1,35	1,28	1,24	1,17	1,11	1,00

Таблица значений критерия Фишера для уровня значимости 0,01

k ₂	k ₁											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	4052	4999	5403	5625	5764	5859	5928	5981	6022	6056	6082	6106
2	98,50	99,00	99,17	99,25	99,30	99,33	99,36	99,37	99,39	99,40	99,41	99,42
3	34,12	30,82	29,46	28,71	28,24	27,91	27,67	27,49	27,34	27,23	27,13	27,05
4	21,20	18,00	16,69	15,98	15,52	15,21	14,98	14,80	14,66	14,55	14,45	14,37
5	16,26	13,27	12,06	11,39	10,97	10,67	10,46	10,29	10,16	10,05	9,96	9,89
6	13,74	10,92	9,78	9,15	8,75	8,47	8,26	8,10	7,98	7,87	7,79	7,72
7	12,25	9,55	8,45	7,85	7,46	7,19	7,00	6,84	6,72	6,62	6,54	6,47
8	11,26	8,65	7,59	7,01	6,63	6,37	6,18	6,03	5,91	5,81	5,73	5,67
9	10,56	8,02	6,99	6,42	6,06	5,80	5,61	5,47	5,35	5,26	5,18	5,11
10	10,04	7,56	6,55	5,99	5,64	5,39	5,20	5,06	4,94	4,85	4,77	4,71
11	9,65	7,21	6,22	5,67	5,32	5,07	4,89	4,74	4,68	4,54	4,46	4,40
12	9,33	6,93	5,95	5,41	5,06	4,82	4,64	4,50	4,39	4,30	4,22	4,16
13	9,07	6,70	5,74	5,21	4,86	4,62	4,44	4,30	4,19	4,10	4,02	3,96
14	8,86	6,51	5,56	5,04	4,70	4,46	4,28	4,14	4,03	3,94	3,86	3,80
15	8,68	6,36	5,42	4,89	4,56	4,32	4,14	4,00	3,89	3,80	3,78	3,67
16	8,53	6,23	5,29	4,77	4,44	4,20	4,03	3,89	3,78	3,69	3,62	3,55
17	8,40	6,11	5,18	4,67	4,34	4,10	3,93	3,79	3,68	3,59	3,52	3,46
18	8,29	6,01	5,09	4,58	4,25	4,01	3,84	3,71	3,60	3,51	3,43	3,37
19	8,18	5,93	5,01	4,50	4,17	3,94	3,77	3,63	3,52	3,43	3,36	3,30
20	8,10	5,85	4,94	4,43	4,10	3,87	3,70	3,56	3,46	3,37	3,29	3,23
21	8,02	5,78	4,87	4,37	4,04	3,81	3,64	3,51	3,40	3,31	3,24	3,17
22	7,95	5,72	4,82	4,81	3,99	3,76	3,59	3,45	3,35	3,26	3,18	3,12
23	7,88	5,66	4,76	4,26	3,94	3,71	3,54	3,41	3,30	3,21	3,14	3,07
24	7,82	5,61	4,72	4,22	3,90	3,67	3,50	3,36	3,26	3,17	3,09	3,03
25	7,77	5,57	4,68	4,18	3,86	3,63	3,46	3,32	3,22	3,13	3,06	2,99
26	7,72	5,53	4,64	4,14	3,82	3,59	3,42	3,29	3,18	3,09	3,02	2,96
27	7,68	5,49	4,60	4,11	3,78	3,56	3,39	3,26	3,15	3,06	2,99	2,83
28	7,64	5,45	4,57	4,07	3,76	3,53	3,36	3,23	3,12	3,03	2,96	2,90
29	7,60	5,42	4,54	4,04	3,73	3,50	3,33	3,20	3,09	3,00	2,93	2,87
30	7,56	5,39	4,51	4,02	3,70	3,47	3,30	3,17	3,07	2,98	2,90	2,84

Таблица значений критерия Фишера для уровня значимости 0,01
(продолжение)

k ₂	k ₁											
	14	16	20	24	30	40	50	75	100	200	500	∞
1	6143	6169	6209	6235	6261	6287	6302	6323	6334	6352	6361	6366
2	99,43	99,44	99,45	99,46	99,47	99,47	99,48	99,49	99,49	99,49	99,50	99,50
3	26,92	26,83	26,69	26,60	26,50	26,41	26,35	26,27	26,23	26,18	26,14	26,12
4	14,25	14,15	14,02	13,93	13,84	13,74	13,69	13,61	13,57	13,52	13,48	13,46
5	9,77	9,68	9,55	9,47	9,38	9,29	9,24	9,17	9,13	9,08	9,04	9,02
6	7,60	7,52	7,39	7,31	7,23	7,14	7,09	7,02	6,99	6,93	6,90	6,88
7	6,36	6,27	6,16	6,07	5,99	5,91	5,86	5,78	5,75	5,70	5,67	5,65
8	5,56	5,48	5,36	5,28	5,20	5,12	5,07	5,00	4,96	4,91	4,88	4,86
9	5,00	4,92	4,81	4,73	4,65	4,57	4,52	4,45	4,42	4,36	4,33	4,31
10	4,60	4,52	4,41	4,33	4,25	4,17	4,12	4,05	4,01	3,96	3,93	3,91
11	4,29	4,21	4,10	4,02	3,94	3,86	3,81	3,74	3,71	3,66	3,62	3,60
12	4,05	3,97	3,86	3,78	3,70	3,62	3,57	3,49	3,47	3,41	3,38	3,36
13	3,86	3,78	3,66	3,59	3,51	3,43	3,38	3,30	3,27	3,22	3,19	3,17
14	3,70	3,62	3,51	3,43	3,35	3,27	3,22	3,14	3,11	3,06	3,03	3,00
15	3,56	3,49	3,37	3,29	3,21	3,13	3,08	3,00	2,98	2,92	2,89	2,87
16	3,45	3,37	3,26	3,18	3,10	3,02	2,97	2,86	2,86	2,81	2,78	2,75
17	3,35	3,27	3,16	3,08	3,00	2,92	2,87	2,79	2,76	2,71	2,68	2,65
18	3,27	3,19	3,08	3,00	2,92	2,84	2,78	2,71	2,68	2,62	2,59	2,57
19	3,19	3,12	3,00	2,92	2,84	2,76	2,71	2,63	2,60	2,55	2,51	2,49
20	3,13	3,05	2,94	2,86	2,78	2,69	2,64	2,56	2,54	2,48	2,44	2,42
21	3,07	2,99	2,88	2,80	2,72	2,64	2,58	2,51	2,48	2,42	2,38	2,36
22	3,02	2,94	2,83	2,75	2,67	2,58	2,53	2,46	2,42	2,36	2,33	2,31
23	2,97	2,89	2,78	2,70	2,62	2,54	2,48	2,41	2,37	2,32	2,28	2,26
24	2,93	2,85	2,74	2,66	2,58	2,49	2,44	2,36	2,33	2,27	2,24	2,21
25	2,89	2,81	2,70	2,62	2,54	2,45	2,40	2,32	2,29	2,23	2,19	2,17
26	2,86	2,78	2,66	2,58	2,50	2,42	2,36	2,28	2,25	2,19	2,16	2,13
27	2,82	2,75	2,63	2,55	2,47	2,38	2,33	2,25	2,22	2,16	2,12	2,10
28	2,80	2,71	2,60	2,52	2,44	2,35	2,30	2,22	2,19	2,13	2,09	2,06
29	2,77	2,69	2,57	2,49	2,41	2,33	2,27	2,19	2,16	2,10	2,06	2,03
30	2,74	2,66	2,55	2,47	2,38	2,30	2,25	2,16	2,13	2,07	2,03	2,01

Таблица значений критерия Фишера для уровня значимости 0,01
(продолжение)

k ₂	k ₁											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
32	7,50	5,34	4,46	3,97	3,65	3,43	3,25	3,13	3,02	2,93	2,86	2,80
34	7,44	5,29	4,42	3,93	3,61	3,39	3,22	3,09	2,98	2,89	2,82	2,76
36	7,40	5,25	4,38	3,89	3,57	3,35	3,18	3,05	2,95	2,86	2,79	2,72
38	7,35	5,21	4,34	3,86	3,54	3,32	3,15	3,02	2,91	2,82	2,75	2,69
40	7,31	5,18	4,31	3,83	3,51	3,29	3,12	2,99	2,89	2,80	2,73	2,66
42	7,28	5,15	4,29	3,80	3,49	3,27	3,10	2,97	2,86	2,78	2,70	2,64
44	7,25	5,12	4,26	3,78	3,47	3,24	3,08	2,95	2,84	2,75	2,68	2,62
46	7,22	5,10	4,24	3,76	3,44	3,22	3,06	2,93	2,82	2,73	2,66	2,60
48	7,20	5,08	4,22	3,74	3,43	3,20	3,04	2,91	2,80	2,72	2,64	2,58
50	7,17	5,06	4,20	3,72	3,41	3,19	3,02	2,89	2,79	2,70	2,63	2,56
55	7,12	5,01	4,16	3,68	3,37	3,15	2,98	2,85	2,75	2,66	2,59	2,53
60	7,08	4,98	4,13	3,65	3,34	3,12	2,95	2,82	2,72	2,63	2,56	2,50
65	7,04	4,95	4,10	3,62	3,31	3,09	2,93	2,80	2,69	2,61	2,53	2,47
70	7,01	4,92	4,08	3,60	3,29	3,07	2,91	2,78	2,67	2,59	2,51	2,45
80	6,96	4,88	4,04	3,56	3,26	3,04	2,87	2,74	2,64	2,55	2,48	2,42
100	6,90	4,82	3,98	3,51	3,21	2,99	2,82	2,69	2,59	2,50	2,43	2,37
125	6,84	4,78	3,94	3,47	3,17	2,95	2,79	2,66	2,55	2,50	2,40	2,33
150	6,81	4,75	3,92	3,45	3,14	2,92	2,76	2,63	2,53	2,44	2,37	2,31
200	6,76	4,71	3,88	3,41	3,11	2,89	2,73	2,60	2,50	2,41	2,34	2,27
400	6,70	4,66	3,83	3,36	3,06	2,85	2,69	2,55	2,46	2,37	2,29	2,23
10 ³	6,66	4,63	3,80	3,34	3,04	2,82	2,66	2,53	2,43	2,34	2,27	2,20
∞	6,63	4,61	3,78	3,32	3,02	2,80	2,64	2,51	2,41	2,32	2,25	2,18

Таблица значений критерия Фишера для уровня значимости 0,01
(продолжение)

k ₂	k ₁											
	14	16	20	24	30	40	50	75	100	200	500	∞
32	2,70	2,62	2,50	2,42	2,34	2,25	2,20	2,12	2,08	2,02	1,98	1,96
34	2,66	2,58	2,46	2,38	2,30	2,21	2,16	2,08	2,04	1,98	1,94	1,91
36	2,62	2,54	2,43	2,35	2,26	2,17	2,12	2,04	2,00	1,94	1,90	1,87
38	2,59	2,51	2,40	2,32	2,23	2,14	2,09	2,00	1,97	1,90	1,86	1,84
40	2,56	2,48	2,37	2,29	2,20	2,11	2,06	1,97	1,94	1,87	1,83	1,80
42	2,54	2,46	2,34	2,26	2,18	2,09	2,03	1,94	1,91	1,85	1,80	1,78
44	2,52	2,44	2,32	2,24	2,15	2,06	2,01	1,92	1,89	1,82	1,78	1,75
46	2,50	2,42	2,30	2,22	2,13	2,04	1,99	1,90	1,86	1,80	1,75	1,73
48	2,48	2,40	2,28	2,20	2,12	2,08	1,97	1,88	1,84	1,78	1,73	1,70
50	2,46	2,38	2,26	2,18	2,10	2,00	1,95	1,86	1,82	1,76	1,71	1,68
55	2,43	2,34	2,23	2,15	2,06	1,96	1,91	1,82	1,78	1,71	1,67	1,64
60	2,39	2,31	2,20	2,12	2,03	1,94	1,88	1,79	1,75	1,68	1,63	1,60
65	2,37	2,29	2,18	2,09	2,00	1,90	1,85	1,76	1,72	1,65	1,60	1,56
70	2,35	2,27	2,15	2,07	1,98	1,88	1,83	1,74	1,70	1,62	1,57	1,53
80	2,31	2,23	2,12	2,03	1,94	1,85	1,79	1,70	1,66	1,58	1,53	1,49
100	2,26	2,19	2,06	1,98	1,89	1,79	1,73	1,64	1,60	1,52	1,47	1,43
125	2,23	2,15	2,03	1,94	1,85	1,75	1,69	1,59	1,55	1,47	1,41	1,37
150	2,20	2,12	2,00	1,91	1,83	1,72	1,66	1,56	1,52	1,43	1,38	1,33
200	2,17	2,09	1,97	1,88	1,79	1,69	1,63	1,53	1,48	1,39	1,33	1,28
400	2,12	2,04	1,92	1,84	1,74	1,64	1,57	1,47	1,42	1,32	1,24	1,19
10 ³	2,09	2,02	1,89	1,81	1,71	1,61	1,54	1,44	1,38	1,28	1,19	1,11
∞	2,08	2,00	1,88	1,79	1,70	1,59	1,52	1,41	1,36	1,25	1,15	1,00

Литература

1. Гегель Г.В.Ф. Энциклопедия философских наук, М., 1974.
2. Гулыга А.В. Германская классическая философия, М., 1986.
3. ГОСТ 15467-79: «Управление качеством продукции. Основные понятия. Термины и определения»
4. Ефимов В.В. Управление качеством: Учеб. пособие. – Ульяновск: УлГТУ, 2000. – 141 с.
5. Внедрение сбалансированной системы показателей/ Horvath& Partners. – М.: Альпина Бизнес Букс, 2006 – 478 с.
6. Харрингтон. Дж.Х. Прорыв в совершенствовании деятельности. Избранные труды 40-го конгресса Европейской организации по качеству. М., 1997.
7. Deming E.W. Quality, productivity and competitive position. – Cambridge, MA : Massachusetts Institute of Technological Center for Advanced Engineering Study, 1982.
8. Davenport T. The New Reengineering. Darwin, September, 2002.
9. Гуияр Ф.Ж., Келли Дж.Н. Преобразование организации. – Пер. с англ. – М. Дело, 2000.
10. Басовский Л.Е., Протасьев В.Б. Управление качеством: Учебник. – М.: ИНФРА–М, 2000.
11. Ноулер Л. и др. Статистические методы контроля качества продукции. – М.: Изд-во стандартов, 1989.
12. Гличев А.В. Основы управления качеством продукции. – М.: АМИ, 1998.
13. Абомелик Т. П. Управление качеством электронных средств: учебное пособие /Т. П. Абомелик. – Ульяновск: УлГТУ, 2007. – 127 с.
14. Журнал «Современный капитал» №7, 2003 г.
15. Международные стандарты ИСО серии 9000 на системы качества: версии 1994 г. – М.: Изд-во стандартов, 1995.
16. Ефимов В.В. Статистические методы управления качеством: Учебное пособие /В.В.Ефимов. – Ульяновск: УлГТУ, 2003. – 138 с.
17. Статистические методы повышения качества / Под ред. Хитоси Кумэ. –М.: Финансы и статистика, 1990.
18. Бондаренко И.Б., Гатчин Ю.А., Дукельский К.В. Управление качеством электронных средств. Методические указания к лабораторным работам. – СПб, СПб ГУ ИТМО, 2008. – 95с.
19. Теория надежности радиоэлектронных систем в примерах и задачах. Учеб. пособие для студентов радиотехнических специальностей вузов. Под ред. Г.В. Дружинина. – М.: Энергия, 1976.

20. Качество в XXI веке. Роль качества в обеспечении конкурентоспособности и устойчивого развития / Под. ред. Т. Конти, Ё. Кондо, Г. Ватсона / Пер. с англ. А. Раскина. – М.: РИА «Стандарты и качество», 2005. – 280с., ил. – (Серия «Практический менеджмент»).
21. Вентцель Е. С. Задачи и упражнения по теории вероятностей: Учеб. пособие для студ. вузов / Е. С. Вентцель, Л. А. Овчаров. – 5-е изд., испр. – М.: Издательский центр «Академия», 2003. – 448с.
22. <http://www.statsoft.ru>
23. <http://www.w3c.org>
24. ГОСТ Р 50779.30-95 Статистические методы. Приемочный контроль качества. Общие требования. (www.gostrf.com).
25. Исикава К. Японские методы управления качеством. /Сокр. пер. с англ. – М.: Экономика, 1988. – 215с.
26. Мир компьютерной автоматизации №1/1998г с.13.
27. Snee R.D. Why Should Statisticians Pay Attention to Six Sigma? An examination for their role in the six sigma methodology. – Quality Progress, 1999. September, p. 100-103. (http://qualityprogress.asq.org/qp/0999_statroundtable.html)
28. Hoskins J., Stuart B., Taylor J. Statistical Process Control. Motorola, 1991. – 31 p.
29. Harry M.J. Six Sigma: A Breakthrough Strategy for Profitability.– Quality Progress, 1998, May, p.60-64. Пер.: Методы менеджмента качества, 2000.№6, с.8-14.
30. Munro R.A. Linking Six Sigma with QS-9000. Quality Progress, 2000. May. (http://qualityprogress.asq.org/qp/0500_munro.html)
31. Ramberg J.S. Six Sigma: Fad or Fundamental? www.qualitydigest.com/may00/html/sixsigmapro.html
32. Stamatis D.H. Who Needs Six Sigma, Anyway? www.qualitydigest.com/may00/html/sixsigmacon.html
33. Управление качеством: Учебник для вузов / С. Д. Ильенкова, Н. Д. Ильенкова, В. С. Мхитарян и др.; Под. ред. С. Д. Ильенковой. – 2-е издание, перераб. и доп. – М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2006. – 334с.
34. Пустов Л.Ю. Метод развертывания функций качества (QFD - Quality Function Deployment) (<http://worldquality.ru/>)
35. Норман И. Моррел Структурирование функции качества: принуждение к управлению качеством (<http://www.markus.spb.ru/kase/qfd5.shtml>).
36. Харрингтон Дж. Х. Управление качеством в американских корпорациях. – М.: Экономика, 1990. – 272с.

37. Адлер Ю.П. Качество и рынок, или Как организация настраивается на обеспечение требований потребителей. – Поставщик и потребитель. – М.: РИА "Стандарты и качество", 2000. – 128 с.

38. Всеобщее управление качеством / О.П. Глудкин, Н.М. Горбунов, А.И. Гуров, Ю.В. Зорин: Учебник для вузов / Под ред. О.П. Глудкина. – М.: Радио и связь, 1999. – 600 с.

39. В. Рустин, А. Городецкий. «Разделяй и властвуй» – принцип граничного сканирования // Chip News. 2001 №6.

40. Платунов А., Постников Н., Чистяков А. Механизм граничного сканирования в неоднородных микропроцессорных системах // Chip News. 2000. № 10. С. 8–13.

41. Макаренко В. Методы внутрисхемного тестирования в производстве электронной техники // Электронные компоненты и системы. 2000. № 10.

42. <http://www.asset-intertech.com/>.

43. <http://www.goepel.com/>.

44. <http://www.jtag.com/>.

45. <http://www.corelis.com/>.

46. Гончаров Ю. Технология разработки eXpressDSP // Chip News. 2001. № 2. С. 26–31.

47. Alfred L. Crouch Design-for-Test for Digital IC's and Embedded Core Systems. Prentice Hall PTR. 1999.

48. ГОСТ 23660-79 Межгосударственный стандарт. Система технического обслуживания и ремонта техники. Обеспечение ремонтпригодности при разработке изделий. – М.: Стандартинформ, 2008. – 16с. (www.gostrf.com).

49. Преснухин Л.Н., Шахнов В.А. Конструирование электронных вычислительных машин и систем. Учеб. Для вузов по спец. «ЭВМ» и «Конструирование и производство ЭВА». –М.: Высш. школа, 1986. –512с.

50. ГОСТ 23502-79 Обеспечение надежности на этапе производства. Технологический прогон изделий бытового назначения. (www.gostrf.com).

51. Глудкин О.П. Управление качеством электронных средств. – М.: Высшая школа, 1994. – 410 с.

52. Мазур И. И. Управление качеством: Учебное пособие для студентов вузов, обучающихся по специальности «Управление качеством» / И. И. Мазур, В. Д. Шапиро. – 3-е изд., стер. – М.: Изд-во Омега – Л, 2006. – 400с.: ил.

53. Прохоров Ю.К. Управление качеством: Учебное пособие. – СПб: СПбГУИТМО, 2007. – 144 с.



В 2009 году Университет стал победителем многоэтапного конкурса, в результате которого определены 12 ведущих университетов России, которым присвоена категория «Национальный исследовательский университет». Министерством образования и науки Российской Федерации была утверждена Программа развития государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Санкт-Петербургский государственный университет информационных технологий, механики и оптики» на 2009–2018 годы.

КАФЕДРА ПРОЕКТИРОВАНИЯ КОМПЬЮТЕРНЫХ СИСТЕМ

ИСТОРИЯ КАФЕДРЫ

1945-1966 РЛПУ (кафедра радиолокационных приборов и устройств). Решением Советского правительства в августе 1945 г. в ЛИТМО был открыт факультет электроприборостроения. Приказом по институту от 17 сентября 1945 г. на этом факультете была организована кафедра радиолокационных приборов и устройств, которая стала готовить инженеров, специализирующихся в новых направлениях радиоэлектронной техники, таких как радиолокация, радиоуправление, теленаведение и др. Организатором и первым заведующим кафедрой был д.т.н., профессор С. И. Зилитинкевич (до 1951 г.). Выпускникам кафедры присваивалась квалификация инженер-радиомеханик, а с 1956 г. – радиоинженер (специальность 0705).

В разные годы кафедрой заведовали доцент Б.С. Мишин, доцент И.П. Захаров, доцент А.Н. Иванов.

1966–1970 КиПРЭА (кафедра конструирования и производства радиоэлектронной аппаратуры). Каждый учебный план специальности 0705 коренным образом отличался от предыдущих планов радиотехнической специальности своей четко выраженной конструкторско-технологической направленностью. Оканчивающим институт по этой специальности присваивалась квалификация инженер-конструктор-технолог РЭА.

Заведовал кафедрой доцент А.Н. Иванов.

1970–1988 КиПЭВА (кафедра конструирования и производства электронной вычислительной аппаратуры). Бурное развитие электронной вычислительной техники и внедрение ее во все отрасли народного хозяйства потребовали от отечественной радиоэлектронной промышленности решения новых ответственных задач. Кафедра стала готовить инженеров по специальности 0648. Подготовка проводилась по двум направлениям – автоматизация конструирования ЭВА и технология микροэлектронных устройств ЭВА.

Заведовали кафедрой: д.т.н., проф. В.В. Новиков (до 1976 г.), затем проф. Г.А. Петухов.

1988–1997 МАП (кафедра микροэлектроники и автоматизации проектирования). Кафедра выпускала инженеров-конструкторов-технологов по микροэлектронике и автоматизации проектирования вычислительных средств (специальность 2205). Выпускники этой кафедры имеют хорошую технологическую подготовку и успешно работают как в производстве полупроводниковых интегральных микросхем, так и при их проектировании, используя современные методы автоматизации проектирования. Инженеры специальности 2205 требуются микροэлектронной промышленности и предприятиям-разработчикам вычислительных систем.

Кафедрой с 1988 г. по 1992 г. руководил проф. С.А. Арустамов, затем снова проф. Г.А. Петухов.

С **1997 ПКС** (кафедра проектирования компьютерных систем). Кафедра выпускает инженеров по специальности 210202 «Проектирование и технология электронно-вычислительных средств». Область профессиональной деятельности выпускников включает в себя проектирование, конструирование и технологию электронных средств, отвечающих целям их функционирования, требованиям надежности, дизайна и условиям эксплуатации. Кроме того, кафедра готовит специалистов по защите информации, специальность 090104 «Комплексная защита объектов информатизации». Объектами профессиональной деятельности специалиста по защите информации являются методы, средства и системы обеспечения защиты информации на объектах информатизации.

С 1996 г. кафедрой заведует д.т.н., профессор Ю.А. Гатчин.

За время своего существования кафедра выпустила более 4264 инженеров. На кафедре защищено 65 кандидатских и 7 докторских диссертаций.

Бондаренко Игорь Борисович
Иванова Наталия Юрьевна
Сухостат Валентина Васильевна

Управление качеством электронных средств

Учебное пособие

В авторской редакции дизайн обложки И.Б. Бондаренко
Редакционно-издательский отдел Санкт-Петербургского государственного
университета информационных технологий, механики и оптики
Зав. РИО Н.Ф. Гусарова

Лицензия ИД № 00408 от 05.11.99

Подписано к печати

Заказ №

Тираж

Отпечатано на ризографе