

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«НИЖЕГОРОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
им. Р. Е. АЛЕКСЕЕВА»

АРЗАМАССКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
(филиал)

ЯМПУРИН Н.П., СВЕРДЛОВ Р.В.

Управление качеством электронных средств

Учебное пособие

*Рекомендовано Ученым Советом Нижегородского государственного
технического университета им. Р.Е. Алексева в качестве учебного пособия
для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению
подготовки 211000 – «Конструирование и технология электронных средств»*

Нижний Новгород 2014

Рецензент:

кандидат технических наук, доцент кафедры «Микроэлектроника
и технология радиоаппаратуры»
СПбГЭТУ (ЛЭТИ) *В.В.Румянцев*

Ямпурин Н.П., Свердлов Р.В.

Я 8 **Управление качеством электронных средств:** учеб. пособие для студентов высших учебных заведений направления 211000 / Сост. д.т.н., проф. Ямпурин Н.П., к.т.н. Свердлов Р.В.; НГТУ им. Р.Е. Алексеева. – Н.Новгород, 2014. – **96** с.

Приведены краткие сведения о факторах, воздействующих на электронные средства, основных принципах обеспечения качества согласно стандарта ИСО-9000. Рассмотрены простые и сложные статистические методы управления качеством продукции. Приведены сведения об испытаниях на надежность ЭС, автоматизированных системах контроля и управления качеством. Рассмотрены функциональный и параметрический контроль качества, контролепригодное проектирование электронных средств. Приведены основные сведения о сигнатурном анализе, сигнатурных схемах, избыточном кодировании, качестве информационных систем. Материалы каждой главы иллюстрированы достаточным для понимания количеством примеров. В конце каждой главы приведены вопросы для самопроверки.

Рекомендуется для студентов, обучающихся по направлениям 210200 – «Проектирование и технология электронных средств», 299100 – «Приборостроение».

Рис. 64. Табл. 11. Библиограф.: **18** назв.

УДК 681.511.2(076.5)

© Ямпурин Н.П., Свердлов Р.В., 2014

© Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева, 2014

ОГЛАВЛЕНИЕ

Список принятых сокращений	5
Введение	7
1. Основные понятия и определения	9
1.1. Понятие качества продукции. Основные этапы развития и становления системы управления качеством продукции	9
1.2. Стандарт ИСО-9000	12
1.3. Основные принципы обеспечения качества на современном этапе. Цикл Деминга	14
1.4. Общие сведения об электронных средствах и факторах, воздействующих на них	17
1.5. Вопросы для самопроверки	19
2. Статистические методы обеспечения качества ЭС	20
2.1. Общие сведения о статистических методах	20
2.2. Простые статистические методы	21
2.2.1. Контрольный листок	21
2.2.2. Диаграмма Парето	21
2.2.3. Причинно – следственная диаграмма (схема Исикавы)	23
2.2.4. Гистограмма	24
2.2.5. Диаграмма разброса (диаграмма рассеивания)	30
2.2.6. Расслоение данных (стратификация)	32
2.2.7. Контрольная карта	32
2.3. Сложные статистические методы	34
2.3.1. Методы Тагути	34
2.3.2. Структурирование функции качества	36
2.4. Вопросы для самопроверки	37
3. Выборочный метод испытаний	38
3.1. Количественные характеристики контроля	38
3.2. Методы выборочного контроля	39
3.3. Вопросы для самопроверки	40
4. Испытания на надежность ЭС	42
4.1. Классификация испытаний и основная документация	43
4.2. Испытания на внешние воздействующие факторы	45
4.2.1. Испытания ЭС на механические воздействия	45
4.2.2. Климатические испытания ЭС	47
4.3. Автоматизированные системы контроля и управления качеством	48
4.4. Вопросы для самопроверки	51
5. Функциональный и параметрический контроль качества	53
5.1. Основные сведения о контроле качества	53
5.2. Причины и модели неисправностей	53
5.2.1. Модели неисправностей на транзисторном уровне	54

5.2.2. Модели неисправностей на уровне вентилях	55
5.2.3. Модели неисправностей на функциональном уровне	57
5.3. Тестовое диагностирование устройств. Методы генерации тестов	58
5.3.1. Построение тестов методом активации одномерного пути	59
5.3.2. Функциональное тестирование	59
5.4. Контролепригодное проектирование	63
5.4.1. Общие сведения о контролепригодном проектировании	63
5.4.2. Пассивные меры обеспечения КП	64
5.4.3. Активные методы обеспечения контролепригодности	67
5.5. Основные сведения о сигнатурном анализе и сигнатурных схемах	69
5.6. Избыточное кодирование и его использование для самодиагностики	73
5.7. Вопросы для самопроверки	79
6. Качество информационных систем	81
6.1. Надежность информационных систем	81
6.1.1. Показатели надежности информационных систем	82
6.1.2. Обеспечение надежности информационных систем	83
6.2. Достоверность информационных систем	86
6.2.1. Показатели достоверности информации	87
6.2.2. Классификация методов контроля достоверности	87
6.2.3. Основные показатели качества контроля достоверности	89
6.3. Безопасность информационных систем	89
6.4. Эффективность информационных систем	91
6.4.1. Локальные показатели эффективности	92
6.4.2. Показатели целевой эффективности	92
6.4.3. Показатели технико-эксплуатационной эффективности	92
6.4.4. Показатели экономической эффективности	93
6.5. Вопросы для самопроверки	94
Библиографический список	95

СПИСОК ПРИНЯТЫХ СОКРАЩЕНИЙ

АСИ	– автоматизированная система испытаний
АСУ	– автоматические системы управления
АСУК	– автоматизированная система управления качеством
АСУТП	– автоматизированная система управления технологическим процессом
БД	– блок декодирования
БИС	– большая интегральная схема
БК	– блок кодирования
БСК	– бортовые средства контроля
БЧ	– браковочное число
ВВФ	– внешние воздействующие факторы
ВФ	– воздействующие факторы
ВСК	– встроенные средства контроля
ВТ	– вычислительная техника
ГТД	– генератор тестовых данных
ИВЦО	– информационный вычислительный центр отрасли
ИВЦП	– информационный вычислительный центр предприятия
ИС	– испытательная станция
ИнС	– информационная система
КИ	– климатические испытания
КП	– контролепригодное проектирование
КПП	– конструкторская подготовка производства
КС	– комбинационная схема
КФ	– климатические факторы
МИ	– методика испытаний
МП	– микропроцессор
МТО	– материально-техническое обеспечение
НИР	– научно-исследовательские работы
ОЗУ	– оперативное запоминающее устройство
ОКР	– опытно-конструкторские работы
ОХ	– оперативная характеристика
ПИ	– программа испытаний
ПСП	– псевдослучайная последовательность
ПЧ	– приемочное число
ПЭВМ	– персональная электронно-вычислительная машина
РЭС	– радиоэлектронные средства
СА	– сигнатурный анализ
САПР	– система автоматизированного проектирования
САУ	– система автоматического управления
СБИС	– сверхбольшая интегральная схема
СВК	– схема встроенного контроля
СР	– сдвиговый регистр
СОК	– средства оперативного контроля
СОТ	– схема оценки теста

СФК	– структурирование функции качества
ТП	– технологический процесс
ТПП	– технологическая подготовка производства
УВМ	– управляющая вычислительная машина
ФТ	– функциональное тестирование
ЦВК	– центральный вычислительный комплекс
ЦИ	– центр испытаний
ЦИС	– цифровая интегральная схема
ЭВС	– электронно-вычислительные средства
ЭРЭ	– электрорадиоэлемент
ЭС	– электронные средства
ЭСЭП	– элементарный сдвиговый элемент памяти

ВВЕДЕНИЕ

Подготовка квалифицированных инженеров во всем мире предусматривает изучение и освоение современных методов управления качеством продукции, товаров, услуг и работ, процессов и систем управления.

Современная концепция управления – это концепция, получившая в англоязычной литературе название *Total Quality Management (TQM)*. Согласно ей, системы управления качеством должны обеспечивать реализацию восьми ключевых принципов системного управления качеством, составляющих основу международных стандартов в области управления качеством ИСО серии 9000, перечисленных ниже.

1. Ориентация на потребителя. Стратегическая ориентация на потребителя, обеспеченная организационно, методически и технически, жизненно необходима каждой организации и каждому предприятию, функционирующему в условиях конкурентного рынка.

2. Роль руководства. Руководитель должен создать условия, необходимые для успешной реализации всех принципов системного управления качеством.

3. Вовлечение работников. Каждый работник должен быть вовлечен в деятельность по управлению качеством. У каждого должна быть внутренняя потребность в улучшениях.

4. Процессный подход. С ним органично связан пятый принцип:

5. Системный подход к управлению. Производство товаров, услуг и управление рассматриваются как совокупность взаимосвязанных процессов, а каждый процесс – как система, имеющая своих «поставщиков» и «потребителей».

6. Постоянное улучшение. Опыт японской, а затем остальной промышленности показал, что устанавливать пределы улучшению недопустимо, само улучшение должно быть системой и составной частью системы управления.

7. Принятие решений, основанных на фактах. Необходимо собирать и анализировать фактические данные и принимать решения на их основе. Наиболее распространенными сейчас являются статистические методы контроля и анализа.

8. Взаимовыгодные отношения с поставщиками. Этот принцип, суть которого в простейших случаях очевидна, необходимо реализовывать по отношению как к внешним, так и внутренним поставщикам.

Современная концепция управления качеством – это концепция управления любым видом деятельности, позволяющая достигнуть успеха не только в сфере производства, но и в государственном и муниципальном управлении, в вооруженных силах и других сферах.

В курсе дано систематическое изложение предмета, рассчитанное на студентов и преподавателей, желающих ознакомиться, изучить суть, функции, основные методы и методики управления качеством продукции и качеством деятельности. При подготовке данного курса лекций ставилась задача изложить предмет глубоко, но кратко и просто.

Настоящее учебное пособие состоит из шести глав.

Первая глава содержит основные понятия и определения теории управления качеством, основные принципы стандарта ИСО-9000, этапы развития и становления системы управления качеством продукции, краткие сведения о факторах, воздействующих на электронные средства, основных принципах обеспечения качества.

Вторая глава посвящена статистическим методам обеспечения качества электронных средств. Рассмотрены семь простых статистических методов: контрольный листок, диаграмма Парето, причинно-следственная диаграмма, гистограмма, диаграмма рассеивания, стратификация данных, контрольная карта. Приведены сведения о сложных статистических методах. В главе приведены примеры анализа качества продукции с помощью рассматриваемых методов.

Третья глава знакомит читателя с выборочным методом испытаний электронных средств. Раскрываются понятия и термины, применяемые при описании выборочного контроля, его количественные характеристики. Приводятся конкретные методы контроля.

Четвертая глава посвящена испытаниям на надежность электронных средств, их видами, классификацией, а также основной документацией, необходимой для их проведения. В ней читатель также знакомится с видами, применением автоматизированных систем контроля и управления качеством, их особенностями и преимуществами.

В пятой главе рассмотрены функциональный и параметрический контроль качества, тестовое и функциональное диагностирование устройств, контролепригодное проектирование электронных средств. Приведены основные сведения о сигнатурном анализе, сигнатурных схемах, избыточном кодировании.

Шестая глава посвящена качеству информационных систем. Рассмотрены его составляющие: надежность, достоверность, безопасность, эффективность. Глава написана к.т.н. Рязановым А.В. (Арзамасский политехнический институт филиал НГТУ им. Р.Е. Алексеева)

Для облегчения восприятия материала студентами в конце каждой главы приведены вопросы для самопроверки, примеры решения задач по тематике данной главы.

1. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

1.1. Понятие качества продукции. Основные этапы развития и становления системы управления качеством продукции

В последние годы во всем мире наблюдается рост интереса к качеству и надежности продукции различного назначения, начиная от сложных ракетных комплексов и кончая предметами домашнего обихода.

Согласно ГОСТа «Качество – совокупность свойств, определяющих способность изделий удовлетворять заданным требованиям потребителя».

Качество складывается из целой системы показателей (критериев качества): назначения, экономичности, технологичности, надежности, эргономичности и т.д.

Дэвид Гервин, профессор Гарвардской школы бизнеса, выделяет 8 признаков качества продукции.

Исполнение – например: чистый звук и цвет на экране телевизора, низкое потребление энергии у бытовых приборов.

Особенность – различные цвета, рисунки и качество тканей; выбор различных циклов стиральных машин, СВЧ-печей и т.д.

Надежность – хорошая работа в течение определенного времени до отказа. (Согласно ГОСТа: время наработки на отказ). Очень важное свойство, особенно для дорогостоящих покупок.

Соответствие – отвечает ли изделие стандартам, каковы отклонения от стандарта. Здесь же: доходят ли продукты до потребителя.

Прочность – как долго будет работать изделие в различных условиях.

Возможность обслуживания – обеспечение минимального времени простоя, что достигается простотой выполнения ремонта и обслуживания.

Внешний вид – каков на ощупь, вкус, запах, это очень важно.

Репутация качества – марка, бренд, ярлык. Например: японские товары считаются высококачественными, хотя немногие целиком собраны и сделаны в Японии.

Компании-производители товаров редко удовлетворяют всем 8 признакам.

Качество как свойство закладывается в процессе разработки и изготовления ЭС, а объективно оценивается в процессе эксплуатации. Однако оценивать качество по конечному результату, т.е. при эксплуатации, является невыгодным, поскольку информация запоздалая, т.к. на изготовление уже затрачены большие средства, к тому же не все параметры замеряются при эксплуатации. В связи с этим оценка качества продукции на современном предприятии проводится на всех этапах получения изделий: проектирования, производства (в том числе технологической подготовки производства), кончая этапом эксплуатации, когда анализируют рекламации и заключения потребителя, что показано на рис. 1.

Технология:

– разработка инструментов, станков и методов, используемых в промышленности;

– совокупность основанных на научных принципах знаний и навыков в определенной технической области.

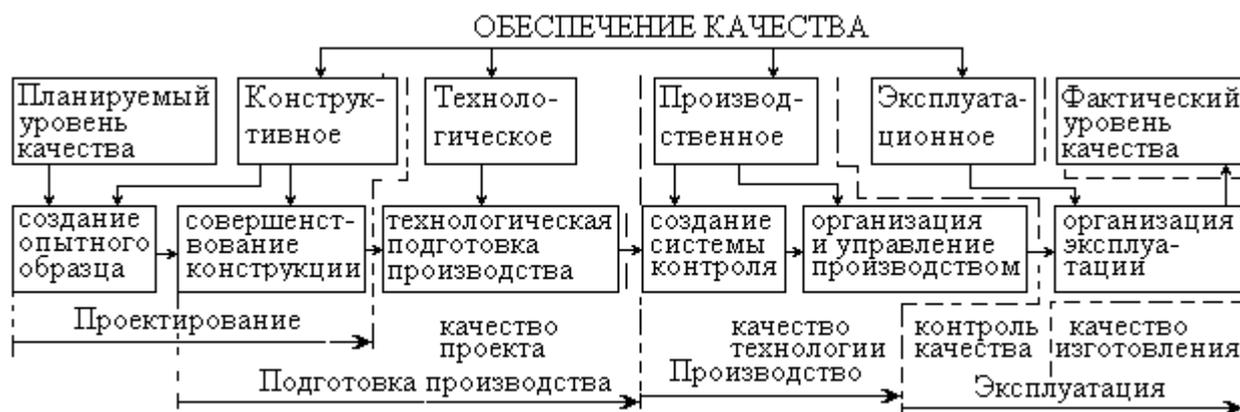


Рис. 1

Ноу-хау.

Совокупность профессионального технического и/или промышленного опыта и мастерства отдельного человека или компании.

Продукция:

- сырье,
- полуфабрикат,
- комплектующий элемент (электронный или механический),
- подузел или устройство,
- материал, изготовленный из комплектующих элементов,
- узел или готовое изделие, состоящее из нескольких подузлов или устройств.

Продукция для бытового потребления имеет ограниченный срок эксплуатации. Продукция в виде оборудования характерна гораздо более длительным сроком эксплуатации.

Бытовая продукция (например, автомобиль) в рамках представленного цикла проходит несколько основных этапов, что представлено на рис. 2.

Исследования – разработки.

Вначале происходит подготовка первичной документации по определению продукции и макета (на графике рис. 2 этому этапу соответствует время от 0 до 1 года). В настоящее время продолжительность этого этапа, в частности, в начале исследований, сокращена благодаря проектированию на ЭВМ.

После принятия решения о разработке продукции изготавливается определенное количество опытных образцов, позволяющих проверить ожидаемые характеристики и оценить надежность (от 1 до 3 года). На этом этапе в продукцию вносятся необходимые изменения для ее полного соответствия запросам покупателей.

После выпуска опытных образцов начинается производство опытной партии (от 3 до 4 года) с целью завершения опытно-конструкторской работы и, в частности, проверки качества всех комплектующих элементов, закупленных у

поставщиков. Предсерийное производство позволяет также подтвердить пригодность оборудования и оснастки для серийного производства.

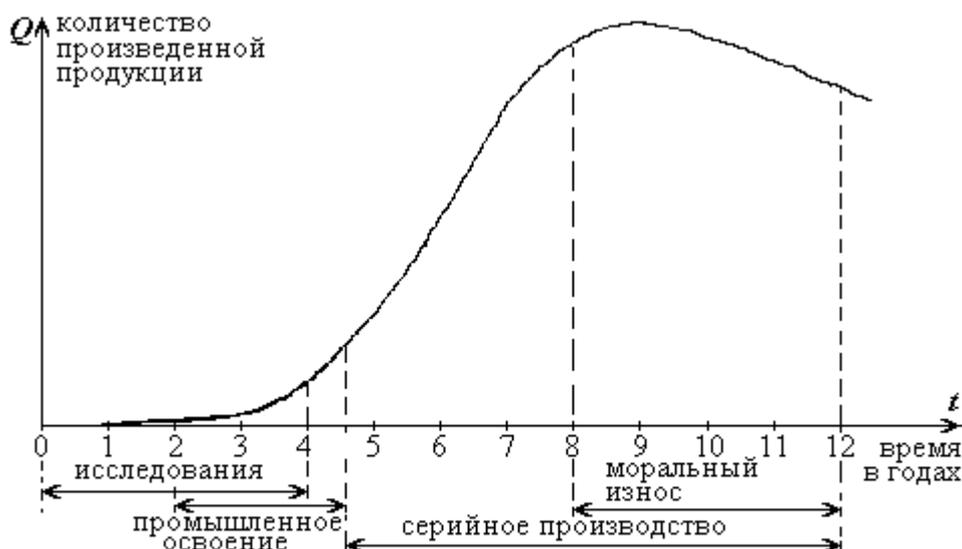


Рис. 2

Промышленное освоение.

Сразу после выпуска первых опытных образцов технологический отдел должен определить совокупность этапов технологического процесса производства продукции, разработать и создать специальные приспособления для производства; желательно с самого начала установить сотрудничество с отделом исследований и разработок для учета критериев «промышленной применимости» при проектировании продукции.

И в этом случае применение ЭВМ для разработки этапов технологического процесса, а также для изучения необходимого оборудования позволяет экономить время.

Серийное производство.

Ускорение темпов, предусмотренное для серийного производства (время от 4 до 4,5 года), происходит на этапе использования всех средств производства и всего задействованного персонала. Полное серийное производство длится до вступления продукции в фазу морального износа (время от 8 до 12 года), при которой необходимо начать исследования и выпуск на рынок новой продукции.

Длительность различных циклов, в частности этапа разработки и промышленного освоения, позволяет выявить заинтересованность в передаче технологий.

История становления системы управления качеством.

Рассмотрим, как менялись в течение столетия представления о принципах управления качеством и представления о правах потребителя.

До 1900 года качество было в руках ремесленника. В прежние времена высококвалифицированный ремесленник (кустарь, мастер) был свободен, но производительность его труда была невелика, ибо очень много было труда неквалифицированного. Передача знаний шла через учеников подмастерьев, однако было очень мало возможности изучить ремесло тому, кто был либо

слишком глуп для того, чтобы стать искусным работником, либо не мог осилить ремесло по какой-либо другой причине.

Машинная технология (система Тейлора) привела к дифференциации производства. Система заключается в разделении труда на отдельные операции. При этом она предоставляет такую работу, которую может выполнять всякий. Эта система приводит к уничтожению мастерства и привилегированных специалистов. При использовании этой системы модель изготовления только тогда выгодна для производства, когда она может быть легко расщеплена на операции, число которых не должно быть ни велико, ни мало. Процесс, поставленный правильно, знаменуется ритмическим действием изготовления, где быстрая работа может быть так же невыгодна, как и медленная (именно на этом основании были созданы конвейеры Форда). В результате в настоящее время имеется массовое производство вещей.

1.2. Стандарт ИСО-9000

Серия стандартов Международной организации по стандартизации ИСО-9000 [15] включает следующие документы:

- 1) ИСО-8402, содержит словарь основных терминов по качеству;
- 2) ИСО-9000, представляет собой руководящие указания по выбору и применению стандартов этой серии;
- 3) ИСО-9001, 9002, 9003 излагают модели системы и требования по обеспечению качества на различных этапах цикла жизни продукции;
- 4) ИСО-9004, содержит рекомендации по общему руководству качеством и элементы системы качества.

Согласно стандарту ИСО-9004 жизнь изделия подразделяют на 11 этапов:

- 1) маркетинг, поиски и изучение рынка (МРК) (необходимо установить, какая продукция нужна потребителю, какого качества и по какой цене);
- 2) проектирование и разработка технических требований, разработка изделия, конструкторская подготовка производства (КПП) (конструктор устанавливает возможность изготовления продукции, материалы и ориентировочную цену);
- 3) материально-техническое обеспечение (МТО);
- 4) технологическая подготовка производства (ТПП);
- 5) производство (ПР);
- 6) контроль, проведение испытаний и обследований (КИС);
- 7) упаковка и хранение (УХ);
- 8) реализация и распределение продукции (РСП);
- 9) монтаж и эксплуатация (МИЭ);
- 10) техническая помощь и обслуживание (ОБС);
- 11) утилизация после использования (УТ).

На стадии маркетинга необходимо продумать все этапы вплоть до утилизации продукции. На каждом этапе должна осуществляться оценка качества.

На стадии материально-технического обеспечения материалы, комплектующие детали и узлы, покупаемые предприятием, становятся частью выпускаемой продукции и оказывают непосредственное влияние на качество изделия. Поэтому поступление поставок должно планироваться и контролироваться на основе четко определенных требований к техническим условиям, чертежам, договорам и заказам на поставку.

На стадии производства продукции планирование производственных операций должно давать уверенность в том, что эти операции осуществляются определенным образом и в определенной последовательности. Выбранные технологические процессы должны производить продукцию в соответствии с установленными техническими условиями. На протяжении всего производственного процесса должна производиться проверка соответствия продукции характеристикам качества и установленным требованиям.

Управление качеством предусматривается на протяжении всего цикла жизни изделия. При этом стандарты требуют учитывать аспекты безопасности продукции для человека и окружающей среды.

Стандарт ИСО 9004 является руководящим документом, влияющим на качество продукции на всех этапах «петли качества», включающей в себя все стадии жизни изделия – от выявления потребностей до удовлетворения нужд потребителей. Все рекомендации стандарта должны учитываться при разработке эффективной системы качества.

Показатели качества определены стандартом ИСО 8402-86 «Качество. Словарь». Предусмотрено 10 групп показателей:

- 1) показатели назначения;
- 2) показатели надежности;
- 3) показатели технологичности;
- 4) показатели унификации
- 5) патентно-правовые показатели;
- 6) эргономические показатели;
- 7) эстетические показатели;
- 8) показатели транспортабельности;
- 9) показатели безопасности;
- 10) экологические показатели.

Значимость показателей каждой группы для определенного типа продукции выражаются весовыми показателями. Сумма числовых значений всех показателей $\sum q_i$ должна быть равна единице.

Каждую группу определяют численным значением, например, $q_3 = 0,25$. Это является основанием для сравнения различных видов продукции. Численные значения показателей должны отражаться в паспорте изделия, в технических условиях на его изготовление.

В свою очередь, приведенные группы показателей могут подразделяться на более детальные. Например, показатели надежности могут подразделяться на показатели, характеризующие безотказность, долговечность, средний ресурс, установленный срок службы, наработку на отказ и др.

1.3. Основные принципы обеспечения качества на современном этапе. Цикл Деминга

Доктор Уильям Эдвардс Деминг (1900 - 1993 г.) – всемирно известный учёный, автор многочисленных работ в области менеджмента и управления качеством, являлся консультантом крупнейших компаний и государственных структур в США и Японии.

В литературе [7] свою концепцию требований и поведения менеджеров Деминг отразил в 14 принципах управления качеством, приведенных ниже:

1. Постоянной целью деятельности должно являться улучшение качества продукции и услуг.

2. В любой сфере деятельности не должно допускаться ни одного дефекта.

3. Исходя из используемых статистических методов требовать от поставщиков гарантий качества поставляемых ими видов продукции.

4. Не заключать контракты на поставку продукции, ориентируясь только на низкие цены.

5. Изготовитель должен обнаруживать проблемы в области качества и решать их.

6. Обучаться должны все работающие на предприятии.

7. Использовать новые методы управления.

8. Не допускать у работающих боязни ответственности за ошибки в работе.

9. В деятельности отделов не должно быть никаких препятствий и барьеров.

10. Не использовать в организации работ призывы и лозунги, не подкрепленные реальными действиями.

11. Не оценивать количественными нормами деятельность никого из работающих.

12. Устранять все причины, снижающие чувства уважения и гордости к своей профессии у всех работающих.

13. Поощрять стремление к обучению, повышению образования и к самообразованию.

14. Руководители высшего звена управления должны четко устанавливать свои обязательства в области качества.

Приведем анализ данных принципов.

1. Анализ «жизненного цикла» продукции, представленного на рисунке 2, показывает, что ответственность за качество распределяется между всеми. Поэтому мнение, что качество является только делом ОТК, не только неправильно, но и вредно.

2. У нас до сих пор бытует мнение, что проблемы качества – это в основном небрежность производственного персонала. Деминг особо подчеркивает, что это вызывает неэффективные действия со стороны администрации: увещание рабочих, введение систем поощрения и стимулирования и т.д. А на самом деле причины лежат либо в недостатках

проекта, либо в технологии производства, либо (чаще всего) в обоих этих факторах. Поэтому когда говорят, что если изготовитель «выполнит все так, как спроектировано», и качество обеспечено – то это очень сильное заблуждение. Следовательно, обеспечение качества проекта (технические требования и отказоустойчивость) при соответственном технологическом обеспечении является основным (ниже будут рассмотрены методы Тагути, посвященные статистическим аспектам таких задач).

3. Без осознания руководством качества и его задач нельзя иметь правильного решения конфликта: «правильное проектирование» и «проектирование в срок». О качестве проекта судить надо не по закрытию этапов, а по выполнению требований заказчика. Очень важен здесь финансовый аспект. Мерило качества – потери от недостатков проекта или технологии.

4. Деминг всегда подчеркивает, что улучшение качества продукции ведет всегда к уменьшению бракованных изделий и затем к уменьшению исправлений (и, соответственно, затрат), хотя руководителям кажется все наоборот. Это правило работает всегда, даже если изделие усовершенствуется и приходится нести дополнительные затраты. Как показал Деминг, удовлетворение заказчика окупает эти затраты за счет уменьшения брака и расширения рынка.

5. Обнаружив источник проблем и устранив его, можно изготавливать изделия, приемлемые для пользователя и менее дорогостоящие для изготовителя.

Пример. При производстве интегральной схемы были использованы комплектующие с дефектом. В результате изделие получилось бракованное. Стоимость исправления дефекта изделия на разных этапах его обнаружения распределяется примерно следующим образом: при покупке комплектующих – 0,3 €, при изготовлении – 3 €, при контроле – 30 €, обнаружении дефекта покупателем – 300 €.

Цикл Деминга наглядно иллюстрирует процесс работы над повышением качества продукции. Другое название: *PDCA*, от английского названия этапов цикла: «*Plan-Do-Check-Act*» – планирование-действие-проверка-корректировка. циклически повторяющийся процесс принятия решения, используемый в управлении качеством. Методология *PDCA* представляет собой простейший алгоритм действий руководителя по управлению процессом и достижению его целей.

Цикл состоит из четырех циклически повторяющихся основных этапов и схематически изображаемый в виде, представленном на рис. 3.

P (планирование): установление целей и процессов, необходимых для достижения целей, планирование работ по достижению целей процесса и удовлетворения потребителя, планирование выделения и распределения необходимых ресурсов.

D (выполнение): выполнение запланированных работ.

C (проверка): сбор информации и контроль результата на основе ключевых показателей эффективности, получившегося в ходе выполнения процесса, выявление и анализ отклонений, установление причин отклонений.

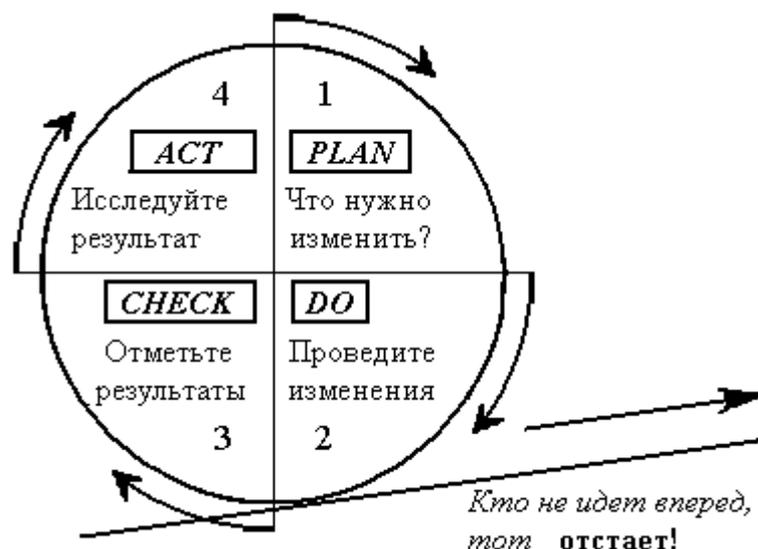


Рис. 3

А (воздействие, управление, корректировка): принятие мер по устранению причин отклонений от запланированного результата, изменения в планировании и распределении ресурсов. Здесь необходимо понять, что надо усовершенствовать, чтобы был лучше товар (или, например, урожай будущего года), т.к. планирование требует прогнозов. Понятие цикла Деминга не ограничивается только контролем качества изделий, его можно распространить на все управление производством.

Существует также расширенный вариант цикла Деминга (автор - японский профессор К. Исикава), изображенный на рис. 4.



Рис. 4

1.4. Общие сведения об электронных средствах и факторах, воздействующих на них

Во многих областях используются радиоэлектронные (РЭС) и электронно-вычислительные средства (ЭВС). В основу их функционирования положены принципы радиоэлектроники (РЭС) и, соответственно, вычислительной техники и электроники (ЭВС). В настоящее время проектирования РЭС и ЭВС имеют много общего, поэтому вышеуказанные средства объединяются одним термином – электронные средства (ЭС).

Современные ЭС с физико-технической точки зрения представляют собой сложные структуры, в которых происходят различные процессы физико-химического характера. Эти процессы несут как обратимый, так и необратимый характер.

Обратимое изменение – после прекращения воздействия параметры принимают исходные значения, проявляются в виде нестабильности параметров.

Необратимое изменение – после прекращения воздействия значения параметров отличаются от исходных, проявляются в виде деградации параметров из-за старения материалов и износа отдельных деталей конструкции.

Под *старением* понимается естественный процесс необратимого изменения свойств материалов. *Износ* – особый вид разрушения элементов ЭС вследствие их механического трения друг о друга или действия электрического тока.

Конкретные изменения, происходящие в ЭС, зависят от вида воздействий. Природа этих воздействий различна. Классификация воздействий представлена на рис. 5.



Рис. 5

Краткая характеристика естественных воздействий.

Климатические (погодные): температура, влажность, ветер, атмосферное давление и т.д.

Биологические (биофактор) – это организмы или их сообщества, вызывающие нарушение работоспособности: бактерии, плесневые грибы, насекомые (термиты), грызуны.

Космические: электромагнитные и корпускулярные излучения, метеорные частицы и т.д.

Механические: вибрация (наиболее опасна), под которой понимают колебания либо самого изделия или каких-либо частей его конструкции. наиболее часто на самолетах и ракетах; удар – ускорения, возникающие при резком изменении скорости или направления движения объекта; акустический шум – от самолетов, артиллерийских снарядов или реактивных снарядов.

Классификация воздействующих факторов идет согласно схемы, представленной на рис. 6.

Субъективные воздействующие факторы (ВФ), как правило, скрыты от работников и изготовителей изделий. Для их выявления на всех этапах применяют различные виды контроля и испытаний.

Объективные ВФ – легко наблюдаемые для любого этапа жизненного цикла изделия.

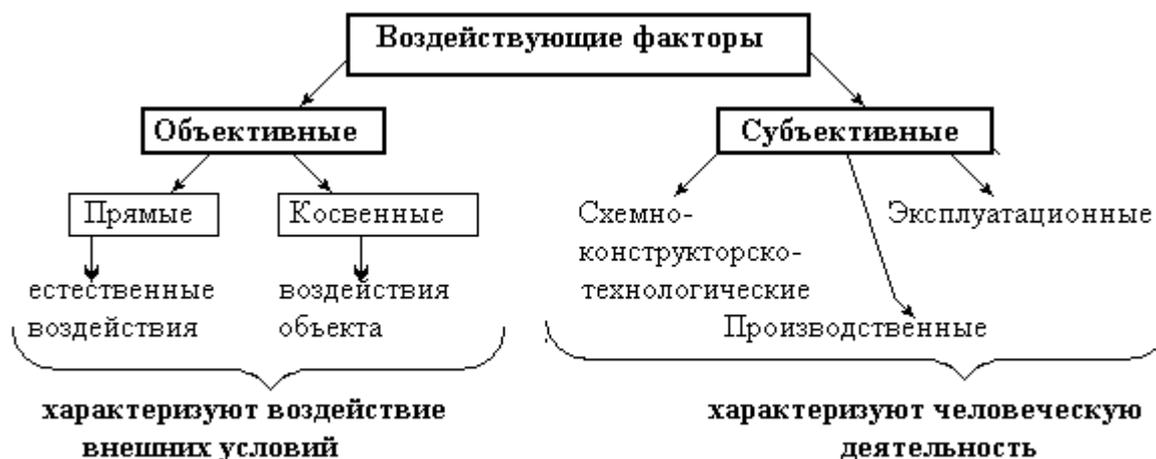


Рис. 6

Условия эксплуатации ЭС – это совокупность внешних и внутренних воздействий, влияющих на работоспособность изделий.

По условиям эксплуатации ЭС подразделяют на наземные, корабельные и бортовые.

Наземные ЭС: все стационарные, возимые и носимые ЭС.

Корабельные ЭС: на открытом воздухе, на морском берегу или открытых надстройках корабля, в закрытых и затопляемых помещениях или отсеках корабля.

Бортовые ЭС: самолетные и космические.

Особо выделяются нормальные условия. Нормальные условия эксплуатации: работа в закрытых помещениях при отсутствии механических воздействий и загрязненности воздуха пылью, газами, парами, микроорганизмами при температуре $t^{\circ}\text{C}=20\pm 5$, влажности $h=60\div 65\%$ (при 80% воздух считается сырм), атмосферном давлении $P=720\div 780$ мм. рт. столба.

1.5. Вопросы для самопроверки

1. В чем заключаются принципы системного управления качеством?
2. Чем отличаются следующие признаки качества: «Исполнение», «Особенность», «Внешний вид»?
3. Чему соответствуют признаки качества «Надежность», «Прочность»?
4. Чем отличается продукция для бытового потребления от продукции в виде оборудования?
5. Что необходимо делать предприятию на этапе морального износа продукции?
6. На каких этапах жизненного цикла изделия, согласно ИСО 9000, предусматривается управление качеством?
7. Поясните значение этапов цикла Деминга.
8. Как улучшение качества ведет к уменьшению затрат?
9. Какие виды изменений параметров изделий вы знаете? Как они проявляются?
10. Какие существуют виды воздействий? Чем они характерны?

2. СТАТИСТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ КАЧЕСТВА ЭС

2.1 Общие сведения о статистических методах

Статистические методы основаны на использовании математической статистики; не требуя больших затрат, они обеспечивают достаточно хорошие результаты о качестве объектов и процессов.

Статистические методы управления и обеспечения качества широко используются в США, Японии и других ведущих странах мира. Хотя русские и советские математики (А.И. Колмогоров, Н.В. Смирнов, А.Я. Хинчин, Я.Б. Шор и т.д.) внесли большой вклад в развитие матстатистики. Россия отстаёт от *массового* применения статистических методов. Широкое распространение эти методы получили в 40-50-е годы, но позднее они свернулись из-за низкой квалификации, технологической и конструкторской дисциплины, нехватки специалистов в области матстатистики и перегруженности методов математикой, а главное, отсутствие экономической заинтересованности.

Стандарты серии ИСО 9000 называют статистические методы одним из главных методов решения проблемы качества, но следует иметь в виду, что это средство не единственное (о чем и говорит У. Э. Деминг). В настоящее время условно статистические методы классифицируют на 3 группы:

- графические методы;
- методы анализа статистических совокупностей;
- экономика - математические методы.

Графические методы – основаны на применении графических средств анализа статистических данных, сюда можно включить: контрольный листок, диаграмму Парето, схему Исикавы, гистограмму, диаграмму разброса, расслоение, контрольную карту, график временного ряда и др.

Эти методы просты настолько, что их освоят и рабочие, но они достаточно эффективны, поэтому широко используются, особенно в кружках качества.

Методы анализа статистических совокупностей – используются в случае, если изменение анализируемого параметра носит случайный характер. Сюда относятся методы: регрессионный, дисперсионный и факторный виды анализа, метод сравнения средних, метод сравнения дисперсий.

Дисперсионный анализ – устанавливает зависимость явления от случайных факторов, но качественную.

Корреляционный анализ – даёт количественную, выражаемую численно зависимость.

Регрессионный анализ – устанавливает связь между случайными и неслучайными величинами.

Факторный анализ – выявляет роль отдельных факторов в изменении анализируемого параметра.

Экономико-математические методы – не являются чисто статистическими, но используют аппарат математической статистики. В основе методов лежит оптимизация, т.е. нахождение наилучшего варианта с учётом критерия оптимальности. Здесь можно указать следующие методы: математического

программирования (линейного, нелинейного, динамического); планирование эксперимента; имитационное моделирование; теория игр, теория массового обслуживания, теория расписаний; а также методы Тагути, метод структурирования функции качества (СФК).

Внедрение в практику статических методов надо начинать с простых методов, переходя к более сложным, в том числе с использованием ПЭВМ. Условно все методы целесообразно подразделять на 2 класса: простые и сложные методы. Мы рассмотрим методы, которые полезны для внедрения стандартов семейства ИСО 9000.

2.2. Простые статистические методы

К ним относят 7 методов, выделенных в начале 50-х годов японскими специалистами под руководством К. Исикавы [9, 16]. От 50 до 95% всех проблем производства (по Исикаве) можно решать этими методами. Этими методами владеют все в Японии (от рабочего до директора), а изучают их в старших классах (20 часов). В 7 простых методов входят: контрольный листок; диаграмма Парето, причинно-следственная диаграмма, гистограмма, диаграмма разброса, расслоение данных, контрольная карта.

2.2.1. Контрольный листок

Средство сбора и упорядочения первичных данных, т.е. анализа частоты появления события (какого-либо брака, отклонения). Он содержит данные: объект изучения, данные о контролируемом параметре (коэффициент усиления, частота колебаний и т.д.), место контроля, (цех, участок), должность работника, контролирующего данные; дата, тип контрольного прибора, длительность наблюдения.

Форма листка должна быть удобна для заполнения и содержать наименьшее необходимое число контролируемых параметров.

2.2.2. Диаграмма Парето

Разновидность столбиковой диаграммы, применяется для отображения факторов в порядке уменьшения их значимости. Идея диаграммы принадлежит американскому академику Д. Джурану, который использовал в её основе кумулятивную кривую экономиста Лоренца, а последняя построена на основе теории распределения доходов, предложенной итальянским экономистом Вильфредо Парето (1848 – 1923 г.)

Рассмотрим построение диаграммы Парето на примере.

Имеется выборка из 120 интегральных схем с различными видами дефектов. Данные о выборке с указанием количества микросхем, обладающих тем или иным видом дефекта, представлены в таблице 1, являющейся исходной для построения диаграммы.

В таблице обозначены виды дефектов: 1 – неправильное применение; 2 – дефект кристалла и окисла; 3 – дефект герметизация и сварки; 4 – дефект

металлизации; 5 – погрешность диффузии; 6 – инородные частицы; 7 – дефект кристаллодержателя; 8 – неопознанные дефекты.

Таблица 1

1	Вид дефекта	1	2	3	4	5	6	7	8
2	Количество дефектов, шт.	42	20	15	10	9	9	9	6
3	Сумма дефектов, шт.	42	62	77	87	96	105	114	120
4	%	35	52	64.5	72.7	80.2	86.8	93.4	100

Построение диаграммы Парето: по оси абсцисс откладываются данные графы 1 (виды дефектов), а по оси ординат – данные графы 2 (количество микросхем с данным дефектом) в порядке убывания частоты встречаемости. Прочие факторы (неопознанные дефекты) здесь идут последними, так как их доля невелика. Если их доля велика, то надо сделать их расшифровку, т.е. опознать и раздробить. По этим данным вычерчивают столбиковую диаграмму, далее используют данные графы 4 и дополнительную (правую) ординату и вычерчивают кривую Лоренца, обозначающую кумулятивный (накопленный) процент. Возможно построение кривой Лоренца и по данным графы 3, если эти данные перевести в проценты. Тогда для вычерчивания кривой не понадобится дополнительная ордината, что упрощает построение. Построенная для этого примера диаграмма Парето приведена на рис. 7.

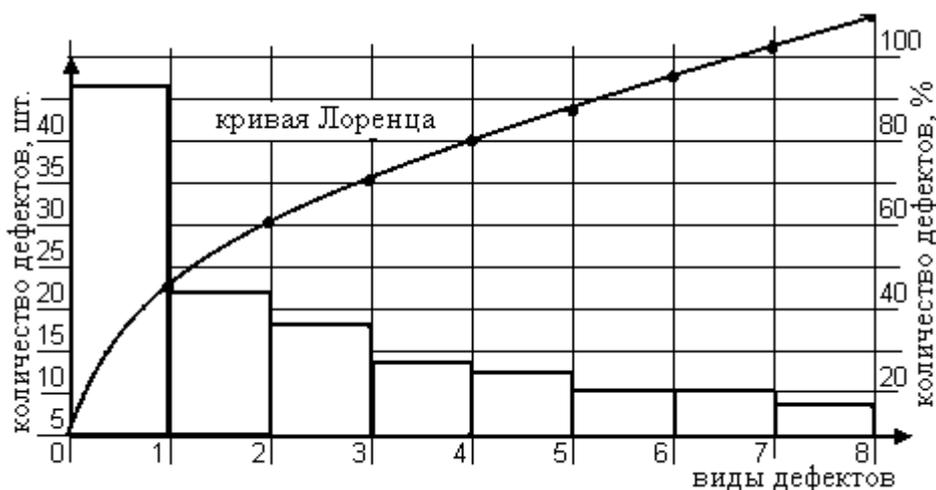


Рис. 7

Достоинство диаграммы Парето: она позволяет разгруппировать факторы на значительные и незначительные. Анализ диаграммы Парето обнаружил закономерность, называемую «правило 80/20». Для анализа несоответствий это означает: 80% дефектов связано с 20% причин, т.е. в большинстве случаев большая часть несоответствий (здесь: брака продукции) вызывается относительно немногочисленными причинами.

Диаграмма Парето может использоваться и для анализа эффективности мероприятий по повышению качества: для этого нужно построить две диаграммы – до и после проведения мероприятий – и сравнить друг с другом.

2.2.3. Причинно – следственная диаграмма (схема Исикавы)

Предложена в 1953 году профессором Каору Исикавой – в Японии ее часто называют «рыбным скелетом» или «рыбной костью». Схема представляет собой графическое упорядочение факторов, влияющих на качество объекта анализа. На рис. 8 показан принцип построения схемы Исикавы.

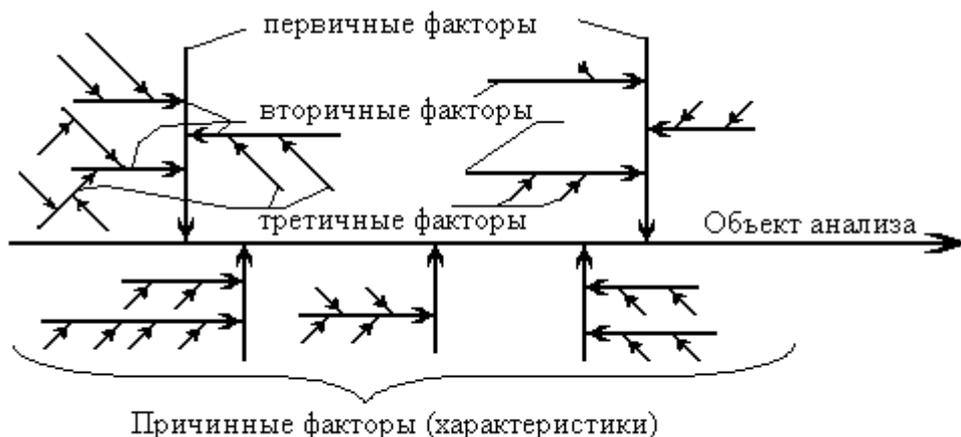


Рис. 8

К центральной горизонтальной стрелке, изображающей объект анализа, подводятся большие первичные стрелки, определяющие главные факторы (группы факторов), а далее и первичным стрелкам подводят стрелки второго порядка, к ним стрелки третьего порядка и т.д., пока не будут учтены все факторы, влияющие на объект анализа в конкретном случае. Каждая стрелка на схеме обозначает либо причину, либо следствие: предыдущая по отношению к последующей есть причина, а последующая – следствие. Наклон и размер стрелок не имеют принципиального значения, главное – это наглядность и легкая читаемость схемы, для чего наименование каждого фактора надо располагать в горизонтальном положении параллельно центральной оси.

Главное достоинство схемы Исикавы: она дает представления не только о факторах, которые влияют на объект, но и о причинно – следственных связях (последовательности) этих факторов. Но для построения схемы Исикавы надо хорошо знать объект анализа, а для этого правильно сгруппировать схему на уровне первичных стрелок-факторов. Для этого пользуются правилом, предложенным Исикавой. Оно состоит в том, что есть пять причин тех или иных результатов: материалы (комплектующие), оборудование, методы (технология), измерения и персонал.

Зная схему Исикавы, можно определить состав и взаимосвязь факторов, влияющих на объект анализа, и выяснить значимость этих факторов. Для этого схема Исикавы предлагается группе экспертов, которая высказывает свои мнения о значимости того или иного фактора (кроме первичных) посредством пометок (круги, крестики и т.д.) В результате опроса экспертов получится группа факторов, оказывающих наибольшее влияние на качество объекта. В качестве примера на рис. 9 приведена схема Исикавы для брака динамика акустической колонки. Из диаграммы видно, что после опроса пяти экспертов

наиболее значимыми оказались три фактора: консистенция клея (4 кольца), деформация демпфера (3 кольца) и небрежность исполнителей (сборщиков) – 3 кольца.

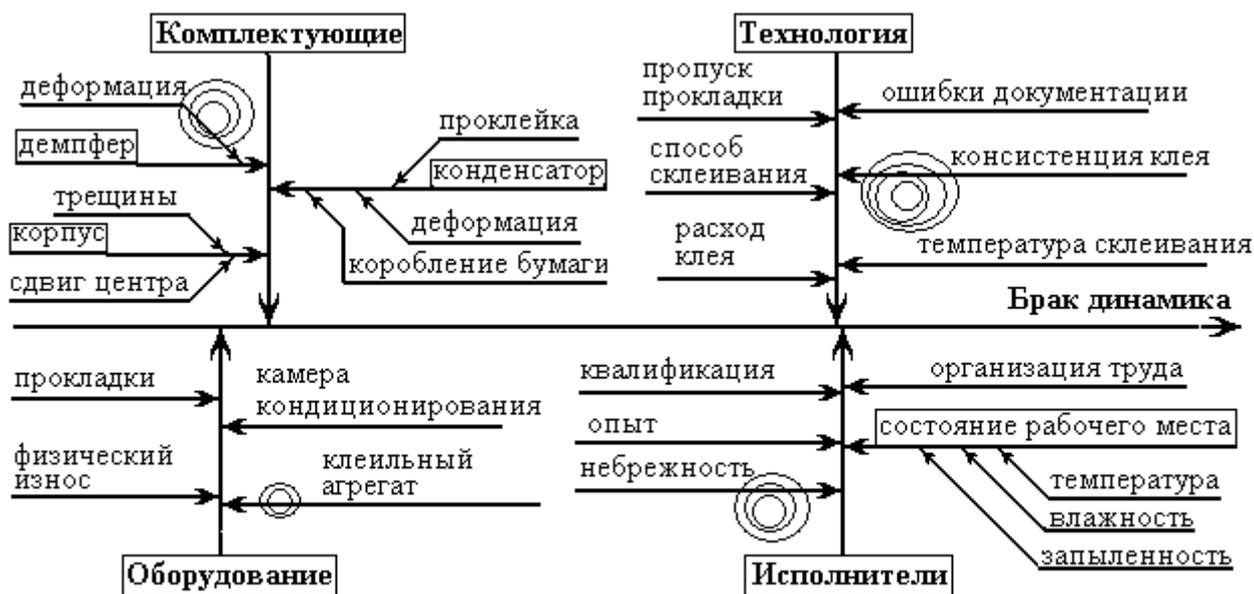


Рис. 9

2.2.4. Гистограмма

Один из видов столбиковой диаграммы, отражающая частоту появления события. На горизонтальной оси размещаются прямоугольники, основания которых – интервалы шириной d , на которые разбивается ряд значений (измеряемый параметр, например, размер какой-либо детали), а ординаты – относительные частоты h появления значений в каждом интервале.

Этапы построения гистограммы.

Построение происходит по выборке x_i ($i = 1..N$), где N – объем выборки, x – значение анализируемого параметра.

1. Составление таблицы исходных данных. При этом предварительно определяют число интервалов K по формуле

$$K = 1 + 3.2 \lg N, \quad (2.1)$$

где N – объем выборки, т.е. число исходных данных (для достоверности картины берут $N \geq 100$); рекомендуемые значения: при $N = 100 \div 150$ $K = 6 \div 10$, при $N > 150$ $K = 10 \div 20$.

2. Оценивается размах анализируемого параметра R :

$$R = x_{\max} - x_{\min} \quad (2.2)$$

и определяется ширина интервала d :

$$d = R / K. \quad (2.3)$$

3. Устанавливается точка отсчета первого интервала (например в точке x_{\min}), выбирается окончательно число K при выполнении условия $dK > R$, при этом величина d должна удовлетворять условию

$$d > 2\delta_{\text{шк}}, \quad (2.4)$$

где $\delta_{\text{шк}}$ – цена деления шкалы измерительного прибора. Если $d = \delta_{\text{шк}}$, то получается не гистограмма, а полигон частот $\varphi(x)$. Условие (2.4) позволяет компенсировать погрешность измерения.

Вид гистограммы зависит от N, K, x_{\min} :

$$\lim_{N \rightarrow \infty, d \rightarrow 0} \Gamma(x) = \varphi(x), \quad (2.5)$$

т.е. при объеме выборки $N \rightarrow \infty$ и ширине интервала $d \rightarrow 0$ гистограмма $\Gamma(x)$ превращается в кривую распределения $\varphi(x)$ параметра x .

Основные параметры гистограммы:

Математическое ожидание случайной величины \bar{x} :

$$\bar{x} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i \quad (5.6)$$

Выборочная дисперсия σ_x^2 :

$$\sigma_x^2 = \frac{1}{N+1} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2, \quad (2.7)$$

где $x_i - i$ -е значение случайной величины из выборки объема N .

Пример. Дана выборка значений выходного параметра x_i РЭС объемом $N=130$; $x_1 = x_{\min} = 8, x_2 = 9,2, \dots, x_N = x_{\max} = 54. \sum_{i=1}^N x_i = 3640$.

Разметить числовую ось по x (абсциссу) для построения гистограммы.

Решение :

1. По формуле 2.1 определяем приближенное число интервалов K с аргументами до ближайшего целого:

$$K = 1 + 3,2 \lg 130 \approx 8,$$

что попадает в рекомендуемое значение ($K = 6 \div 10$).

2. Оценим ширину интервала по формуле 2.3:

$$d = \Delta x = \frac{R}{K} = \frac{x_{\max} - x_{\min}}{K} = \frac{54 - 8}{8} = 5,75,$$

принимаем $d = 6$ для упрощения расчетов.

3. Находим среднее значение параметра \bar{x} из выборки по формуле 2.6:

$$\bar{x} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i = \frac{3640}{130} = 28.$$

4. Строим числовую ось x , на которой отмечаем среднее значение \bar{x} . От среднего значения откладываем по обе стороны $0,5d$, затем по целому интервалу $d = \Delta x$, пока интервалы не перекроют $x_{\max} = 54$ и $x_{\min} = 8$. Размеченная ось изображена на рисунке 10.

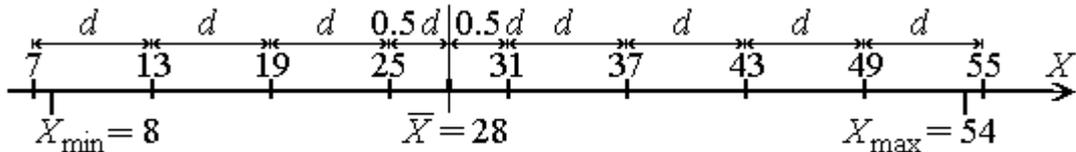


Рис. 10

Построение гистограммы.

Пусть для предыдущего примера таблица распределения значений выходного параметра РЭС имеет вид, представленный в таблице 2. Построим гистограмму и сделаем выводы о настройке техпроцесса, если назначенное поле допуска (ab) представлено на гистограмме.

В таблице указано:

N_i – число элементов выборки, попавших в i -й интервал (абсолютная частота появления);

$v_i = \frac{N_i}{N}$ – относительная частота появления x в i -ом интервале;

$X_i^* = \frac{(x_{i-1} + x_i)}{2}$ – среднее значение центра i -го интервала.

Таблица 2

номер интервала	границы интервала		N_i	v_i	X_i
	верхняя	нижняя			
1	55	49	4	0,03	52
2	49	43	8	0,06	46
3	43	37	22	0,17	40
4	37	31	28	0,22	34
5	31	25	31	0,24	28
6	25	19	27	0,25	22
7	19	13	7	0,05	16
8	13	7	3	0,02	10

Правильность расчётов подтверждается условием: $\sum_{i=1}^K N_i = N = 130$.

Вид гистограммы представлен на рис. 11.

По виду полученной гистограммы можно сделать следующие выводы:

1. Большинство изделий укладывается в назначенный допуск (123 из 130).

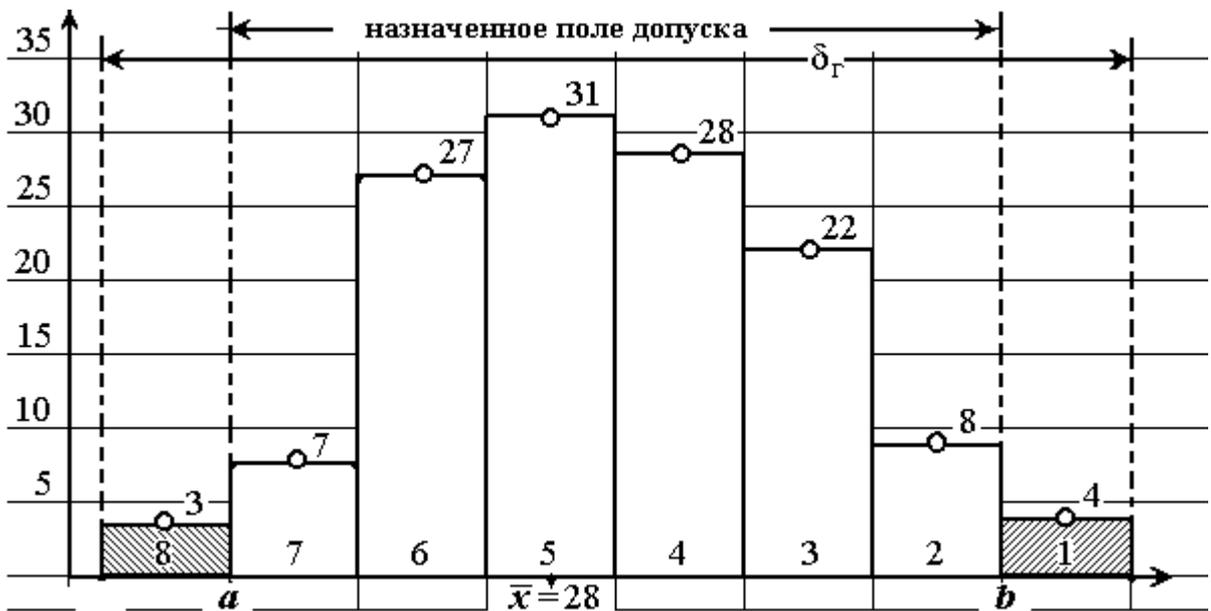


Рис. 11

2. Количество изделий со значительным несоответствием составляет 7 штук и представляет собой брак.

3. С целью снижения выхода брака можно:

а) сузить гистограмму произвести перенастройку процесса, сместив на 6,0 делений вверх его настройку (по нижнему интервалу) и на 6,0 делений вниз (по верхнему интервалу);

б) изменить назначаемый допуск в сторону его расширения (если возможно);

в) регулировать техпроцесс.

Гистограмма необходима для изучения состояния процесса и выборки рекомендаций по его совершенствованию. Для этого важно знать расположение гистограммы относительно технологического допуска. Здесь возможны следующие варианты.

1) Оптимальный (рис. 12): среднее значение \bar{x} гистограммы (центр распределения) совпадает с координатой центра поля допуска $\Delta = (a+b)/2$, где a и b - нижний и верхний пределы поля допуска.

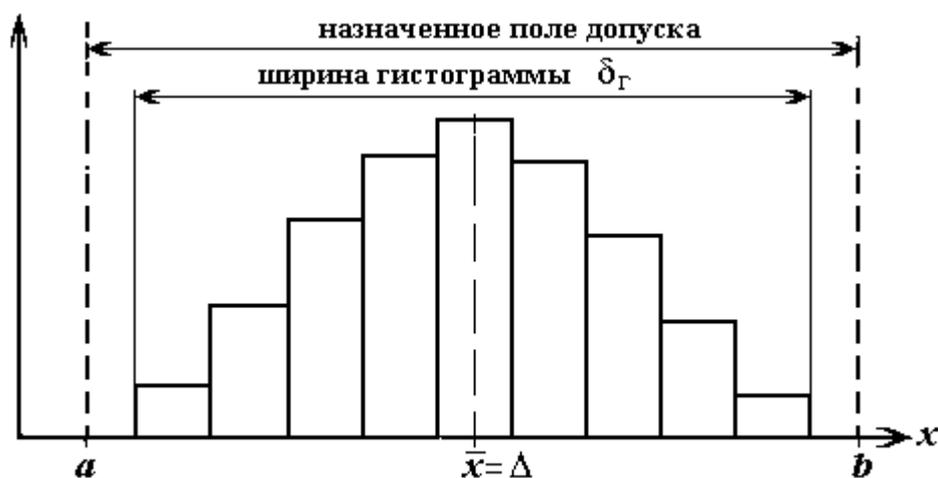


Рис. 12

При этом отношение ширины гистограммы δ_r к ширине поля допуска $b-a$ должно иметь запас. Рекомендованное значение запаса:

$$\frac{\delta_r}{(b-a)} = \frac{3}{4}. \quad (2.6)$$

Регулировки техпроцесса не требуется.

2) Сдвиг гистограммы вправо (рис. 13). $\Delta < \bar{x}$

Этот случай опасен тем, что среди изделий могут быть некондиционные (выходящие за пределы допуска) с правой стороны размерного поля. Здесь надо проверить средства измерения, и если они в норме, то надо регулировать техпроцесс.

3) Ширина гистограммы совпадает с шириной поля допуска (рис. 14).

$\Delta = \bar{x}$ и $\delta_r = b - a$.

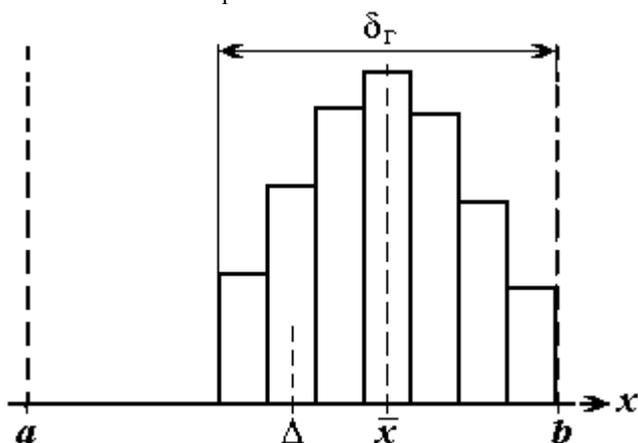


Рис. 13

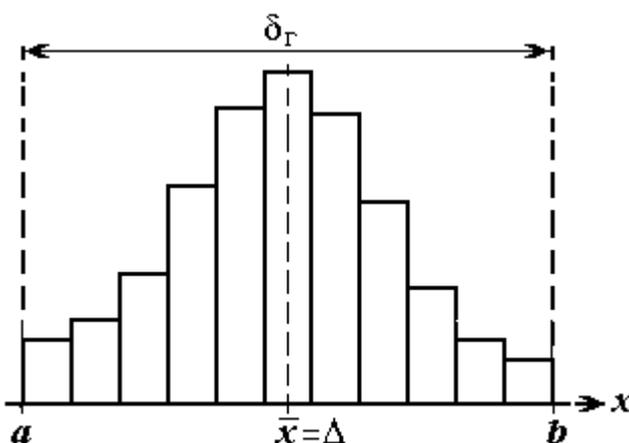


Рис. 14

Этот случай опасен возможностью появления брака со стороны верхней и нижней границ допуска. Поэтому либо надо повысить точность (т. е. заузить δ_r), либо при невозможности технического решения расширить назначенный допуск.

4) Центр гистограммы смещен относительно ее центра тяжести вправо (рис. 15). При этом $\Delta \neq \bar{x}$ и $\delta_r = b - a$.

В этом случае либо надо регулировать техпроцесс (сместить настройку в левую сторону), либо сузить ширину гистограммы, либо изменить допуск.

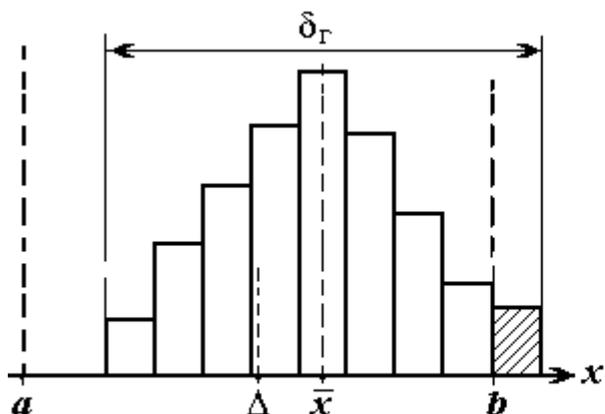


Рис. 15

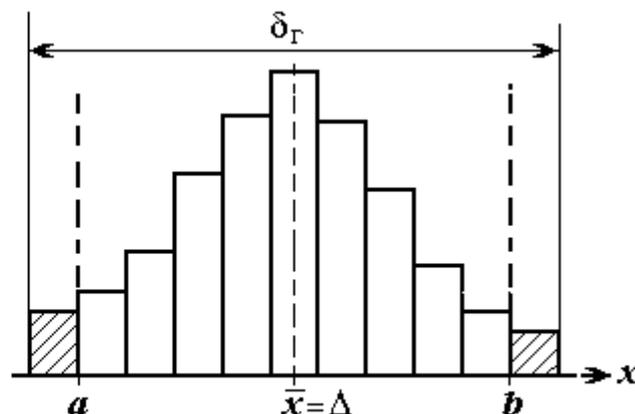


Рис. 16

5) Ширина гистограммы больше поля допуска (рис. 16). При этом $\Delta = \bar{x}$ и $\delta_T > b - a$.

Этот случай корректируется так же, как и рассмотрено выше в случае № 3.

6) В гистограмме 2 пика, хотя образцы деталей взяты из одной партии (рис. 17).

Это случай, когда в партии были детали, обработанные на 2-х разных станках, либо на одном, но материал был разный.

Гистограмму надо расслоить, т.е. разбить на две и каждую изучать отдельно.

7) В гистограмме есть «островок», хотя все остальные параметры в норме (рис. 18).

Очевидно, все детали «островка» – это брак, случайно попавший в общий поток, или существует какая-либо другая причина, которую надо найти. Например, искажение статистических данных.

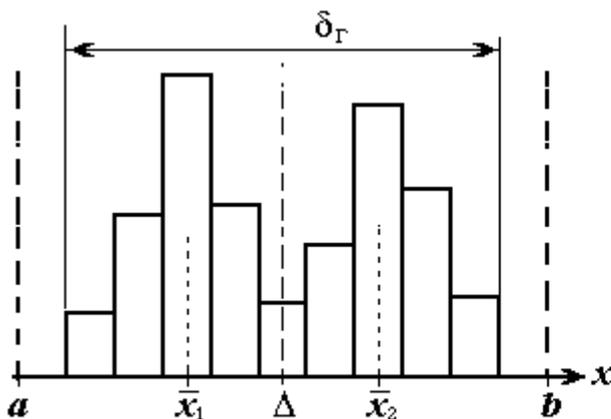


Рис. 17

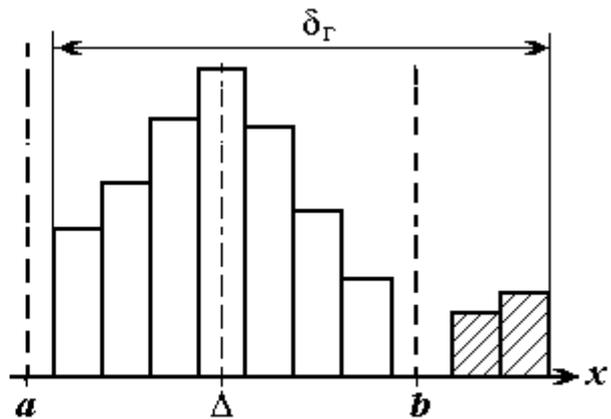


Рис. 18

8) Сдвиг гистограммы влево, т.е. к нижнему пределу (рис. 19). Поскольку левая часть представляет собой «отвесный берег», эта партия была уже рассортирована, или же детали умышленно включили как годные, хотя они были за левым пределом. Поэтому надо искать причину (например, никто из контролеров не хотел говорить об этом руководству).

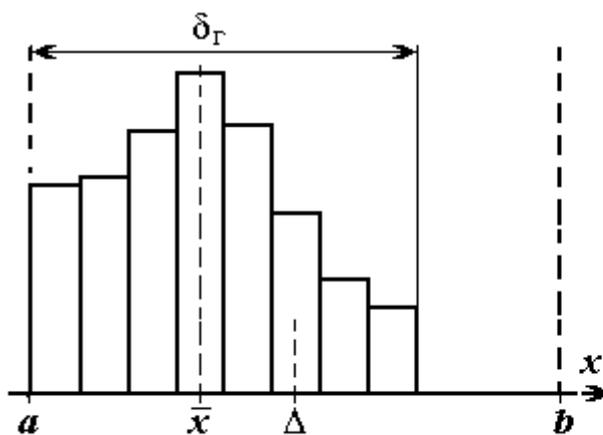


Рис. 19

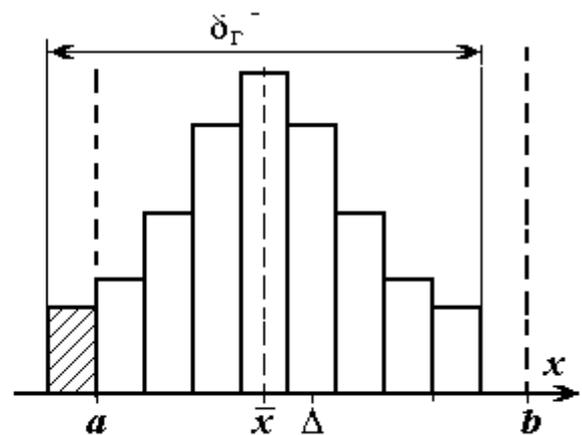


Рис. 20

9) Гистограмма зашла за нижний допуск (рис. 20). Случай, аналогичный «8», но с условием правильного контроля. Очевидно, неисправно измерительное средство, поэтому надо либо посмотреть калибровку, либо обучить повторно правилам измерения.

2.2.5. Диаграмма разброса (диаграмма рассеивания)

Применяется для выяснения зависимости одной величины (показателя качества продукции, техпроцесса и т.д.) от другой. Она дает ответ на вопросы: существует ли причинно-следственная связь вообще, какова ее сила и направленность.

Для выяснения зависимости используется статистический метод, известный как корреляционный анализ. Если одна величина (параметр) абсолютно зависит от другой, можно изобразить эту зависимость на графике (один параметр – абсцисса, другой – ордината), при этом точки наблюдения будут располагаться на прямой линии. При корреляции соответствие наблюдается лишь приблизительно и точки наблюдения располагаются не по прямой, а в виде рассеянного «облачка». В этом случае, используя один из методов оптимальности [14] можно найти уравнение линейной регрессии в виде:

$$y = ax + b, \quad (2.8)$$

где a – коэффициент регрессии; b – свободный член регрессии.

Для нахождения параметров уравнения линейной регрессии (a , b) решается система уравнений: **ПРОВЕРЬ ФОРМУЛУ!!!**

$$\begin{cases} Na + \left(\sum_{i=1}^N x_i \right) b = \sum_{i=1}^N y_i, \\ \left(\sum_{i=1}^N x_i \right) a + \left(\sum_{i=1}^N x_i^2 \right) b = \sum_{i=1}^N x_i y_i, \end{cases} \quad (2.9)$$

где N – объем выборки.

Пример. Пусть есть выборка из восьми стабилизаторов напряжения в виде данных о мощности (переменная X) и количестве ЭРЭ в стабилизаторе (переменная Y). Данные представлены в виде таблицы 3.

Таблица 3

Y, шт	31	31	29	36	41	39	41	43
X, Вт	37	59	60	103	125	135	145	160

Соответствующий график приведен на рисунке 21.

Расположение точек в «облачке» показывает, что есть сильная положительная линейная корреляция, так как точки расположены около прямой линии. Для данного случая метод наименьших квадратов [14] дает формулу этой прямой: $y = 24.6 - 0.11x$.

Если «облачко» не вытянуто, а рассеяно, как показано на рис. 22, то зависимость слабая. Точки расположены хаотично.

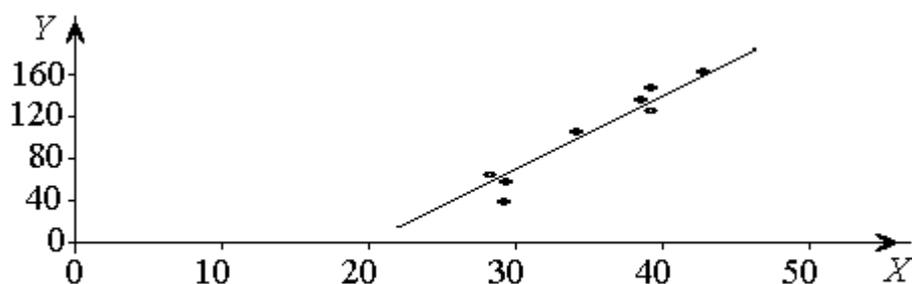


Рис. 21

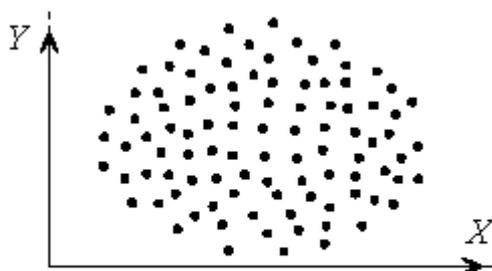


Рис. 22

Существуют другие виды анализа:

- 1) регрессионный – для анализа одного параметра от нескольких;
- 2) дисперсионный – анализ вклада каждого фактора в дисперсии (разброс).

Этот метод требует хорошей инженерной и физико-математической подготовки.

Для количественной оценки влияния одной случайной величины X на Y , т.е. их связи, используется коэффициент парной корреляции R_{xy} , асимптотически несмещенная оценка которого определяется

$$R_{xy} = \frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{(N-1)\sigma_x \sigma_y}, \quad (2.10)$$

где x_i – i -ое значение переменной X ; y_i – i -е значение переменной Y ; N – общее число наблюдений; \bar{x} – среднее значение переменной X из выборочной совокупности; \bar{y} – среднее значение переменной Y из выборочной совокупности; σ_x – выборочная оценка (среднеквадратическое отклонение) переменной X ; σ_y – выборочная оценка переменной Y , определяемые согласно формуле

$$\sigma_x = \sqrt{\sigma_x^2}; \quad \sigma_y = \sqrt{\sigma_y^2}, \quad (2.11)$$

где σ_x^2, σ_y^2 – выборочные дисперсии переменных X и Y .

Коэффициент парной корреляции (2.10) является показателем тесноты и направления корреляционной связи, его значение находится в пределах $-1 \leq R_{xy} \leq 1$.

При отсутствии корреляционной связи между двумя случайными переменными $R_{xy} = 0$. Если связь между двумя переменными линейная и функциональная (абсолютная зависимость величин), тогда $R_{xy} = +1$ или $R_{xy} = -1$. На рис. 23 показаны случаи положительной и отрицательной корреляции, а также возможный на практике случай криволинейной корреляции.

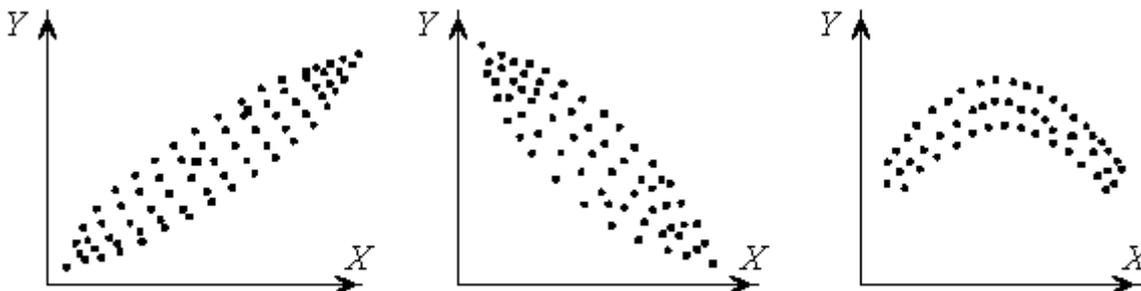


Рис. 23

2.2.6. Расслоение данных (стратификация)

Разбивка (группировка) данных на страты (группы). На практике стратификация используется для расщепления статистических данных по различным признакам в других методах (диаграммах Парето, Исикавы, гистограммах и т.д.). Пример расслоения диаграммы Парето по факторам А и Б приведен на рис. 24: у дефекта А возможны причины A_1, A_2 и т.д., по которым строится отдельная диаграмма; то же по другим дефектам.

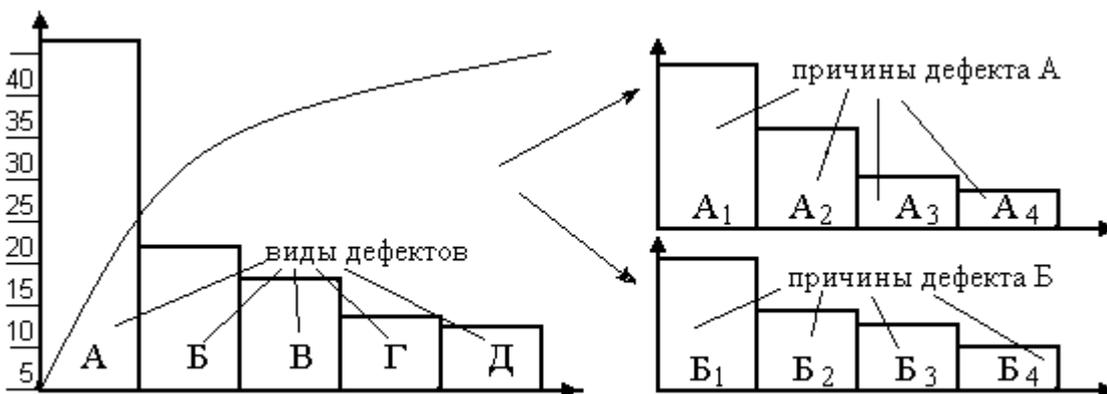


Рис. 24

Расслоение позволяет получить представление о скрытых причинах дефектов. При расслоении надо стремиться к тому, чтобы различие внутри группы было меньше, а между группами – больше.

2.2.7. Контрольная карта

Карта, на которой для наглядности состояния анализируемого процесса отмечают значение регулируемой характеристики во времени. Карта даёт

временную развертку процесса и позволяет воздействовать на него до того, как он выйдет из-под контроля. Пример контрольной карты приведен на рис. 25.

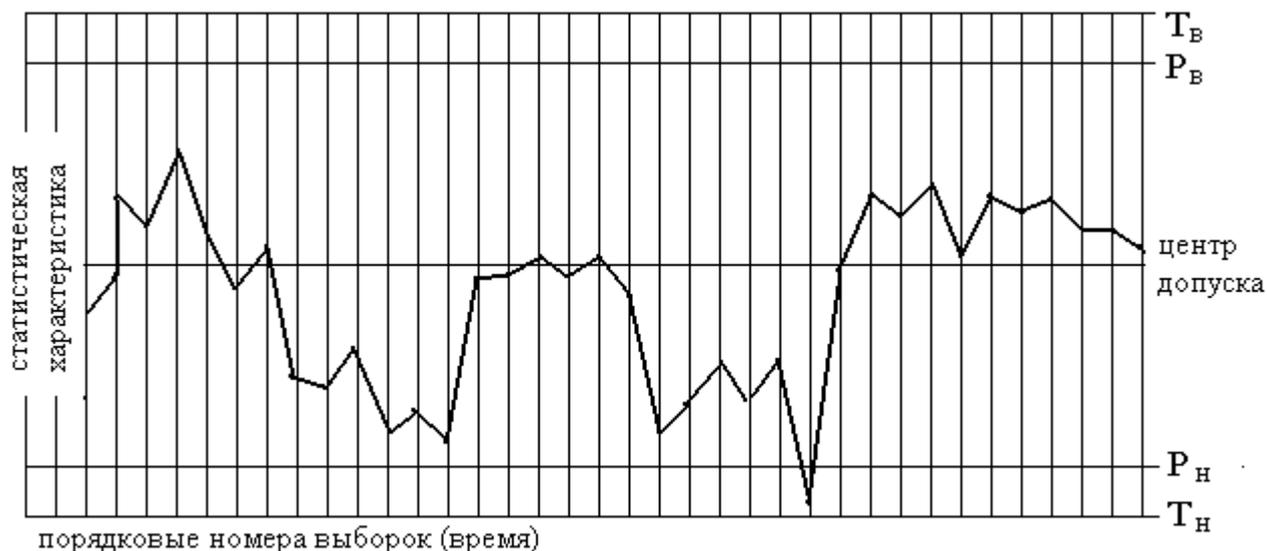


Рис. 25

Здесь обозначено: T_v и T_n – верхний и нижний пределы технологического допуска на контролируемый параметр; P_v и P_n – верхняя и нижняя границы регулирования параметра.

Суть работы с контрольной картой: если хотя бы одна точка выйдет за пределы границы регулирования, то операция разладилась, и поэтому надо ее корректировать. Но сведения возможности нарушения технологической операции можно получить и до разладки по некоторым признакам:

- вблизи границы регулирования появляется несколько значений контролируемого параметра;
- значения распределяются по одну сторону от центра допуска, т. е. смещение среднего относительно центра настройки;
- сильный разброс контролируемого параметра.

Контрольных карт существует несколько разновидностей, однако для 7 простых методов используется 4 типа:

- 1) карта индивидуальных значений (x_i -карта);
- 2) карта средних арифметических значений (\bar{x} -карта);
- 3) карта средних арифметических значений и размахов ($(\bar{x} - R)$ -карта);
- 4) карта медиан и размахов ($(\bar{x} - R)$ -карта).

Вторая карта требует в 1,5 раза меньше выборки, чем 4-я (медиан). Области использования: 1 и 3 – для техоборудования при механической обработке; 2 – для сложных настроек техопераций и жестких допусках; 4 – обеспечивает достаточный запас технологической точности оборудования. Вычисление медиан менее трудоемко, чем вычисление среднего арифметического \bar{x} .

2.3. Сложные статистические методы

В 1977 году в дополнение к простым семи методам Японский союз ученых и инженеров предложил еще 7 методов управления качеством. Они решают еще 5% проблем УК, которые не решают 7 простых методов. Эти методы используются специалистами, поэтому они требуют хорошего статистического и инженерного образования. В число 7 новых методов входят: метод диаграммы сродства; метод графа связей; метод «дерева» (иерархической структуры); метод матричной диаграммы; метод анализа матричной диаграммы; метод блок-схем принятия решений; метод сетевого графика.

Практически число сложных статистических методов неисчерпаемо. В данном параграфе рассмотрим методы Тагути и метод структурирования функции качества, позднее метод приемочного контроля.

2.3.1. Методы Тагути

Развивают идею планирования эксперимента в области качества.

Методы Тагути стали известны в Японии в последние годы. В 1951 году фирма «Никонденсо», связанная с фирмой «Тойота», стали использовать эти методы, в 70-х годах о них узнали в США, Канаде затем в Европе, где они произвели эффект разорвавшейся бомбы. В 1987 году в США открыли институт методов Тагути, в Лондоне – Тагути-клуб, а в Париже институт методов Тагути для распространения во Франции, Испании Португалии. В КНДР методы Тагути распространены очень широко, сейчас они используются на 800 предприятиях, а в Японии они приносят большой доход. В России о методах Тагути узнали в середине 80-х годов.

Философия Тагути заключается в повышении качества со снижением стоимости. В существующих до этого методах качество и стоимость рассматривалось отдельно: сначала рассматривается показатель качества, затем стоимость, а если она больше желаемой, то методом последовательных приближений подстраивали уровни качества и стоимости к расчетным.

Тагути развил идею Ф. Тейлора, который ввел понятие номинала и допуска и доказал, что попадание в границы допуска не приводит к потере качества, как показано на рис. 26, демонстрирующем точку зрения производителя.

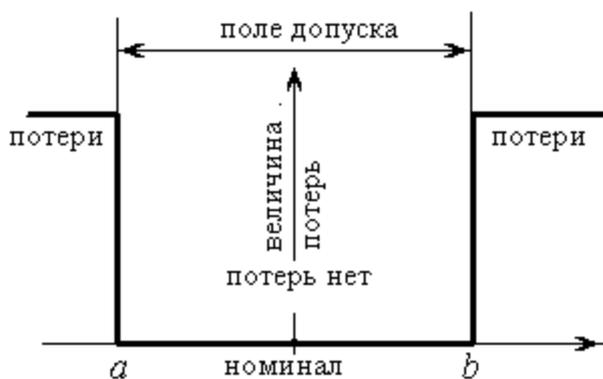


Рис. 26



Рис. 27

Тагути усовершенствовал методы Тейлора. Он взял стоимость и качество общей характеристикой – *функции потерь качества*. Суть концепции Тагути поясняет рис. 27, показывающий точку зрения потребителя, согласно которой качество изделия с параметром, попадающим внутрь поля допуска, зависит от близости к номиналу: чем больше от номинала, тем потери больше и только при номинале они равны нулю. Это можно пояснить следующим образом. Пусть производитель выпускает товар, который стоит некоторую сумму для потребителя в течении срока службы. Если товар улучшить, то эта сумма уменьшится, и будет стоить производителю 30% суммы потерь от недостатка качества. 70% – это потери, которых избегают потребитель и общество в целом. Такой подход более глубокий, чем традиционный, для понимания связи между качеством и общественными потерями.

В большинстве случаев функции потерь качества (выраженных в денежных единицах) определяется по формуле:

$$L = L(y) = K(x - m)^2, \quad (2.12)$$

где L – потери; m – номинальное значение функциональной характеристики x ; K – постоянная потерь – определяется с учетом потерь, которая несет изготовитель при браке (затраты на гарантийное восстановление или замену).

Концепция Тагути разделяет жизненный цикл продукции на два этапа:

- досерийный (НИР и ОКР, проектирование, опытное производство и отладка);
- собственно серийное производство и эксплуатация.

Общепринятый подход – контроль качества на втором этапе, а именно в условиях серийного производства. Подход Тагути заключается в том, что основы качества закладываются раньше, поэтому с самого начала жизненного цикла продукции надо исследовать проблемы качества. При этом на ранних этапах нужно заложить качество таким образом, чтобы на последующих этапах оно слабо зависело от несовершенства технологии, неоднородности сырья, вариации условий окружающей среды и других помех, неизбежных в производстве и эксплуатации. Такое свойство изделия называется «робастностью», т.е. устойчивостью проектируемых объектов к внешним воздействиям.

Основное отличие концепции Тагути от общепринятых: нацеленность не на устранение причин разброса, а на выявление контролируемых факторов при обеспечении нечувствительности производства и продукции к влиянию «шумов», то есть в данном случае факторов, которыми управлять трудно и дорого. В качестве критерия робастности Тагути предложил отношение «сигнал/шум», где под «сигналом» понимают контролируемые (управляемые) факторы, которыми можно управлять практически и экономически.

Тагути разработал более 70 формул отношения «сигнал/шум», связанных со спецификой отраслей промышленности (электроника, химия и т.д.). Основная формула имеет вид:

$$\frac{c}{\text{ш}} = -10\lg(Q), \quad (2.13)$$

где Q – параметр, зависящий от типа характеристики.

Наиболее употребительны $Q = U_{\text{вых}}, I_{\text{потр}}$ и т.д., т.е. номинал. Здесь возможны варианты:

$Q \rightarrow \min$ – оптимальными являются минимальные значения параметров (например, количество примеси в продукте, потребляемая мощность);

$Q \rightarrow \max$ – оптимальны максимальные значения (выходная мощность).

Процесс проектирования изделий по Тагути состоит из 3-х этапов.

1. Создание базового прототипа с учетом новейших достижений науки и техники (общая компоновка узлы, материалы) – *системное проектирование*.

2. Выбор таких параметров, которые обеспечивают оптимизацию по робастности при условии обеспечении номинала – *параметрическое проектирование*.

3. Установление экономически оправданных допусков – *допусковое проектирование*.

Метод Тагути доступен рядовому инженеру.

2.3.2. Структурирование функции качества

Логическое развитие концепции Тагути. Цель структурирования функции качества (СФК) – удовлетворение требований с наивысшим качеством при минимальных затратах потребителя.

Разработка метода СФК – Япония (конец 60х годов), внедрен на судовой верфи «Мицубиси» в г. Кобэ. В середине 70-х метод импортирован в США («Форд Моторс»), где был засекречен. В самом общем виде СФК – инструмент добывания и обработки сведений о том, чего хочет потребитель.

Метод СФК предлагает средство, называемое «дом качества» (рис. 28).

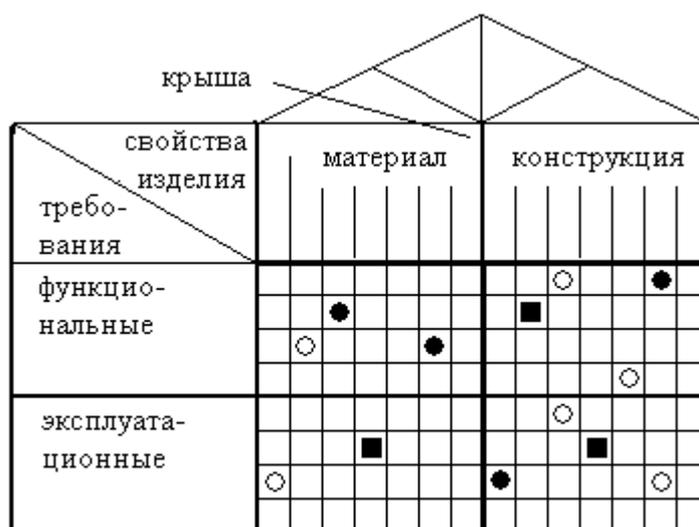


Рис. 28

Структура «дома качества»:

левая сторона – требование рынка к качеству продукции;

правая сторона – зависимость между требованиями потребителей и свойствами продукции.

Связи между левой и правой стороной осуществляются через «потолок», который с помощью условных символов (знаков) устанавливает вид зависимости свойств и требований потребителей (сильная, умеренная, слабая). Если связи нет, то клетка пустая.

В конечном счете «дом качества» дает наглядную картину всего комплекса взаимосвязанностей и в конечном итоге концентрирует сотрудников различных подразделений на том, что интересует потребителя.

Этот метод практически не нашел применения в отечественной практике.

2.4. Вопросы для самопроверки

1. Для чего применяется контрольный листок? Какие данные он содержит?
2. В каком порядке расположены данные на диаграмме Парето?
3. Как использовать диаграмму Парето для анализа эффективности мер по улучшению качества?
4. В каком порядке строится схема Исикавы?
5. Чему соответствуют первичные факторы схемы Исикавы?
6. Какие данные расположены на горизонтальной оси гистограммы?
7. Как определить число интервалов горизонтальной оси гистограммы?
8. Объясните физический смысл выборочной дисперсии.
9. В чем заключается принципиальное отличие данных для диаграммы Парето и гистограммы?
10. Для чего используется диаграмма разброса?
11. Каковы возможные варианты диаграммы разброса? Что они означают?
12. Для чего используется расслоение данных?
13. К каким методам применимо расслоение данных?
14. Какие данные отмечают на контрольной карте?
15. В чем отличие контрольной карты от контрольного листка?
16. Какие признаки нарушения техпроцесса существуют на контрольных картах?
17. Чем отличаются точки зрения производителя и потребителя на отличие параметра изделия от номинала? Почему?
18. Какова зависимость функции потерь качества от близости измеряемого параметра к номиналу?
19. В какой экономической ситуации применим метод Тагути? В какой неприменим? Почему?
20. Что называется робастностью?
21. Что называется шумом при анализе производства на устойчивость?
22. Каковы, согласно Тагути, этапы проектирования изделий?
23. Каково значение оборонной и космической промышленности для создания изделий другого назначения?
24. Что отражает метод «дом качества»?

3. ВЫБОРОЧНЫЙ МЕТОД ИСПЫТАНИЙ

Большинство методов испытаний ЭС являются либо разрушающими, либо значительно сокращающими технический ресурс изделий. Поэтому, для снижения стоимости испытаний, вместо проверки всей партии N изделий от партии, соблюдая принцип случайности, отбирают выборку (отсюда название метода) в n единиц, причем $n \ll N$. Все единицы в выборке подвергают испытаниям, а далее рассчитывают характеристики изделий и делается вывод о качестве всей партии.

Статистический выборочный контроль осуществляется по плану контроля согласно ГОСТ 15895-77, под которым понимают данные о виде контроля, объеме партии N , выборке n или пробах (для нештучной продукции), контрольных нормативах и решающих правилах.

3.1. Количественные характеристики контроля

Основными количественными характеристиками контроля являются: уровень дефектности, риск поставщика, риск потребителя, приемочное число, браковочное число.

Уровень дефектности: доля дефектных единиц или число дефектов на 100 единиц продукции.

Поскольку выборка не несет достаточно объективной информации о качестве партии, то может быть несет ущерб как потребителю, так и изготовителю. Если потребитель бракует партию по выборке, то ущерб несет изготовитель (поставщик).

Риск поставщика α – это вероятность отклонения хорошей партии.

Но если потребитель берет бракованную партию по хорошей выборке – ущерб несет потребитель.

Риск потребителя β – вероятность покупки бракованной партии.

Поскольку устранить оба вида риска нельзя, но точно его оговорить (исходя из разумных цифр) можно, т.е. риск здесь определен, тогда как при нестатических методах контроля риск не определен.

Сумма вероятностей $\alpha + \beta$ – вероятность неправильных оценок качества продукции, а $1 - (\alpha + \beta)$ – вероятность правильной оценки. На практике α и β выбирают равными 0,1; 0,05; 0,01 (10; 5; 1%).

Приемочное число (ПЧ) – контрольный норматив, являющийся критерием приемки партии продукции. ПЧ – это максимальное число дефектов в выборке при приеме по альтернативному признаку или предельное значение параметра при приеме по качественному признаку.

Альтернативный признак – контроль без числовых значений показателей качества (количество и вид дефектов, контроль с помощью калибров проходных и непроходных и т.д.) с выносом решения: годен или негоден.

Количественный признак – контроль точных числовых значений параметра.

Браковочное число (БЧ) – контрольный норматив, являющийся критерием для забраковки партии продукции. БЧ – минимальное число дефектов при

приеме по альтернативному признаку или предельное значение параметра при приеме по качественному признаку.

Для оценки эффективности плана приемки используется *оперативная характеристика (ОХ)* – уравнение, график, или таблица в виде зависимости вероятности приемки от величин, характеризующий качество продукции.

Удобнее всего ОХ изображать в виде графика, приведенного на рис. 29. Здесь: q – уровень дефективности (в процентах или единицах продукции); $P(q)$ – вероятность приемки партии.

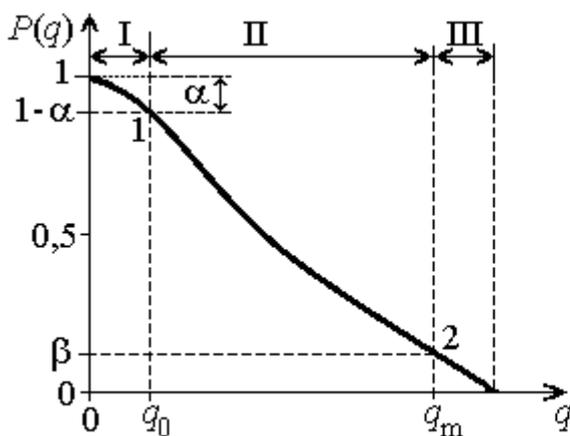


Рис. 29

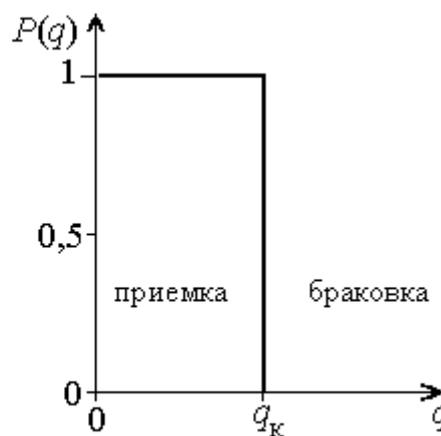


Рис. 30

Для сравнения на рисунке 30 приведена ОХ для случая сплошного контроля, где q_x – критическое значение количества дефектной продукции (в единицах). Эта характеристика может считаться идеальной, т.к. вероятность приемки бракованной продукции равна нулю и идеально выделены две области.

В случае выборочного контроля потребитель и изготовитель договариваются о двух уровнях: приемочный q_0 и браковочный q_m . При $q > q_m$ – партия признается плохой, а при $q < q_0$ – хорошей. Интервал $q_m > q > q_0$ – зона неопределенности. Партии, попадающие в нее, называют допустимыми.

Обычно на практике берут $P(1-\alpha)=0.9 \div 0.99$ для партий с q_0 и $P(\beta)=0.1 \div 0.01$ для партий с q_m .

Партии, лежащие в зоне приемки I, будут приняты, в зоне браковки III – отвергнуты, а ликвидировать зону неопределенности без сплошного контроля невозможно. Можно уменьшить ширину этой зоны, увеличив выборку n , но тогда возрастут затраты на контроль. Поэтому партия, лежащая в зоне II, нуждается в дальнейшем изучении.

3.2. Методы выборочного контроля

Классификация методов ВК приведена на рис. 31.

Особенности некоторых из методов приведены ниже.



Рис. 31

Метод однократной выборки. Из партии выбирается произвольно n изделий, из которых m бракованных. Если m больше заранее определенного допустимого числа бракованных изделий $d_{\text{доп}}$, то партия бракуется, а если $m \leq d_{\text{доп}}$, то партия признается годной.

Метод двукратной выборки. Из партии выбирается n_1 изделий, из которых m_1 бракованных.

Если $\frac{m_1}{n_1} < d_1$, то партия принимается, при $\frac{m_1}{n_1} \geq d_2$ – бракуется, а при

$d_1 < \frac{m_1}{n_1} < d_3$ назначаются повторные испытания (берется вторая выборка из n_2 изделий, m_2 – число бракованных).

Если $\frac{m_1 + m_2}{n_1 + n_2} \leq d_3$, то партия принимается, а если $\frac{m_1 + m_2}{n_1 + n_2} > d_3$ –

бракуется. Размеры выборок n_2 , n_1 и нормативы d_1 , d_2 , d_3 указаны в ТУ.

Метод последовательного анализа. Испытывается одно или несколько изделий из проверяемой партии. После испытаний принимается решение: принять, забраковать или продолжать испытание партии. Аналогичные решения могут быть приняты после проверки следующих изделий. Далее пользуются составленным заранее графиком с тремя зонами (рис. 32). На практике пользуются этим методом, ибо при нем, как правило, меньше испытаний. Его недостаток: неясно, когда окончатся испытания.



Рис. 32

3.3. Вопросы для самопроверки

1. Что называется риском поставщика? Потребителя?

2. Чем является сумма рисков поставщика и потребителя?
3. Как связаны вероятности оценок партии?
4. Чем отличается альтернативный признак от количественного?
5. Что называется приемочным числом? Браковочным?
6. Какое число больше: приемочное или браковочное?
7. Какие величины откладываются на осях графика оперативной характеристики?
8. Чем отличаются графики оперативной характеристики для случая сплошного контроля и для контроля по выборке?
9. Почему сплошной контроль не применяется?
10. Где на графике оперативной характеристики отмечены риски потребителя, поставщика?
11. Где на графике оперативной характеристики отмечены приемочное число, браковочное число?
12. В каких случаях партия признается годной при двукратной выборке?
13. В чем преимущество и недостаток метода последовательного анализа?

4. ИСПЫТАНИЯ НА НАДЕЖНОСТЬ ЭС

В предыдущих главах мы ознакомились с теоретическими методами оценки качества ЭС. Поскольку расчеты связаны с использованием приближенных математических моделей, а также исходных данных, то на практике могут быть значительные уходы этих оценок. Поэтому о качестве ЭС очень большой объем информации получают путем контроля их параметров и проведения испытаний [5], начиная с разработки нормативно-технической документации и кончая анализом рекламаций и статистики отказов в процессе эксплуатации.

Для сложных систем, таких как автоматические системы управления (АСУ), многоканальные системы передачи информации (для них затраты на испытания очень велики), лучше проводить моделирование. Структура испытаний приведена на рис. 33.

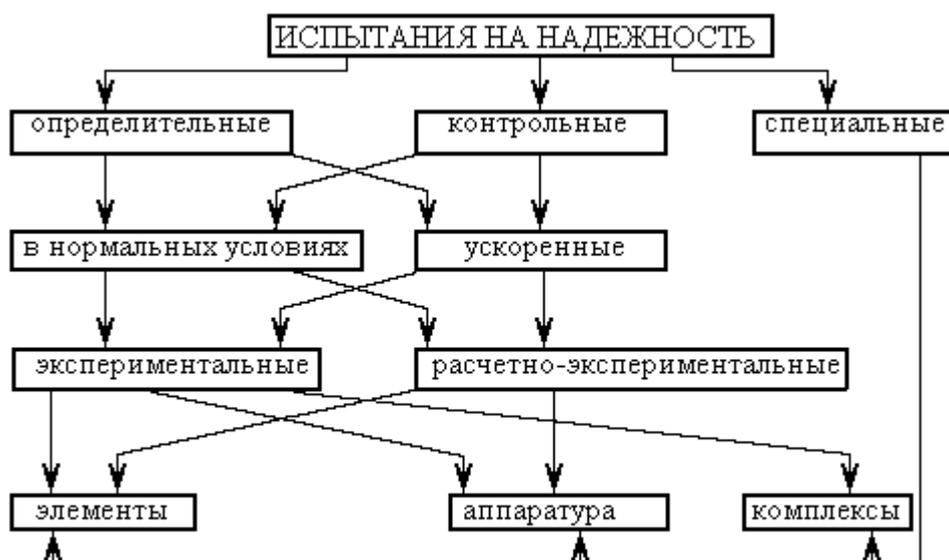


Рис. 33

Определятельные – проводятся с целью получения численных значений показателей надежности.

Контрольные – проводятся с целью установлению факта соответствия параметров изделия установленным требованиям по надежности показателям.

Специальные – проводятся на анализ воздействия радиации, электрических и магнитных полей.

При изготовлении ЭС различают контроль готовых изделий (или полуфабрикатов) и контроль технологического процесса (ТП) их изготовления.

Контроль изделий (полуфабрикатов) – это совокупность операций, направленных на выявление дефектных изделий (полуфабрикатов) в процессе их производства.

Контроль ТП – это, как правило, операционный контроль изделия или процесса во время выполнения или после завершения технологической операции.

Основная форма контроля ЭС – *испытания*, под которыми понимают экспериментальное определение при различных воздействиях количественных и качественных характеристик изделий при их функционировании.

Основные цели испытаний:

- выбор оптимальных конструктивно-технологических решений при создании новых изделий;
- доводка изделий до необходимого уровня качества;
- объективная оценка качества изделий при их постановке на производство, в процессе производства и техническом обслуживании;
- гарантирование качества изделий на международном рынке.

Для повышения качества выпускаемых ЭС на конечных этапах ТП их изготовления проводят предварительные испытания, которые называют технологическими тренировками (термоциклирование, электротренировка). Их назначение – выявление скрытых дефектов без выработки ресурса изделий.

4.1. Классификация испытаний и основная документация

Классификация испытаний приведена на рис. 33.

Методы испытаний подразделяют на две большие группы: физические и с использованием моделей.

Физические испытания могут проводиться как при внешних воздействующих факторах (ВВФ), создаваемых искусственным путем с помощью испытательных стендов (стендовые испытания) или специальных методов и средств, применяемых в лабораторных условиях (лабораторные испытания), так и при естественных ВВФ (полигонные и натурные испытания).

Полигонные испытания осуществляют на специальном оборудованном полигоне при воздействии внешних климатических факторов.

Натурные испытания имеют три отличительных признака:

- 1) Испытаниям подвергаются ЭС, а не их модели или составные части;
- 2) Испытания идут в условиях и при воздействиях, соответствующих режиму эксплуатации;
- 3) Характеристики испытуемого изделия замеряются непосредственно, без использования математического аппарата. Математический аппарат допускается использовать только для статистической обработки результатов экспериментов.

Полигонные и натурные испытания отличаются от лабораторных и стендовых *комплексностью* исследования ВВФ на ЭС, когда имеет место суперпозиция многих воздействий.

К физическим относятся такие эксплуатационные испытания, основным видом которых – опытная эксплуатация.

Три последних вида испытаний в группе физических являются продолжительными, сложными и, как следствие, дорогими. Поэтому очень

широкое использование, особенно в связи с появлением ЭВМ, получают *испытания с использованием моделей*, заменяющие сложные физические испытания методами физического и математического моделирования.

Физическое моделирование состоит в том, что первичный параметр объекта заменяется простой физической моделью, которая далее подвергается статистическим испытаниям.

Математическое моделирование базируется на использовании уравнений, связывающих входные и выходные параметры объекта. Основным недостатком метода: большой объем теоретических и экспериментальных исследований для построения математической модели.

Основной документацией при проведении испытаний являются: программа испытаний и методика испытаний.

Программа испытаний (ПИ) ЭС – обязательный для выполнения организационно-методический документ, имеющий титульный лист и шесть разделов. На титульном листе размещают:

- наименование программы (например, «Типовые испытания микросборок на металлических подложках»);
- названия темы, по которой ведется разработка изделия;
- согласующие и утверждающие программу подписи руководителей организации-разработчика ЭС и представителя заказчика.

Раздел 1 «Объект испытаний». Наименование, чертежный и заводской номера, дата выпуска объекта испытаний.

Раздел 2 «Цель испытаний». Ставится конкретная цель (цели) испытаний.

Раздел 3 «Обоснование необходимости проведения испытаний». Указываются плановые документы, в которых обоснована необходимость проведения испытаний (например, программа обеспечения качества).

Раздел 4 «Место проведения и обеспечения испытаний». Наименование подразделения, в котором проводятся испытания, а также план работ по их подготовке и проведения с указанием объема, срока исполнения и соответствующих исполнителей работ.

Раздел 5 «Объем и методика испытаний». Раскрывает содержание испытаний, разбивается на два подраздела.

1 подраздел – указываются условия испытаний (число образцов, распределение их на группы, последовательность прохождения испытаний различными группами по видам воздействий с регламентацией количественной оценки каждого воздействия) и номера чертежей оснастки, необходимой для их проведения.

2 подраздел – включает сведения о контролируемых параметрах изделия с указанием документации, по которой требуется измерить или определить их параметры.

Раздел 6 «Оформление результатов испытаний». Указывается одна из трех форм представления результатов испытаний: протокол, отчет, техническая справка.

Методика испытаний (МИ) ЭС – организационно-методический документ, обязательный к выполнению (как и ПИ), разрабатываемый при подготовке

испытаний. Это может быть самостоятельный документ или изложен в ПИ. МИ – это составная часть производственно-технической документации (ТУ или стандарты) на изготовление ЭС.

В МИ сформулированы:

- метод испытаний;
- средства и условия испытаний;
- порядок отбора проб;
- алгоритм выполнения операций по определению одной из нескольких взаимосвязанных характеристик испытываемого изделия;
- формы представления и оценки точности, достоверности результатов;
- требования техники безопасности и охраны окружающей среды.

Наиболее ответственный момент при разработке МИ – выбор метода испытаний.

МИ должна обеспечивать максимальную эффективность процесса испытаний (минимальные затраты при максимальном техническом эффекте и минимальных погрешностях результатов).

4.2. Испытания на внешние воздействующие факторы

4.2.1. Испытания ЭС на механические воздействия

Наибольшее влияние на ЭС оказывает сочетание вибрационных нагрузок и ударов.

Вибрация – связана с работой двигателей любых транспортных средств, при этом данная точка корпуса транспортного средства отклоняется от положения равновесия по синусоидальному закону, колебания корпуса передаются на РЭС, особенно их влияние велико, если они совпадают с резонансной частотой конструкции.

Удары – возникают при движении транспортных средств, особенно сильны при торможении и ускорении. При этом возникают и линейные перегрузки.

Устойчивость к воздействию вибраций изделий характеризуют вибропрочность и виброустойчивость.

Вибропрочность – характеризует устойчивость РЭС к механическим перегрузкам в *нерабочем* состоянии, после этого проверяется отсутствие механических повреждений и работоспособность изделия.

Виброустойчивость – характеризует устойчивость РЭС к механическим перегрузкам в *рабочем* состоянии с подключением радиоизмерительной аппаратуры.

Испытания на вибропрочность и виброустойчивость проводят на вибростендах.

Существует два метода испытаний на вибронагрузки.

Метод фиксированных частот. Устанавливается фиксированная частота вибрации на виброустановке и проводятся испытания на одной или нескольких частотах, а также на резонансных частотах f_0 изделия.

Метод качающей частоты. Удобен для выявления резонансных частот изделия, когда частота виброустановки плавно меняется в некотором диапазоне.

В качестве основных испытательных установок используют механические виброустановки (вибростенды) и электродинамические вибростенды.

Принцип действия поясняет рис. 34, где изображен механический вибростенд. Рабочая частота таких вибростендов обычно не превышает 500 Гц.

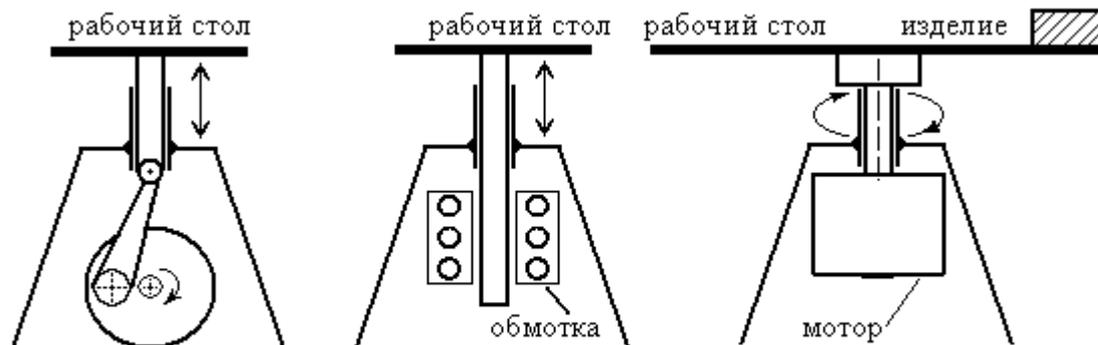


Рис. 34

Рис. 35

Рис. 36

Электродинамические вибростенды (рис. 35) работают в диапазоне до нескольких кГц. По принципу действия он напоминает работу диффузора у громкоговорителя (динамика).

Испытания на воздействие линейных ускорений и ударную прочность.

Для проверки работоспособности изделий при воздействии линейной нагрузки используют центрифуги, которые создают в горизонтальной плоскости радиально направленные ускорения. Испытываемое изделие располагают на столе центрифуги (рис. 36).

Другое испытание – на воздействие ударов. Способность ЭС сохранять работоспособность после воздействия ударов называется *ударной прочностью*, способность сохранять работоспособность в условиях воздействия ударов – *ударной стойкостью*.

Для испытания ЭС на одиночные удары служат ударные стенды копрового типа, а на многократные – стенды кулачкового типа, воспроизводящие удары полусинусоидальной формы. В обеих установках используется принцип свободного падения платформы с испытываемым изделием на амортизирующие прокладки.

Испытания на остальные механические воздействия являются дополнительными, в частности, к ним относятся испытания на воздействия акустических шумов.

Надежная работа ЭС обеспечивается благодаря наличию конструктивных запасов по вибропрочности, виброустойчивости, резонансной частоте и другим характеристикам. Запас ЭС по резонансной частоте оценивают с помощью коэффициента конструктивного запаса:

$$K_3 = \frac{f_{0н}}{f_в}, \quad (4.1)$$

где $f_{0н}$ – наименьшая резонансная частота испытываемого изделия, $f_в$ – верхняя частота рабочего диапазона, заданная в НТД.

4.2.2. Климатические испытания ЭС

Климатические испытания (КИ) ЭС служат для проверки работоспособности изделий в условиях воздействия температуры (t°), влажности (h), атмосферного давления (P) и т.д., которые объединяются термином – климатические факторы (КФ).

В лабораторных условиях создать совокупность многих климатических факторов трудно и дорого, поэтому часто проводят отдельные испытания на воздействие одного или нескольких КФ. ПИ и МИ составляют так, чтобы можно было произвести наиболее тяжелые условия эксплуатации данного изделия.

Большое значение имеет последовательность испытаний. КИ проводятся, как правило, после механических, т.к. появление трещин и зазоров после МИ способствует разрушающему действию КФ.

При отдельном испытании действие КФ зависит от последовательности КИ. Рассмотрим три вида отдельных КИ: на теплостойкость (Т), на влажностойкость (В), на морозостойкость (М). Всего возможно шесть комбинаций (Т-В-М, Т-М-В, В-Т-М, В-М-Т, М-Т-В, М-В-Т). Наиболее тяжелая последовательность Т-В-М, поскольку после воздействия высокой температуры изоляция будет хорошо поглощать влагу на 2-ом этапе, а на 3-ем этапе из-за воздействия мороза влага расширится и разрушит изоляцию.

Рассмотрим устройство и принцип действия установок для КИ.

Камеры холода: наиболее широко используются камеры с косвенным охлаждением, в котором используется поглощение тепла газом (фреоном) при его расширении, т.е. как в большинстве наших компрессионных холодильников.

Камера тепла и влаги: принцип работы основан на прокачивании воздуха через слой воды, а воздух подогревается автоматически ТЭНом. Измерение влажности идет с помощью психрометра.

Барокамера – предназначена для испытаний при пониженном атмосферном давлении. За счет вакуумного насоса в камере создается разрежение, измеряемое вакуумметром.

Установка для КИ на влияние солнечной радиации представляет собой шкаф с источниками ультрафиолетовых и инфракрасных лучей, что позволяет имитировать солнечное излучение.

Существуют также установки для испытаний на водозащищенность, воздействие дождя, песка и пыли (на абразивную стойкость) и т.д.

4.3. Автоматизированные системы контроля и управления качеством

Увеличение объема испытаний и трудоемкости их проведения вследствие расширения функциональных возможностей ЭС приводит к необходимости автоматизации испытательных и контрольно-измерительных операций путем широкого внедрения средств вычислительной техники (ВТ).

Проблема автоматизации испытаний в своем развитии прошла несколько стадий.

1-я стадия – решена задача автоматического управления специализированными испытательными установками: камера тепла и влаги, холода, виброустановками и т.д.

2-я стадия – автоматизирована обработка результатов испытаний, для этого стали использоваться ЭВМ.

3-я стадия – автоматизации подверглись операции измерений электрических параметров изделий.

Появление микроЭВМ и микропроцессоров позволило полностью автоматизировать процесс испытаний и создать многоуровневые системы контроля и управления качеством ЭС как на уровне предприятий, так и отраслей.

Современные автоматизированные системы контроля и управления качеством ЭС базируются на автоматизированной системе испытаний (АСИ).

Под АСИ понимают взаимосвязанный программно-аппаратный комплекс, построенный на базе средств испытательной, измерительной и вычислительной техники, в котором управление техпроцессом испытаний автоматизировано.

Создание АСИ позволяет не только сократить трудоемкость испытаний ЭС, но и повысить точность и достоверность получаемых результатов, сократить сроки испытаний образцов новой техники, повысить оперативность в получении, обработке и использовании информации о качестве и надежности ЭС.

По признаку централизации АСИ можно разделить на централизованные и децентрализованные.

Централизованная АСИ представлена на рис. 37.

Здесь представлены: U_1, U_2, \dots, U_n – рабочие места испытаний, оснащенные специальным оборудованием и средствами контроля и измерений W_1, W_2, \dots, W_n , фиксирующими режимы испытаний Z_j и параметры испытываемых изделий Y_j ; ЦВК – центральный вычислительный комплекс; УВМ – управляющая вычислительная машина.

Управление режимами испытаний и контроля параметров ЭС осуществляется как автономно (оператором или исполнительным органом V_i), так и централизованно, с помощью УВМ и исполнительных устройств V_1, V_2, \dots, V_n .

Эта система имеет ряд недостатков:

– недостаточная гибкость при перестройке на различные режимы и объекты испытаний;

- невозможность организации наращиваемого исполнительного уровня на автоматизированных участках испытаний;
- высокая стоимость УВМ в общем объеме стоимости оборудования и сравнительно низкая надежность системы.

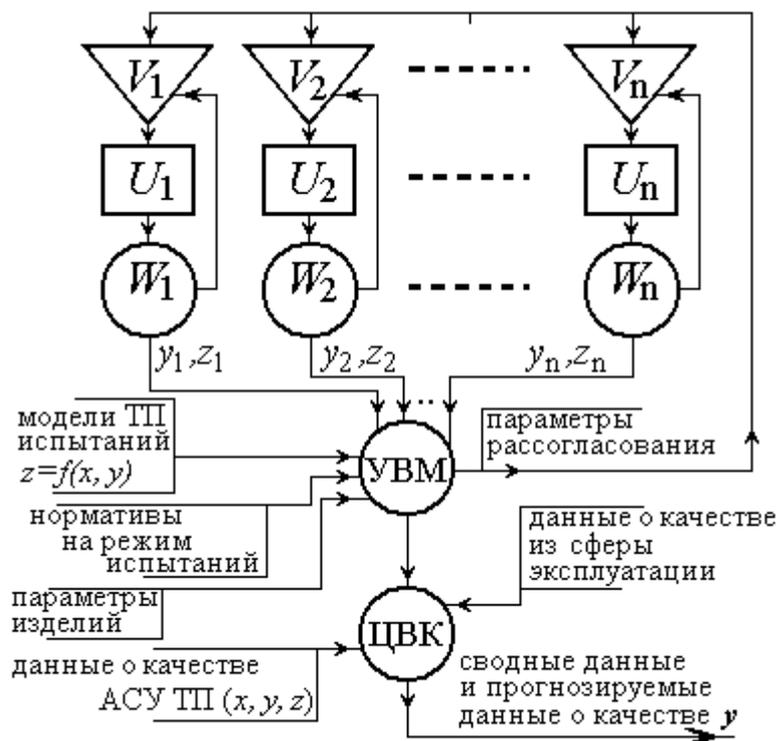


Рис. 37

Поэтому на практике более широкое распространение получили децентрализованные иерархические системы распределенного управления производством и качеством ЭС.

Независимо от принципа построения АСИ можно представить в виде формализованной модели, состоящей из 3-х подсистем, что показано на рис. 38.

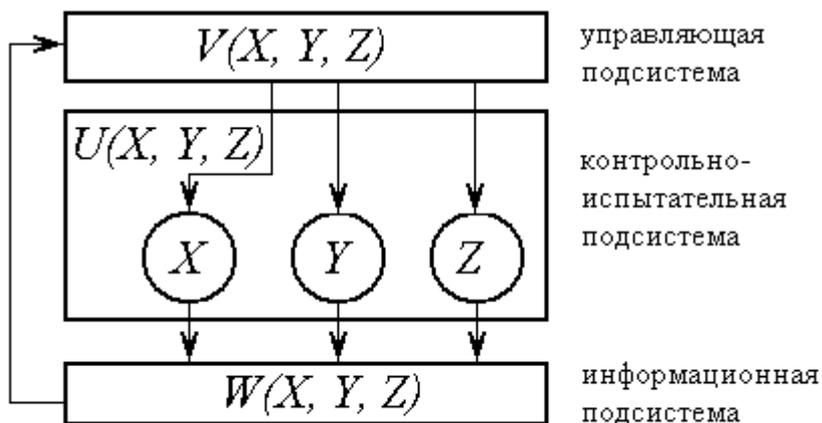


Рис. 38

Подсистема U – основа, содержит вход X , под которым понимают автоматизированные устройства для испытаний.

Под *процессом Y* понимают ТП испытания.

Выход Z – процесс измерения контролируемых параметров качества.

Подсистема *U* использует все необходимые устройства *X* для выполнения производственного процесса *Y* и осуществляет измерение параметров *Z* испытываемых ЭС, по результатам которого принимает решение об аттестации готовой продукции.

Подсистема *V* обеспечивает функционирование входа *X*, самого процесса *Y* и выхода *Z*.

Подсистема *W* производит извлечение, хранение, обработку, анализ информации о *X*, *Y*, *Z* и подготавливает проект решения для подсистемы *V*.

На основе АСИ строятся более сложные системы, в качестве такой системы можно указать автоматизированную систему управления качеством (АСУК) продукции.



Рис. 39

Под АСУК понимается комплекс, выполняющий информационную функцию – обеспечение объективными и достоверными данными о состоянии изделий, т.е. о качестве ЭС. С помощью АСУК осуществляется системный подход к обеспечению и оценке качества ЭС, начиная с момента составления ТЗ и кончая рассмотрением претензий заказчика. Структура и состав АСУК представлены на рис. 39.

На нем обозначено: САПР – система автоматизированного проектирования; АСУТП – автоматизированная система управления техпроцессом; ИВЦП – информационный вычислительный центр предприятия; ИВЦО – информационный вычислительный центр отрасли.

Как видно из рис. 39, АСУК представлена в виде тех же подсистем, что и АСИ. В ней подсистема $U(X, Y, Z)$ называется подсистемой обеспечения качества

и включает в себя АСИ, а также САПР и АСУТП. Очевидно, эта АСУК полностью ложится в формализованную модель.

Возможности современной вычислительной техники позволяют охватить автоматизацией и объединить более высокие иерархические уровни организации службы испытаний – испытательный центр и испытательную станцию.

Испытательная станция (ИС) – предназначена для испытания изделий и материалов ЭС в естественных условиях, поэтому ИС позволяет получить объективные данные о качестве и надежности изделий в реальных условиях эксплуатации.

ИС располагаются вблизи представительных пунктов климатических зон. Например, США имеют около 70 ИС в различных зонах всех континентов, Англия 20 в Африке, Азии, Европе, Америке, Канаде, Гренландии и т.д.

Центр испытаний (ЦИ) – отличается от ИС тем, что внешние воздействующие факторы воспроизводятся в лабораторных условиях. Структура ЦИ представлена на рис. 40.

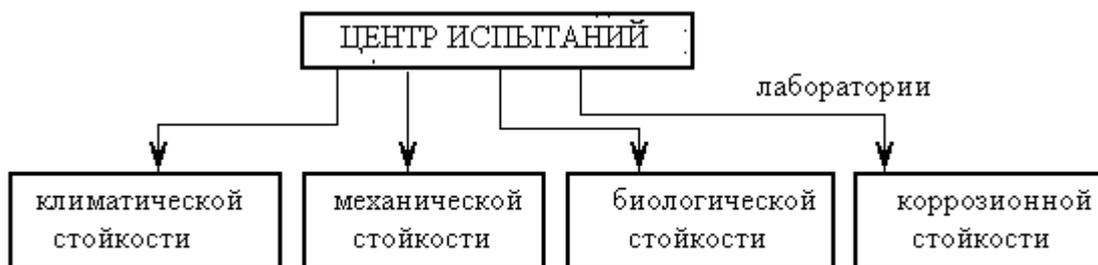


Рис. 40

4.4. Вопросы для самопроверки

1. Какие существуют виды испытаний на надежность?
2. Какие цели преследуют испытания на надежность?
3. Какие основные группы испытаний существуют? В чем их особенность?
4. К какой группе относятся полигонные испытания?
5. Каковы особенности натуральных испытаний?
6. В чем преимущества и недостатки испытания с помощью моделей?
7. Какие пункты содержит программа испытаний?
8. Какие параметры характеризуют изделие на устойчивость к воздействию вибрационных нагрузок? Чем они отличаются?
9. На каких частотах следует проводить испытания на устойчивость к воздействию вибрационных нагрузок?
10. Для чего применяется метод качающейся частоты?
11. Чем ударная прочность отличается от ударной стойкости?
12. Что такое коэффициент конструктивного запаса по резонансной частоте?
13. Какая комбинация воздействий на тепло-, морозо-, влагостойкость является самой показательной? Почему?

14. В чем разница между централизованными и децентрализованными автоматизированными системами испытаний?

15. Что входит в автоматизированную систему управления качеством продукции?

16. Почему система управления качеством продукции называется автоматизированной, а не автоматической?

17. Чем центр испытаний отличается от испытательной станции?

5. ФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ И ПАРАМЕТРИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА

5.1. Основные сведения о контроле качества

Контроль качества электронных систем необходим как на этапе проектирования (обнаружение и идентификация ошибок в схеме), так и при эксплуатации (проверка работы у потребителя). Поэтому вопросы контроля качества часто именуют *эксплуатационной надёжностью*.

У современных больших и сверхбольших интегральных схем (БИС и СБИС) затраты на контроль сопоставимы с затратами на разработку и изготовление. Затраты на контроль C у БИС растут пропорционально квадрату числа вентилях БИС ($C \sim N^2$, где N – число вентилях). Если N с начала 70-х до 90-х годов возросли на 3 порядка, то затраты на контроль возросли на 6 порядков.

Контроль состоит из двух независимых элементов:

- генерация тестовых воздействий;
- подача воздействий на схему, наблюдение реакции, её сравнение с требуемым значением и вывод о результате контрольный.

Различают 3 вида тестовых воздействий:

- *статистические* (контроль на постоянном токе (напряжении));
- *динамические* (контроль на переменном токе);
- *логические* (для контроля схемы на функционирование).

Первые две группы сигналов используются при контроле аналоговых схем (здесь не изучается), и третий вид при контроле дискретных (логических) устройств, т.е. цифровых устройств (ЦИС).

Полный контроль ЦИС затруднен, так как на вход ЦИС, имеющей N входных контактов, надо подавать 2^N воздействий, что возможно только при ограниченном числе элементов.

С ростом сложности ЦИС затраты на тестирование растут по экспоненте. Так, для БИС процессора *Intel 8080* полный тест составляет 10^{32} тестовых наборов, что при тактовой частоте $f = 5$ МГц требует на тестирование 10^{18} лет. Поэтому для ЦИС ставится задача тестировать не структуру (правильность её работы), а правильность выполнения функции. В такой постановке встаёт задача разработки контролепригодных схем. В этом случае в структуру ЦИС вводят схемы встроенного контроля (СВК), для чего используют точки промежуточного съёма информации для полноты контроля схемы.

Функциональная диагностика отличается от классической тестовой диагностики и составляет основу контроля сложных цифровых устройств.

5.2. Причины и модели неисправностей

Неисправностью называется любое недопустимое отклонение хотя бы одного свойства схемы от требуемого уровня. Мы ограничимся рассмотрением неисправностей обусловленных процессом разработки и изготовления схемы.

Поскольку речь идет о контроле логических функций ИС, то достаточно рассмотреть только такие неисправности, которые приводят к отклонениям логических сигналов.

Переход от физических причин появления неисправностей к абстрактным логическим соотношениям осуществляется с помощью моделей неисправностей.

Модель неисправности – описание влияния дефекта или неисправности (которые могут служить причиной появления ошибки на выходе) на функционирование схемы. Главное назначение модели неисправностей – обеспечить составление высокоэффективных тестов для сложных устройств. К моделям неисправностей предъявляются два противоречивых требования: корректность (возможность моделирования реальных неисправностей) и удобство манипулирования (обеспечение возможности работы с моделями очень сложных систем).

При известной структуре схемы (описание схемы на уровне функциональных элементов) применяются структурно- или схемоориентированные модели неисправностей, в литературе они представлены в виде моделей на транзисторном уровне и на уровне вентилях.

При неизвестной схеме или очень сложных схемах используются функционально-ориентированные или функциональные модели неисправностей, которые описывают влияние неисправностей, на функционирование схемы независимо от их реализации.

5.2.1. Модели неисправностей на транзисторном уровне

Неисправности и дефекты современных ИС абстрактно представляют как короткие замыкания и обрывы, ухудшающие параметры приборов. Данные модели являются достаточно точными, однако, чем сложнее БИС, тем больше дефектов в модели. Тем не менее, разработка моделей неисправностей на этом уровне необходима для разработки моделей неисправностей для более высоких уровней.

Большинство моделей неисправностей разработано для МОП-схем, ибо они составляет основу БИС и СБИС.

Известные модели неисправностей на транзисторном уровне охватывают одну или более неисправностей либо нарушений следующих типов:

- 1) короткие замыкания и обрывы транзисторов и межсоединений;
- 2) изменение длительности задержек;
- 3) паразитная связь или взаимные помехи между узлами схемы;
- 4) постепенное ухудшение параметров элементов.

В большинстве моделей неисправностей учитывается 1-й тип неисправностей, а в более точных моделях 1-й и 2-й. Неисправности типа 3 характерны для ИС запоминающих устройств, 4-й тип неисправностей применяется обычно для аналоговых схем (изменение сопротивления резистора и т.д.) и для цифровых ИС не используется.

Наибольшее число моделей разработано для учета неисправностей 1-го типа. Самой точной следует считать модель, построенную на основе

многозначной логики [17]. Модель предусматривает 5 типов логических уровней и 5 логических состояний (типов) узлов, которые связаны с «мощностями» логических сигналов. МОП-схема рассматривается как множество узлов, которые соединены при помощи приборов с тремя выводами, описывающими транзисторы. Состояние того или иного узла схемы описывается парой (a, b) , где « a » означает состояние (тип), « b » – логический уровень данного узла.

Логические уровни имеет 5 диапазонов напряжений:

0 – устойчивый ноль;

0* – неустойчивый ноль;

I – неопределенное значение (область вблизи порогового значения логического сигнала);

1* – неустойчивая единица;

1 – устойчивая единица.

Узлы имеют 5 типов состояний:

I – входной узел;

C – узел заряда;

S – мощный задающий узел;

W – маломощный задающий узел;

P – неисправный узел.

5.2.2. Модели неисправностей на уровне вентиляей

Являются наиболее популярными: они удобны в разработке и использовании, позволяют использовать мощный аппарат булевой алгебры для генерации тестов для сложных схем. Кроме того, с помощью этих моделей можно представлять дефекты многих технологий, если эти дефекты удастся отобразить на неисправности логических вентиляей.

Самая распространенная модель – это модель константных неисправностей. В ней предполагается, что физические дефекты и неисправности будут приводить к появлению на линиях логических вентиляей схемы постоянных (константных) логических «0» или «1». Как показывают исследования [10, 19], эта модель с успехом может использоваться и для анализа многих неисправностей неконстантного типа, если использовать при анализе тесты для константных неисправностей.

Суть модели сводится к тому, что задаются константные (постоянные) логические «0» и «1» для входов и выходов логических вентиляей, после чего моделируются физические дефекты на транзисторном и схемном уровне (обрывы резисторов, обрывы в цепях эмиттера, коллектора, базы, короткие замыкания в транзисторах между различными областями). С помощью программы схемного имитатора перебираются все дефекты с анализом их влияния на выходные сигналы схемы. На основании анализа определяется наиболее подходящий генерирующий тест, покрывающая способность которого определяется количеством неисправностей, которые можно обнаружить с его помощью, а также вероятностью возникновения этих неисправностей.

Пример. Рассмотрим влияние возможных схемотехнических неисправностей инвертора, выполненного по N-МОП технологии, на выполняемую им логическую функцию. На рис. 41 представлена модель инвертора на транзисторном уровне, на рис. 42 – тот же инвертор на уровне вентиля.

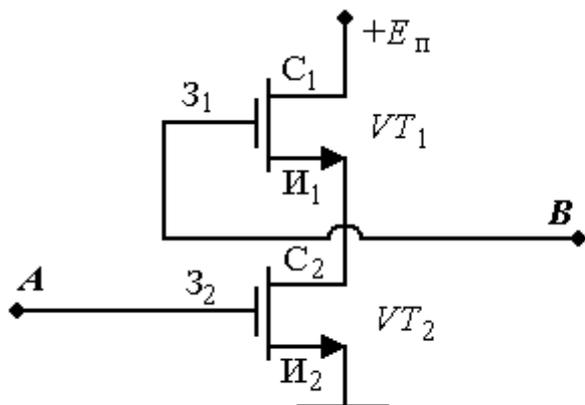


Рис. 41

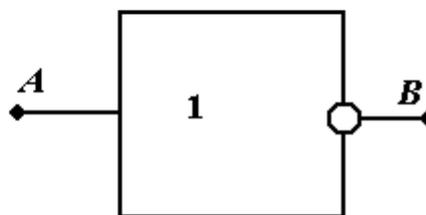


Рис. 42

Данные о возможных неисправностях сведены в таблицу 4.

Таблица 4

	исправное состояние		неисправные состояния U_B									
	0	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0
U_A	0	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0
U_B	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0
			Обр. C_1	Обр. I_1	К.З. $3_1 I_1$	К.З. $C_1 I_1$	Обр. I_2	Обр. C_2	Обр. 3_2	К.З. $I_2 3_2$	К.З. $3_1 C_1$	К.З. $I_2 C_2$

Здесь обозначено: U_A – уровень напряжения на входе схемы; U_B – уровень напряжения на выходе схемы; Обр. – обрыв соответствующего проводника согласно рис. 41; К.З. – короткое замыкание между соответствующими контактами.

Естественно, что приведены не все неисправности, но дальнейшая детализация не имеет смысла, потому что для логики функционирование схемы неважно, чем вызван обрыв или короткое замыкание.

Из анализа таблицы следует, что все дефекты внутри схемы приводят к 0 или 1 на её выходе. В случае 1, 2, 10 независимо от входа A на выходе B – логический 0, поэтому обозначается 0, а в случаях 4÷9 – постоянно 1 (обозначается за 1). Случай 3 (короткое замыкание между 3_1 и I_1 при входном сигнале 1) соответствует нормальному состоянию, потому не определяется как неисправность.

В общем случае задача не так проста. Так, учет большего числа неисправностей (k) при n проводниках увеличивает число комбинаций до $n^k - 1$. Поэтому на практике ограничивается единичными неисправностями, т. е. если элемент неисправен (постоянное состояние 0 или 1), то другие считаются исправными и число единичных неисправностей равно $2k$. Например, если $k=10$, то для трех проводников имеем $3^{10} - 1 \approx 59000$ комбинаций, а при

единичных неисправностях $2 \times 10 = 20$. Предположение о единичных неисправностях весьма хорошо соблюдается на практике.

Данные модели образуют основу для генерации тестовых воздействий, причем модели реализуются в виде программ на ЭВМ.

5.2.3. Модели неисправностей на функциональном уровне

Наиболее точно представляют механизмы неисправностей модели транзисторного уровня, но они более сложны, чем модели вентиляльного уровня, ибо количество первичных элементов (транзисторов и межсоединений), подверженных дефектам, очень велико. Поскольку любая БИС или СБИС содержит большое число функциональных модулей, каждый из которых реализуется с применением именно первичных элементов, то для оценок надежности достаточно просто знать, исправен или нет данный модуль. Вот почему во многих случаях весьма полезна модель неисправностей на функциональном уровне, причем, она позволяет упростить модель устройства в целом, т.к. число модулей меньше числа транзисторов. Однако, здесь есть ряд сложностей: во-первых, нельзя допускать потери информации, чтобы неисправности на транзисторном уровне не оказались упущенными в функциональной модели; во-вторых, различным реализациям одной и той же логической функции могут быть свойственны разные неисправности на транзисторном уровне, что в свою очередь, может привести к различному поведению на функциональном уровне.

Существует несколько вариантов представления моделей неисправностей на функциональном уровне.

Общие модели неисправностей функциональных блоков предполагают, что для блока с N входами необходимо задавать 2^N комбинаций для его тестирования. Очевидно, если N велико, то такое исчерпывающее тестирование невозможно. Тем не менее, эта задача решается, если регулярная структура функционального блока содержит функциональные субблоки с относительно небольшим количеством входов каждый. Например, если многоразрядный сумматор реализуется как набор одnorазрядных сумматоров, включенных последовательно (сумматор со сквозным переносом) и имеющих по три входа каждый, то его можно проверить при помощи восьми комбинаций входных сигналов, поскольку для проверки одnorазрядного сумматора требуется $2^3 = 8$ комбинаций.

Однако, полный перебор используется на практике, если используется *декомпозиция* схемы, т.е. разбиение на части. При разбиении схемы на r частей, число входов схемы определится:

$$n = \sum_{i=1}^r n_i, \quad (5.1)$$

где n_i – число входов i -й части схемы.

Тогда число входов и, соответственно, число комбинаций уменьшается:

$$2^n > \sum_{i=1}^r 2^{n_i} . \quad (5.2)$$

Тестирование называется *синдромным*, структурная схема его приведена на рис. 43:



Рис. 43

При анализе реакции на воздействие выявляется синдром – несовпадение полученной реакции с эталонной, что говорит о наличии дефектов определённого вида. При анализе из n входов активируется лишь часть (m), а затем активируется оставшаяся ($n-m$). Для декомпозиции схемы вводят дополнительные вентили и выводы.

Кроме общих моделей, разрабатываются модели для малых функциональных модулей (дешифраторов, запоминающих устройств, программируемых логических матриц, микропроцессоров), входящих в состав более сложных вычислительных систем и влияющих на их работу [10].

Рассмотрим модели неисправностей микропроцессоров (МП), которые строятся на уровне регистровых передач и архитектуры. Считаем, что команды МП состоят из микрокоманд, которые в свою очередь реализуются как набор микроопераций. В случае неисправности происходят следующие события:

- 1) одна или более микроопераций не активируются, поэтому команда полностью не выполняется;
- 2) активируются микрооперации, которые в нормальном состоянии не должны активироваться;
- 3) в дополнение к нужному набору микрокоманд или вместо него активируется еще одна их совокупность.

5.3. Тестовое диагностирование устройств. Методы генерации тестов

Тест – это бинарные входные воздействия для контролируемых схем. Тест позволяет проверить пригодность схемы к работе. Неисправности в работе схемы проявляются в виде неправильных значений выходных сигналов.

Тестопригодность схемы оценивается по следующим показателям:

- минимальное время генерации воздействий;
- минимальное число тестов (время контроля);
- простота аппаратурной реализации.

Термин «тестопригодность» является более узким, чем «контролепригодность», поскольку в последнем случае отказ не только не определяется, но и локализуется, т.е. находится его местоположение.

Рассмотрим структурное тестирование цифровых схем при наличии моделей неисправности.

5.3.1. Построение тестов методом активации одномерного пути

Предполагается, что известна структура устройства. Схема для рассматриваемого примера приведена на рис. 44.

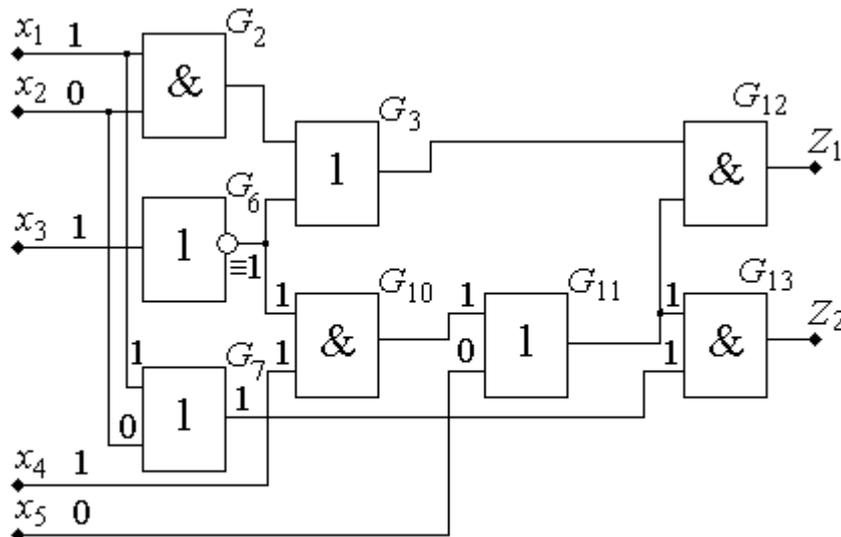


Рис. 44

От предполагаемого места неисправности осуществляется распространение этой неисправности до одного из выходов (фаза продвижения вперед).

Затем идет возвращение с выхода на вход и восстановление тех сигналов, которые обеспечивают распространение этой неисправности (фаза продвижения назад). В результате получается *вектор проверки* предполагаемой неисправности.

Для примера на рисунке входной вектор $X = (10110)$ позволяет обнаружить неисправность *sal* (постоянную логическую единицу) на выходе G_2 . Действительно, если на выходе $G_2 \equiv 1$, то при заданном X получим на Z_2 «1», хотя в исходном состоянии должно быть «0».

5.3.2. Функциональное тестирование

Предполагает наличие функции схемы, а не её структурной схемы.

Общая схема функционального тестирования (ФТ) приведена на рис. 45.



Рис. 45

Здесь: ГТД – генератор тестовых данных; СОТ – схема оценки теста; L_T – тестовая последовательность; $Z_{эТ}$ и Z_T – эталонная и проверяемая последовательности.

Генерация L_T может осуществляться тремя способами: вручную, алгоритмически или псевдослучайно. В любом случае затраты на синтез теста оцениваются по формуле:

$$N = kn^\alpha, \quad (5.3)$$

где n – число вентилей схемы; α – постоянная, зависящая от выбранного метода ($1.5 \leq \alpha \leq 2.5$); k – коэффициент, зависящий от структуры.

Вручную разработка идёт с привлечением специалистов по контролю эвристическим путём, так используется либо для простых схем, либо для сложных последовательных систем (при точном контроле).

Недостаток метода – большие трудозатраты, а при больших n он вообще не применим.

Алгоритмический способ – ориентирован на комбинационные схемы с константными неисправностями (последние характерны для применяемых технологий на практике). Для последовательных схем (типа регистров) метод очень неэффективен, выявляет лишь небольшую часть неисправностей. Кроме того, согласно (5.3), при больших размерностях затраты на генерацию также возрастают по экспоненте. Для нахождения воздействия используется, как правило, системы автоматической генерации тестовых воздействий, алгоритм функционирования которой представлен на рис. 46:

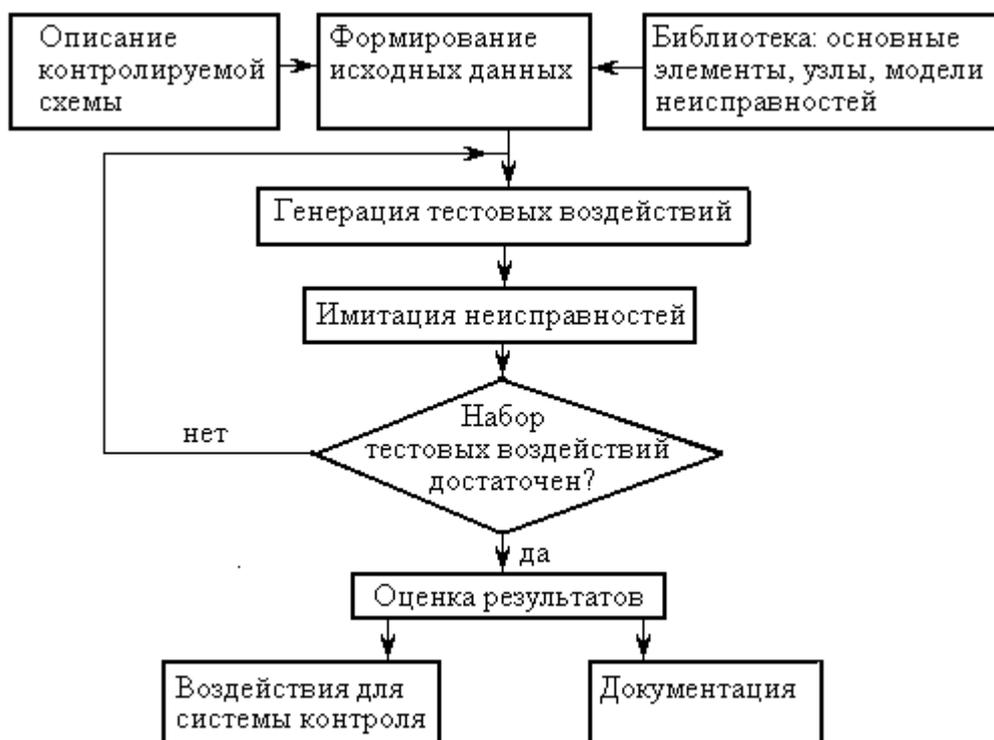


Рис. 46

Опишем кратко основные блоки схемы и особенности её функционирования.

Описание контролируемой схемы: возможно в различных формах – функционально в виде уравнений и таблиц либо с помощью логической диаграммы для установления топологии.

Анализ схемы идет с помощью *метода имитационного моделирования*. Для этого генерируются тестовые воздействия, качество которых оценивается за счёт имитации неисправностей. Имитируя неисправности схемы, можно определить реакцию каждой неисправности на тестовое воздействие и сравнить с правильным «ответом», т.е. реакцией исправной схемы. Если набор тестовых воздействий не покрывает поле неисправностей, т.е. не выявляет какую-либо неисправность, то необходимо генерировать дополнительные воздействия. Этот цикл повторяется многократно, в результате определяется набор оптимальных воздействий. Недостаток метода, как указывалось ранее, большой объем вычислений.

В заключении оцениваются результаты моделирования, составляют необходимую документацию, в которой приводится, в частности, список обнаруживаемых и не обнаруживаемых неисправностей, и приводятся найденные тестовые воздействия.

Качество тестовых воздействий оценивается по формуле

$$P_{об} = \frac{n_{вьявл}}{n_{модел}}, \quad (5.4)$$

где $P_{об}$ – вероятность обнаружения неисправностей, $n_{вьявл}$ и $n_{модел}$ – число выявляемых и моделируемых неисправностей.

Альтернативой этим методам являются *псевдослучайные* тестовые воздействия, генерируемые с помощью линейного регистра сдвига, охваченного обратной связью (генератор псевдослучайных последовательностей, ПСП).

Схема представлена на рис. 47, где представлен линейный регистр сдвига с D -триггерами.

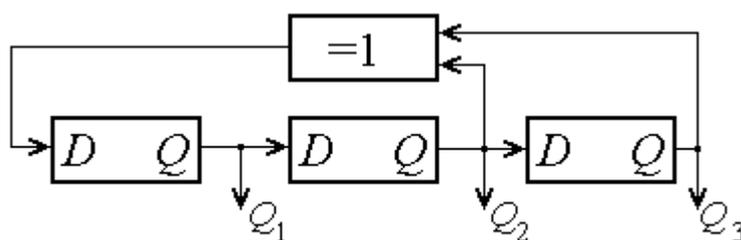


Рис. 47

Здесь обозначено: элемент, обозначенный символом «=1» – элемент «исключающее или», выполняющий операцию сложения по модулю 2, описываемую выражением $(X \cdot \bar{Y}) + (\bar{X} \cdot Y)$, где X и Y – входы элемента;

элемент, обозначенный символом «DQ» – D-триггер, задерживающий входной сигнал на один такт. Тактируемые импульсы на схеме не представлены.

Один период работы ПСП приведен в таблице 5.

Таблица 5

Q_1	1	0	1	0	0	1	0
Q_2	1	1	0	0	1	0	1
Q_3	1	1	0	1	0	1	1

Схема генерирует все логические комбинации, исключая 00...0. Если число D-триггеров m , то максимальная длительность периода определится:

$$L = 2^m - 1 . \quad (5.5)$$

Действительно, при $m = 3$ длительность периода равна: $L = 2^3 - 1 = 7$.

У других типов ПСП-генераторов перебор максимально возможного числа комбинаций достигается выбором обратной связи. Благодаря правильному выбору ОС можно за один период получить все возможные воздействия (кроме комбинации 00...0). Для комбинационных схем псевдослучайная последовательность даёт тот же результат, что и полный контроль. С применением этого метода можно тестировать как сложные комбинационные, так и последовательные схемы. В этом случае обычно генерируется значительно больше воздействий, чем необходимо для выявления неисправностей. Практика показывает, что для обнаружения неисправностей одного класса зачастую необходимо просмотреть только часть периода, т.е. использовать не все сигналы.

Для последних двух методов получения тестов (ручного и псевдослучайного) необходимо дать оценку качества контроля, что делается путём имитации неисправностей в имитационной модели, контролируемой схемы. В результате имитации определяется число выявляемых и невыявляемых неисправностей, на основании которых определяется вероятность обнаружения неисправности, что и характеризует качество тестовых воздействий, согласно формуле (5.4).

Затраты на имитацию значительно меньше, чем в случае расчета тестовых воздействий по схеме автоматической генерации тестов. Число тестов определяется также на основе выражения (5.3). Следует сказать, что при использовании алгоритмических методов проверки качества контроля не требуется, ибо эта проверка встроена в сам метод.

Наряду с вышеуказанными общими методами генерации тестов есть тесты для специальных схем, например, для программируемой логики и запоминающих устройств. Регулярность структуры этих схем позволяет разработать другие, более эффективные методы контроля с использованием соответствующих алгоритмов, что описано в литературе [9, 10, 18].

5.4 Контролепригодное проектирование

5.4.1. Общие сведения о контролепригодном проектировании

Понятие «контролепригодное проектирование (КП) ЭС» охватывает все мероприятия и условия для проектирования (реализации) схемы, обеспечивающие сокращение затрат на контроль её работы.

КП ЭС можно формулировать на разных уровнях:

- на уровне структуры схемы;
- на логическом и системном уровнях.

КП на уровне структуры схемы. Обеспечивается путём исключения соответствующих неисправностей, что обеспечивает генерацию тестов. Пример: на рисунках 48 и 49 представлены два вида реализации N -МОП-элемента. Он должен характеризоваться $2 \cdot (4+1) = 10$ неисправностями типа $sa0$ и $sa1$ (постоянный уровень «0» или «1» на выходе).

Обрыв в точке F в структуре на рис. 48 нельзя представить в виде неисправности типа $sa1$ или $sa0$, а для структуры на рис. 49 все обрывы описываются этими неисправностями. Следовательно, структура на рис. 49 более контролепригодна.

Решается КП на уровне структуры схемы с применением САПР.

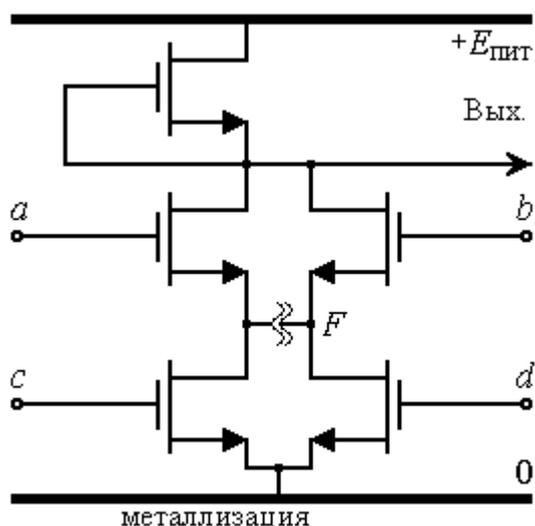


Рис. 48

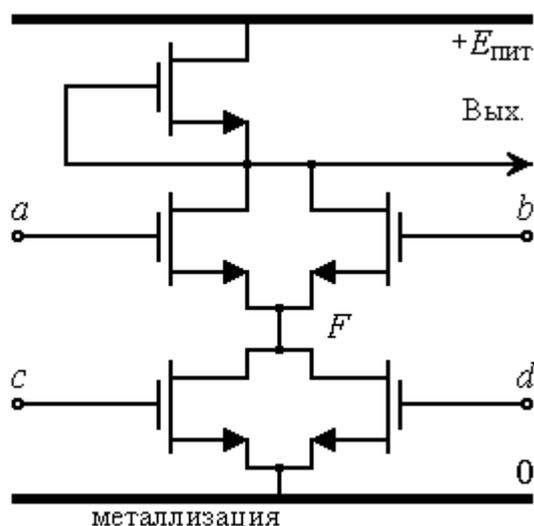


Рис. 49

КП на логическом и системном уровнях вследствие условий обеспечения обнаружения неисправностей обеспечивается двумя свойствами: управляемостью и наблюдаемостью.

Управляемость – возможность извне установить внутреннюю точку схемы в определённое логическое состояние, она характеризуется относительной сложностью транспортировки стимулирующих тестовых воздействий со входных контактов к месту предполагаемой неисправности (внутренней точки).

Наблюдаемость – способность извне определять состояние внутренней точки схемы, она характеризуется относительной сложностью транспортировки

результатов проявления неисправности к месту наблюдения (выходным контактам).

Исходя из этих определений, выделяют два вида мер обеспечения КП:

– *пассивные* меры обеспечения КП, обеспечивающие снижение сложности транспортировки воздействия к точке неисправности;

– *активные* меры обеспечения КП, представляют собой мероприятия по генерации тестовых воздействий и оценке данных контроля.

5.4.2. Пассивные меры обеспечения КП

Для уменьшения числа тестовых воздействий сложную структуру разделяют (расчленяют) на несколько малых элементов, что существенно уменьшает контроль согласно (5.2).

Это основной принцип обеспечения КП. Наиболее просто он реализуется при шинной архитектуре схемы, ибо в этом случае очень просто осуществить доступ к контролируемым частям схемы с помощью шины.

Второй вариант обеспечения КП связан с выбором контрольных точек, которые (при наличие дополнительных органов) улучшают как управляемость, так и наблюдаемость.

Пример такой декомпозиции приведён на рис. 50.

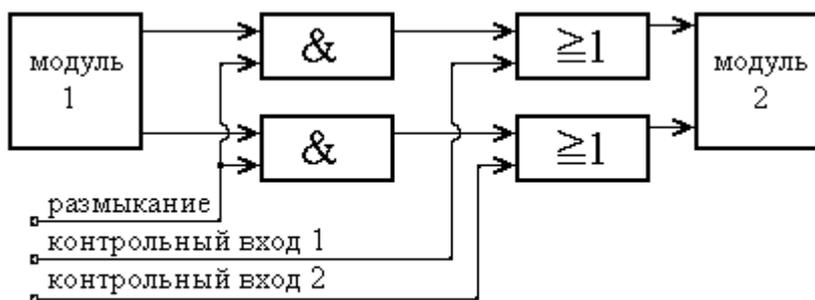


Рис. 50

Здесь: элемент, обозначенный & – элемент «2И», осуществляющий операцию логического умножения.

При подаче на вход «размыкание» сигнала «0» идёт размыкание связи между модулями и возможен контроль модуля № 2 через контрольные входы.

Такой способ имеет и недостатки, т.к. наличие контрольной логики ограничивает скорость обработки данных, кроме того, дополнительные управляемые входы должны иметь контрольный выход (или дополнительные выводы у ИС), а из-за ограничений на число выводов (органов управления) ИС это трудно реализовать.

Задача функциональной диагностики решается на этапе структурного проектирования БИС. Один из первых методов, позволяющий использовать самотестирования БИС, является *метод сквозного сдвигового регистра с последовательным сканированием состояний* – *LSSD (level-sensitive scan design)*. Этот метод может быть реализован на уровне кристалла, платы и системы в целом. Все ячейки памяти (кроме ОЗУ) заменяются 2-х рядным СР

(сдвиговым регистром) на стробируемых триггерах-фиксаторах типа D – элементарных сдвиговых элементах памяти (ЭСЭП).

Структурная схема ЭСЭП приведена на рис. 51.

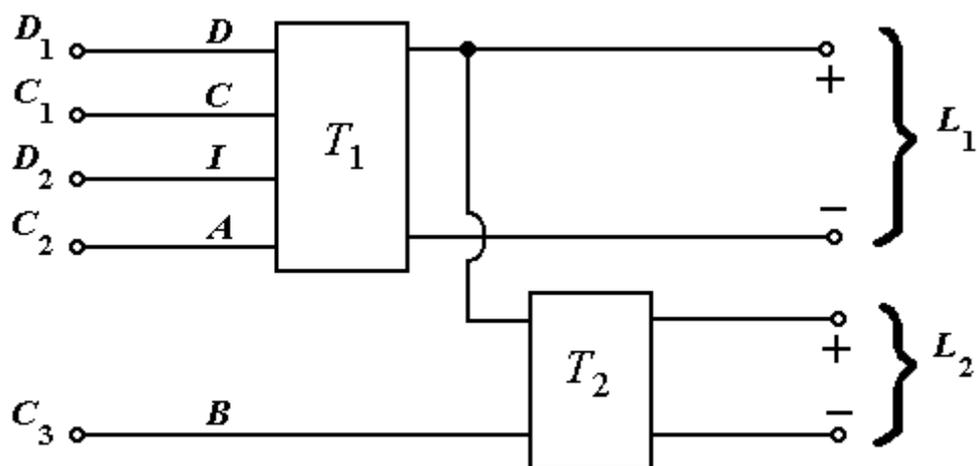


Рис. 51

Здесь обозначено:

D_1 – вход подачи информации из основной (тестируемой) системы;

C_1 – вход синхронизации (тактового и импульсного сдвига информации);

D_2 – вход подачи тестинформации (сканирующий вход);

C_2 и C_3 – входы подачи импульсов синхронизации;

T_1 – элемент двойного назначения (элемент и памяти и элемент проверочной системы), содержимое T_1 может быть перенесено сигналом C_3 (B) в триггер T_2 ;

T_2 – элемент проверки.

Триггер T_1 по сигналу системной синхронизации C_1 может либо фиксировать информацию, либо вводить тест (по входу I) при наличии сигнала переписи A .

На основе такого ЭСЭП можно построить сдвиговой регистр большой длины, для чего выход T_2 первого ЭСЭП соединяют с входом I T_1 следующей ЭСЭП и т.д. Наличие СР позволяет устанавливать и считывать состояние любого триггера путём простого сдвига информации. После установки схемы в исходное состояние подаётся тест, результатом является изменение состояний блоков внутри БИС. Выходные сигналы заносятся в ЭСЭП и идут на выход последовательной информации, где сравниваются с ожидаемыми состояниями (эталоны).

Метод $LSSD$ обнаруживает до 98% одиночных дефектов при дополнительных затратах до 20% от стоимости исходной БИС, поэтому для повышения эффективности избыточность используют для выполнения других функций (построение СР, счётчиков и т.д.). Наиболее удобен $LSSD$ для МОП-схем, когда D -триггер собран на одном транзисторе. Метод $LSSD$ – последовательный, поэтому требует больших временных затрат.

На практике этот метод имеет много модификаций.

Если все элементы выполнены вышеописанным способом, то реализация КП для ЗУ примет вид, представленный на рис. 52, она называется схемой *SP* (от выражения *Scan path* – сканирование пути).

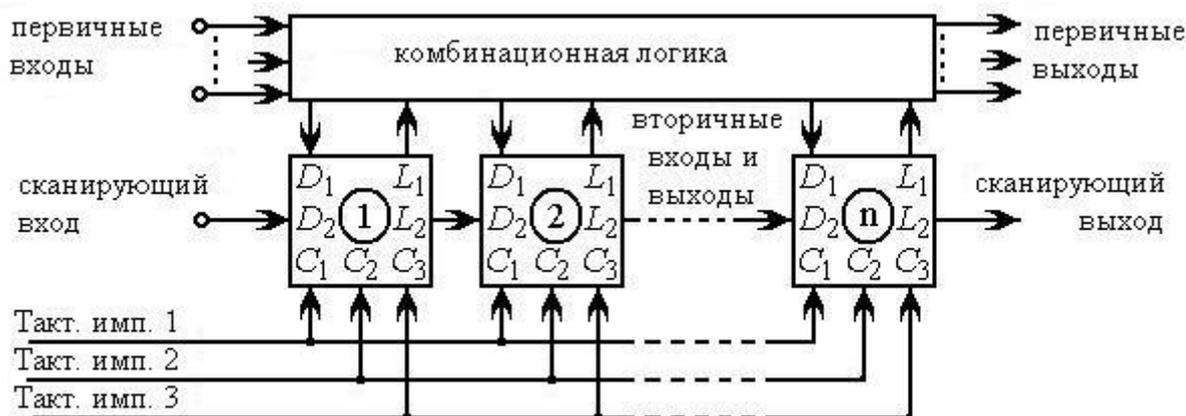


Рис. 52

Идея метода заключается в том, чтобы изолировать на логическом уровне отдельные части схемы и преобразовать последовательную схему в комбинационную. При этом требуется только 4 дополнительных органа управления для контрольных сдвигающих импульсов C_2 , C_3 , а также для установления начала и конца работы контрольной шины.

В нормальном состоянии схема работает в три шага:

1. На внешние (первичные) входы поступают наборы.
2. Ответы получаются на внешних (первичных) выходах.
3. При подаче на вход тактового импульса «ТИ₁» считываются ответы на n вторичных выходах, где n – число элементов ЗУ.

Контроль (тестирование) схемы идёт по следующим шагам:

1. Вектор тестовых воздействий вторичных входов длиной n за счёт n тактовых импульсов 2 и 3 через сканирующий вход поступает в n ячеек ЗУ.
2. На внешние входные системы подаются тестовые наборы.
3. Реакция (ответы) опрашиваются на внешних выводах.
4. Реакция (ответы) схемы на воздействие с n вторичных выходов передаются с помощью единичных срабатываний тактового импульса 1 в n ячеек ЗУ.
5. Реакция (ответ) схемы на воздействие выводится с помощью сдвигающих импульсов 2 и 3 из ЗУ.

Для реализации метода требуются модифицированные триггерные элементы, что представлено на рис. 53.

Элемент памяти представлен в виде «несоревнующегося D -триггера со сканированием пути». Триггер состоит из двух бистабильных ячеек (фиксаторов) T_1 и T_2 .

На практике метод *SP* используется в сочетании с процедурой разбиения схемы на подсхемы, что значительно упрощает их проверку.

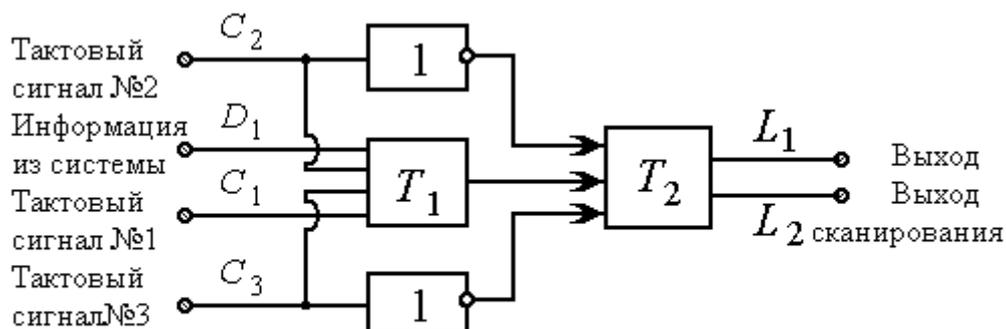


Рис. 53

Метод *SP* обладает теми же недостатками, что и *LSSD*. В частности, проверка носит последовательный характер и поэтому требует больших затрат времени.

Другими разновидностями *LSSD* являются: метод сканирования/ установки (*Scan/Set*). Этот метод предполагает наличие сдвигового регистра (СР), но последний не включается в состав основных устройств и независим от всех элементов памяти.

Пример логики *Scan/Set* приведён на рис. 54.



Рис. 54

Суть метода: вывод исследуемых точек проверяемой схемы в СР с дальнейшим «проталкиванием» на выход с последующим анализом.

Возможна и обратная операция: загрузка СР, после чего происходит параллельная загрузка в систему.

Главный недостаток всех выше рассмотренных методов – необходимость внешних генераторов тестов, что требует больших аппаратных затрат.

5.4.3. Активные методы обеспечения контролепригодности

Пассивные меры КПАЭС требуют многочисленных внешних воздействий для контроля. Многие недостатки можно исключить, если разместить на самой пластине все средства контроля.

Общая схема имеет вид, представленный на рис. 55.

Система описывается следующими соотношениями:

$$\begin{cases} S = AX + BS; \\ Z = CX + DS, \end{cases} \quad (5.6)$$

где X – входной вектор; Z – выходной вектор; S – вектор состояний; A, B, C, D – матрицы.

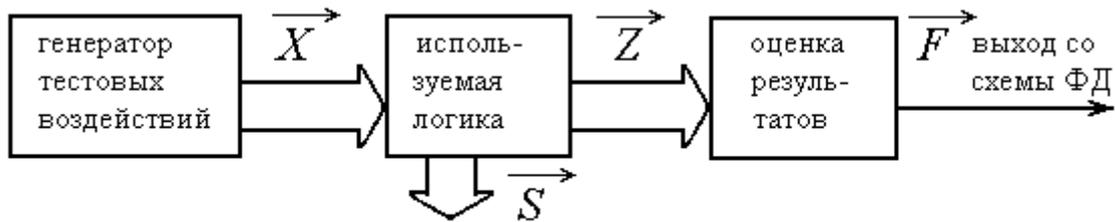


Рис. 55

Проектирование, ориентированное на тестируемость, в литературе называется T -проектированием.

Самотестируемой называется схема, которая в специальном режиме способна самостоятельно проводить функциональный тест. Для этого она имеет встроенные средства контроля (ВСК). В зависимости от того, где расположены ВСК, они имеют разные наименования:

СВК – схема встроенного контроля (для средств вычислительной техники);

БСК – бортовые средства контроля (для подвижных объектов);

СОК – средства оперативного контроля (для технологических объектов).

Самотестирование ориентировано в основном на пользователя (а не изготовителя, в отличие от пассивных методов КП), при этом установка программ самотестирования производится алгоритмически, без дополнительных аппаратурных затрат. Программа хранится в ПЗУ, например, для микропроцессора типа 8085 её объём 6 кбт, а время тестирования – 50мс. На тестирование отводятся специальные «окна» во время работы схемы.

Оценка результатов тестирования идёт с применением одного из следующих способов:

- сравнение Z с $Z_{пр}$ для правильно функционирующей схемы;
- сравнение Z с запоминаемым эталоном ($Z_{эт}$);
- посредством использования техники сжатия данных (как правило, сигнатурного анализа).

Существуют две структуры самотестирования – децентрализованная и централизованная, схематично представленные на рис. 56 и 57 соответственно.

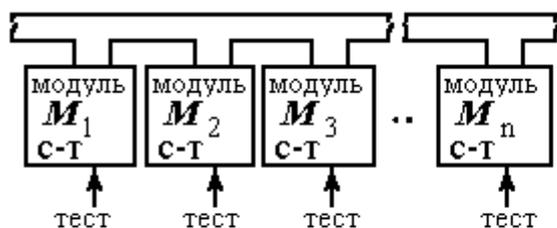


Рис. 56

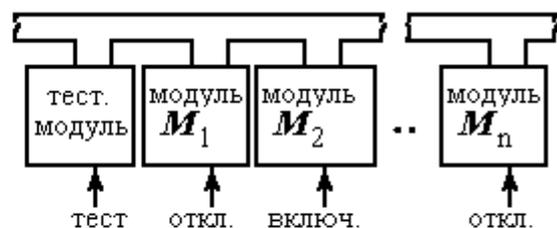


Рис. 57

В децентрализованной структуре модули обладают функцией самотестирования (на рис. 56 это обозначено «с-т»). За счет автономности блоков M_i время тестирования небольшое, но зато большие аппаратурные затраты.

В централизованной структуре идет тестирование только одного блока, общая схема организации тестирования – последовательная (на рис. 57 показан момент подачи тестовой последовательности с тестового модуля на модуль M_2), поэтому время тестирования большое, но при этом аппаратурные затраты невелики.

5.5. Основные сведения о сигнатурном анализе и сигнатурных схемах

Понятие сигнатурного анализа (СА) было введено в 1977 г. Ченом и Фроверком в связи с применением сдвиговых регистров (СР) для тестирования ИС. В том же году был разработан первый сигнатурный анализатор. Принцип СА поясняет схема на рис. 58.

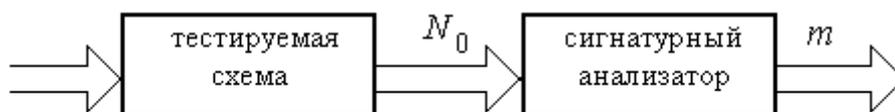


Рис. 58

С тестируемой схемы идут данные длиной N_0 разрядов, которые устанавливают СА в определённое состояние, которое называют *сигнатура* (*signature* – подпись), длиной m разрядов. Эталонная сигнатура – известна. В силу условия:

$$N_0 > m \quad (5.7)$$

в СР происходит «сжатие» длинной последовательности данных в короткую сигнатуру, что связано с потерей информации. Поэтому, из-за того, что входная последовательность «длиннее» СР, вполне вероятно появление одинаковых сигнатур для различных входных данных. В этом случае ошибка остаётся не обнаруженной. В принципе этот недостаток можно преодолеть, программно моделируя обнаруживающую способность СР, однако это связано с большими затратами времени. Так, для обнаружения всех одиночных ошибок в последовательности длиной $N_0 = 50$ бит даже при скорости обработки 1нс потребуется время, равное $50 \cdot 2^{50} \cdot 10^{-9} = 5,6 \cdot 10^7$ сек $\approx 1,8$ года. Следовательно, требуются методы для сокращения времени.

В качестве примера на рис. 59 приведён процесс получения сигнатуры для блока данных $Z = 11110101$ с помощью 5-разрядного регистра с линейной обратной связью, работа которого описывается функцией $f(x) = x^5 + x^4 + x^3 + x^2 + 1$.

Через 8 тактов 5-разрядный регистр находится в состоянии 10100. Соответствующее описание работы дано в таблице 6.

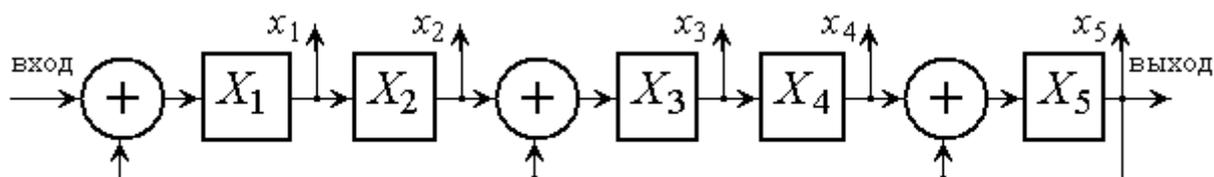


Рис. 59

Таблица 6

№ такта	Состояния			Выход регистра					Выходная последовательность (Z)								
	Выходы			X ₅	X ₄	X ₃	X ₂	X ₁	1	2	3	4	5	6	7	8	
0	Исходное состояние			0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	1	0	1	
1				0	0	0	0	1	1	1	1	0	1	0	1		
2				0	0	0	1	1	1	1	0	1	0	1			
3				0	0	1	1	1	1	1	0	1	0	1			
4				0	1	1	1	1	1	0	1	0	1				
5				1	1	1	1	0	1	0	1						
6			1	0	1	1	0	0	0	1							
7		1	0	1	1	0	0	0	1								
8	1	0	1	1	0	1	0	0									
				Сигнатура													

Из схемы видно, что это последовательный сигнатурный регистр, однако его недостаток виден сразу – один канал ввода данных.

Поясним работу СА начиная с 6-го такта, т.к. до 6-го такта СА работает как обычный СР (т.е. сумматоры не оказывают никакого влияния на работу).

В 6-ом такте за счёт сдвига информации должен быть установлен код 11101, но за счёт «1», идущей с выхода по обратной связи, в разрядах 1, 3 и 5 будут установлены следующие значения:

$$1\text{-й разряд: } 1_{1p} + 1 \rightarrow 0;$$

$$3\text{-й разряд: } 0_{2p} + 1 \rightarrow 1;$$

$$5\text{-й разряд: } 1_{4p} + 1 \rightarrow 0;$$

т.е. к концу 6-го такта установится код 01100.

В 7-ом такте этот код сдвигается на 1 разряд с записью в младший разряд «0» со входа. Установится код 11000.

В 8-ом такте за счёт сдвига информации должен установиться код 10001, но за счёт «1», идущей с выхода, реально после операций логического сложения в 1,3,5 разрядах будут записаны следующие значения:

$$1\text{-й разряд: } 1_{1p} + 1 \rightarrow 0;$$

$$3\text{-й разряд: } 0_{2p} + 1 \rightarrow 1;$$

$$5\text{-й разряд: } 0_{4p} + 1 \rightarrow 1;$$

т.е. к концу 8-го такта установится код 10100.

Сигнатура может анализироваться с различных позиций в теории кодирования, алгебре остаточных классов, теории множеств и графов [15, 18].

Наиболее обще употребляемыми формами описания является широко используемая в теории кодирования полиномиальная форма (алгебра полиномов). Входные данные схемы интерпретируются как коэффициенты

полинома $Z(x)$, а СР описывается образующим полиномом $g(x)$. В результате деления одного полинома на другой имеем

$$\frac{Z(x)}{g(x)} = q(x) + \frac{r(x)}{g(x)}, \quad (5.8)$$

где $q(x)$ – частное от деления, оно интереса для СА не представляет, а полином остатка $r(x)$ и является искомой сигнатурой.

Для вышеуказанного примера эти полиномы будут иметь следующий вид:

$$Z(x) = 11110101 \neq 1 + x + x^2 + x^3 + x^5 + x^7.$$

Образующий полином $g(x) = x^5 + x^4 + x^3 + x^2 + 1$

Определим остаток:

$$\begin{array}{r} + \frac{x^7 + x^5 + x^3 + x^2 + x + 1}{x^7 + x^6 + x^5 + x^4 + x^2} \quad \left| \frac{x^5 + x^4 + x^3 + x^2 + 1}{x^2 + x + 1} \right. \\ \hline \frac{x^6 + x^4 + x^3 + x + 1}{x^6 + x^5 + x^4 + x^3 + x} \\ \hline x^5 + 1 \\ + \frac{x^5 + x^4 + x^3 + x^2 + 1}{x^4 + x^3 + x^2} \longrightarrow r(x) \end{array}$$

Вероятность ошибки при сигнатурном анализе определяется вероятностью того, что вместо фактической сигнатуры будет получена эталонная сигнатура. Всего имеется N различных последовательностей. Вследствие выражения (5.5) число последовательностей определяется:

$$N = 2^{mN_0}, \quad (5.9)$$

где N_0 – число разрядов входной последовательности. Из этого числа последовательностей только N^* приводят к сигнатуре эталонной (одна из них правильная), общее число неправильных сигнатур

$$N^* - 1 = 2^{m(N_0-1)} - 1. \quad (5.10)$$

Тогда вероятность ошибки определится:

$$P_{\text{ош}} = \frac{N^* - 1}{N} = \frac{2^{m(N_0-1)} - 1}{2^{mN_0}}. \quad (5.11)$$

Оценим выражение (5.11) при $2^m \gg 1$:

$$\frac{2^{m(N_0-1)} - 1}{2^{mN_0}} \approx \frac{2^{mN_0} \cdot 2^{-m}}{2^{mN_0}} = 2^{-m},$$

т.е. вероятность ошибки определяется только разрядностью СА.

Пример. $m=8$: $P_{\text{ош}} = 2^{-8} = \frac{1}{256} \approx 0,004$;

$$m=10: \quad P_{\text{ош}} = 2^{-10} = \frac{1}{1024} \approx 0,001.$$

Наибольшим быстродействием обладают параллельные СА. Схема параллельного СА на D -триггерах приведена на рис. 60.

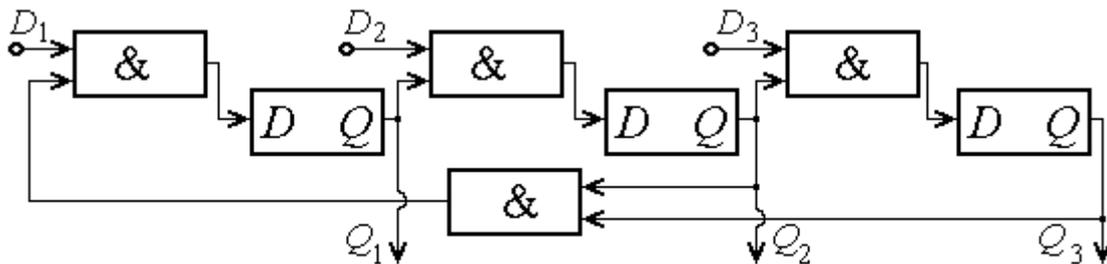


Рис. 60

На рисунке не показан генератор тактовых импульсов.

Сравнение СА с генератором ПСП показывает, что они содержат много общих элементов, поэтому можно создать структуру, которая объединяет СА и ПСП. За рубежом такие многофункциональные элементы получили название *BILBO (Built-In Logic Block Observer)*.

На рис. 61 показан 3-х рядный *BILBO*-регистр.

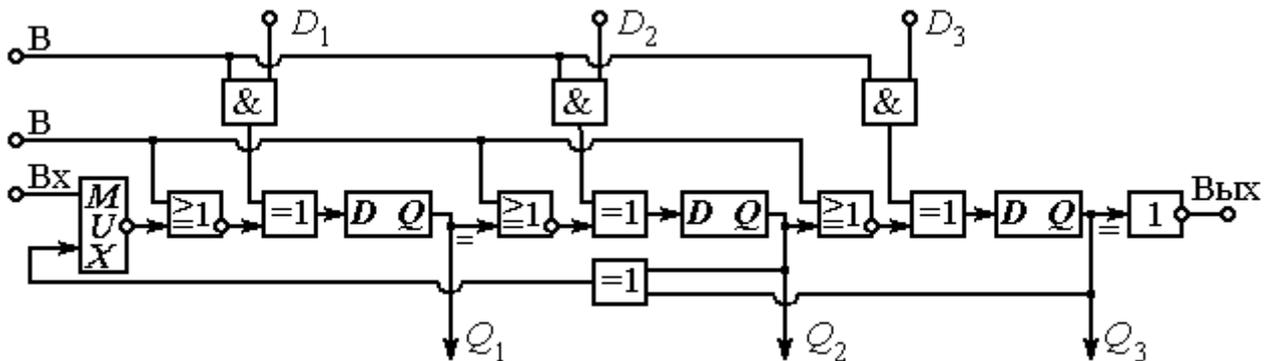


Рис. 61

Здесь элемент, обозначенный «MUX» – мультиплексор, переключающий входные сигналы на выход элемента в зависимости от управляющего сигнала (здесь не показанного).

Режим работы схемы устанавливается согласно таблице 7.

Таблица 7

Входы		Выполняемые функции
V_1	V_2	
0	0	Режим работы линейного регистра сдвига: блокируются входы для D_i .
0	1	Регистр с обратной связью: все триггеры в нуле (обратная установка), можно генерировать 2^m тестовых векторов.
1	0	Параллельный сигнатурный регистр или генератор ПСП (если на D_i поступают постоянные логические сигналы).
1	1	Режим работы обычного регистра: входы D_i подключены ко входам D -триггеров.

Идея этого метода высказана Кенеманом в 1979 году, он предлагал провести реконфигурацию имеющихся в СБИС регистров в СР. Таким образом, из средства внешнего сигнатурного анализа СР стал использоваться для встроенного самотестирования СБИС.

На рис. 62 приведен один из вариантов реализации *BILBO*: модуль *BIDCO* (*built-in digital circuit observer*).



Рис. 62

Более общий случай приведён на рис. 63.

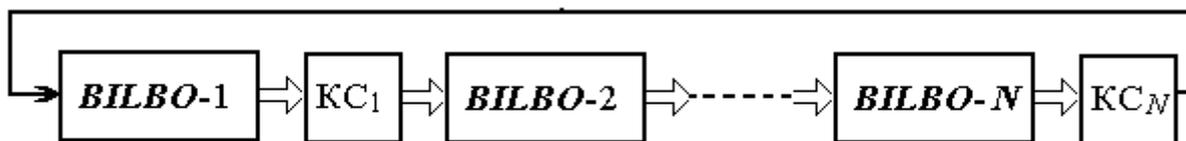


Рис. 63

Здесь KC_i – комбинационные схемы. Система имеет два режима работы:

1 – нормальный: при этом *BILBO* – системные блоки;

2 – самоконтроля: *BILBO-1* – генератор ПСП, а *BILBO-2* – СА, далее (если сигнатура после KC_1 совпадает с эталонной) *BILBO-2* – ПСП, а *BILBO-3* – СА, т.е. происходит контроль KC_2 и т.д. Для последней схемы KC_N : *BILBO-N* – ПСП, а *BILBO-1* – СА.

5.6. Избыточное кодирование и его использование для самодиагностики

При создании отказоустойчивых систем широко используется избыточное кодирование, обеспечивающее самоконтроль, самодиагностику при ограниченном числе отказов путём сравнительно небольших затрат.

Избыточное кодирование (коды Хемминга изобретены в 1948 году) в фирме *Bell Telephone Laboratories* использовалось для повышения надёжности средств связи. Однако через 30 лет в связи с усложнением ЭВМ оно получило новое направление – повышение надёжности средств вычислительной техники (фирма *IBM*, 1978 год).

Возможность использования кодов для повышения надёжности основана на следующей аналогии схемы диагностики с каналом связи, приведенной на рис. 64, на котором показано соответствие между различными частями и функциями каналов связи и диагностики средств ВТ.

Основная идея обнаружения и исправления ошибок с использованием корректирующих кодов состоит в следующем.

Все множество входных и выходных слов ИС преобразования разбивается

на два множества: разрешенных слов и запрещенных слов. Если в результате преобразования получаем разрешенное выходное слово, считаем, что операция выполнена правильно; если выходное слово запрещенное, значит, была допущена ошибка.

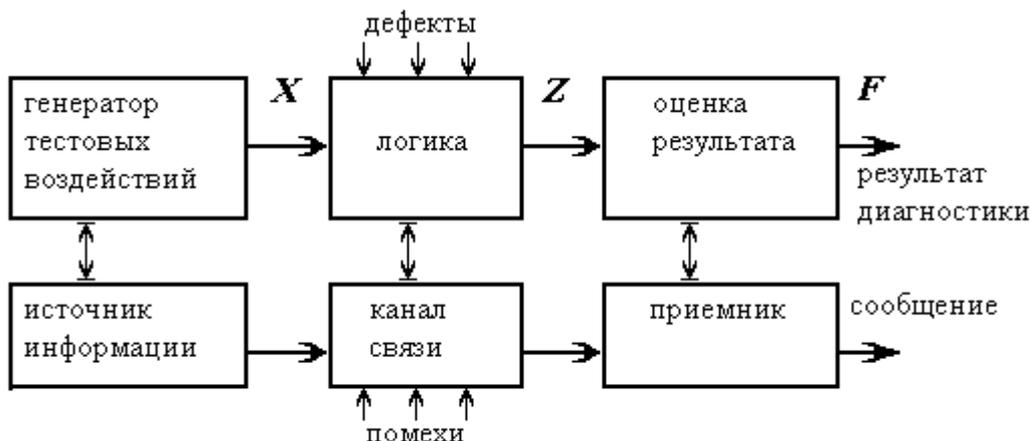


Рис. 64

Кодовым расстоянием d называется расстояние между двумя словами, равное числу разрядов, в которых рассматриваемые слова различаются между собой. Для обнаружения ошибки в одном разряде (однократной ошибки) достаточно выбрать такие разрешенные слова, которые отличаются друг от друга как минимум в двух разрядах, то есть кодовое расстояние между разрешенными кодовыми словами должно быть $d \geq 2$. В общем случае для возможности обнаружения ошибки кратности $i_{обн}$ (ошибки, искажившей $i_{обн}$ символов в кодовом слове) минимальное кодовое расстояние между разрешенными кодовыми словами должно быть: $d_{мин} = i_{обн} + 1$

При исправлении ошибок все множество входных и выходных слов разбивается на группы, и каждому разрешенному кодовому слову ставится в соответствие одна такая группа. Если в результате преобразования получили запрещенное слово, входящее в состав одной из таких групп, то оно заменяется тем разрешенным словом, которому поставлена в соответствие данная группа.

Для исправления однократной ошибки достаточно выбрать разрешенные кодовые слова так, чтобы они находились друг от друга на кодовом расстоянии

$d \geq 3$, а разрешенным кодовым словам поставить в соответствие все запрещенные слова, находящиеся от них на кодовом расстоянии $d = 1$, так как однократная ошибка изменяет в слове только один символ, и может переместить искаженное слово только на расстояние $d = 1$ от правильного.

Существуют коды, позволяющие автоматически исправлять все ошибки кратности не больше $i_{испр}$ и, одновременно, обнаруживать все ошибки кратности не больше $i_{обн}$, причем $i_{обн} > i_{испр}$. Кодовое расстояние между разрешенными кодовыми словами определится: $d_{мин} = i_{испр} + i_{обн} + 1$.

Основные требования к корректирующим кодам:

- согласование кода со статическими особенностями дефектов;
- минимальное время задержки ($5 \div 10\%$);

– минимальные аппаратные затраты. Это требование можно свести к удовлетворению двух условий: 1 – оптимальность корректирующего кода (эффективное использование избыточности); 2 – при реализации корректирующего кода минимально уменьшать надёжность аппаратной части при построении блоков кодирования (БК) и декодирования (БД). На практике это приводит к тому, что вместо кода с минимальной избыточностью используют код с максимальной избыточностью, ибо последний требует более простых средств реализации;

– деление символов на информационные (n) и контрольные (k) коды;

– наличие режима обнаружения дефектов, которые не могут быть исправлены корректирующим устройством, т.е. если корректируются q дефектов, то $(q+1)$ -й дефект обнаруживается, но не исправляется;

– индикация места дефекта, что обеспечивает диагностику.

Коды обозначаются числами (n, k) , где k – число информационных элементов, n – общее число элементов в коде, т.е. после прибавления к k элементам r избыточных разрядов, где $r = n - k$. При построении кода к информационным элементам a_0, a_1, \dots, a_{k-1} исходного k -элементного кода необходимо добавить r полученных определённым образом избыточных элементов. В каждой комбинации n -элементного циклического кода информационные и избыточные элементы будут занимать определённые позиции.

Сдвиг влево на один шаг любого разрешённого кодового слова даёт также разрешённое кодовое слово, множество кодовых слов представляется совокупностью многочленов степени $(n-1)$ и менее, которые должны делиться без остатка на некоторый многочлен $g(x)$ степени r , называемый порождающим. Кодовые слова представляются в виде многочленов: $a(x) = a_0 + \dots + a_{n-1}x^{n-1}$. Результатом деления является проверочный многочлен $h(x)$.

При декодировании циклического кода используется многочлен ошибок $e(x)$ и синдромный многочлен $S(x)$. Остаток $S(x)$ от деления принятого кода (сообщения) $\mathfrak{Y}(x)$ на $g(x)$ называется синдромом. Синдром $S(x)$, вычисленный по принятому многочлену $\mathfrak{Y}(x)$, содержит информацию о векторе ошибок $e(x)$.

Синдромный многочлен зависит непосредственно от многочлена ошибок $e(x)$. Это используется при построении таблицы синдромов, применяемой в процессе декодирования.

В процессе декодирования по принятому кодовому слову вычисляется синдром, затем в таблице находится соответствующий многочлен $e(x)$, суммирование которого с принятым кодовым словом даёт исправленное кодовое слово.

Теперь рассмотрим особенности применения известных кодов, из которых чаще всего используются коды Хемминга, Боуза-Чоудхури, Галлея, Файра и т.д.

Контроль по модулю (2, 3, 5...) не позволяет корректировать дефекты, поэтому используется не очень часто, ибо другие коды позволяют не только обнаружить, но и использовать результат анализа для коррекции.

Широкое использование получил код Хемминга, особенно в системах без преобразования информации (ЗУ, магистрали передачи информации, УВВ).

В кодах Хемминга после каждых четырех бит данных добавляются три контрольных бита. Код обеспечивает исправление ошибки в одном бите и определение ошибки в двух следующих битах. Коды позволяют автоматически обнаруживать наиболее вероятные ошибки при передаче данных. В них к каждому слову приписывается один добавочный (контрольный) двоичный разряд, цифра этого разряда выбирается так, чтобы общее количество единиц в изображении любого числа было, например, четным. Одиночная ошибка в каком-либо разряде передаваемого слова (в частности в контрольном) изменит четность общего количества единиц. Счетчики по модулю 2 подсчитывают количество единиц, содержащихся в числе, могут давать сигнал об ошибке.

Пусть в коде содержится m информационных и k контрольных разрядов. Запись на k позиций определяется при проверке на четность каждой из проверяемых k групп информационных символов. Количество избыточных контролирующих разрядов определяется:

$$k = \log_2 m. \quad (5.12)$$

Число k округляется до ближайшего большего целого значения. k -разрядный контролирующий код есть инвертированный результат поразрядного сложения (по модулю 2) номеров тех информационных разрядов, значения которых равны 1. Если при проведении k проверок результат показывает отсутствие ошибок, записывается 0, при наличии ошибки – 1. Запись полученной последовательности образует двоичное контрольное число, которое укажет номер позиции, где произошла ошибка. При отсутствии ошибки последовательность содержит только нули. Полученное число описывает таким образом $n=(m+k+1)$ событий.

Значение числа m для заданного n определяется согласно таблице 8:

Таблица 8

n	1	2	3	4	8...15	16...31	32...63	64
m	0	0	1	1	4...11	11...26	26...57	57
k	1	2	2	3	4	5	6	7

В каждой из k проверок проверяются определенные позиции. Если в кодовой комбинации ошибок нет, контрольное число содержит только нули. Первая проверка охватывает позиции 1, 3, 5, 7, 9, ... (в двоичной записи этих чисел младший разряд равен 1). Вторая проверка – 2, 3, 6, 7, 10... Если в каком-либо разряде контрольного числа стоит 1, это означает, что в результате проверки, номер которой соответствует этому разряду, обнаружена ошибка.

При кодовом расстоянии d исправляются ошибки кратности r , которое равно целой части от деления $(d_{\min} - 1)/2$, и обнаруживаются ошибки кратности $d_{\min}-1$. Так, при контроле на нечетность $d_{\min} = 2$ и обнаруживаются одиночные ошибки. В коде Хемминга $d_{\min} = 3$.

Рассмотрим в качестве примера двоичный код Хэмминга,

модифицированный на произвольную систему счисления.

В исходное m -разрядное кодовое слово вводится k контрольных разрядов так, что их номера j равны целой степени числа 2: $j = 1, 2, 4, 8, 16 \dots$

Если i - номера разрядов в образованном кодовом слове, то номера контрольных разрядов будут $i = j$. Значение символа A_j в j -м контрольном разряде выбирается из условия кратности $q = 10$ контрольной суммы E_j , соответствующей этому разряду:

$$E_j = \sum_{i=1}^n \mu_i A_i \quad (5.13)$$

где $n=m+k$; $\mu_i = 0$ при четном значении ближайшего большего целого частного i/j ; $\mu_i = 1$ при нечетном значении ближайшего большего целого частного i/j .

Рассмотрим пример помехозащищенного кодирования. Запишем разрядную сетку избыточного слова в таблицу 9:

Таблица 9

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
<u>6</u>	<u>2</u>	9	<u>8</u>	0	7	2	<u>5</u>	3	0	9	2	0	0	1

Подчеркнутые разряды считаем проверочными, а в остальные разряды записывается исходное слово 90 723 092 001 для кодирования. Контрольная цифра в j -м контрольном разряде (A_1, A_2, A_4, A_8) рассчитывается так:

$$E_1 = A_1 + A_3 + A_5 + A_7 + A_9 + A_{11} + A_{13} + A_{15} = 0 \text{ mod } 10.$$

Для нашего числа:

$$E_1 = A_1 + 9 + 0 + 2 + 3 + 9 + 0 + 1 = 0 \text{ mod } 10, A = 6;$$

$$E_2 = A_2 + A_3 + A_6 + A_7 + A_{10} + A_{11} + A_{14} + A_{15} = 0 \text{ mod } 10, A_2 = 2;$$

$$E_4 = A_4 + A_5 + A_6 + A_7 + A_{12} + A_{13} + A_{14} + A_{15} = 0 \text{ mod } 10, A_4 = 8;$$

$$E_8 = A_8 + A_9 + A_{10} + A_{11} + A_{12} + A_{13} + A_{14} + A_{15} = 0 \text{ mod } 10, A_8 = 5.$$

Сформированное таким образом разрешенное избыточное кодовое слово позволяет не только обнаружить, но и автоматически исправить любую однократную ошибку. Такая ошибка переведет кодовое слово в категорию запрещенных потому, что хотя бы одна частная контрольная сумма E_j по модулю 10 будет отлична от 0. Это определяет правило обнаружения ошибки: если проверка кодового слова после его информационного преобразования, производимая путем подсчета частных сумм $E_1, E_2, E_4, E_8, \dots, E_s$, даст хотя бы одну E_j не равную нулю по модулю 10, значит, при преобразовании была допущена ошибка.

Для исправления ошибки следует проанализировать значения частных сумм, отличных от нуля, и определить адрес этой ошибки. При проверке могут встретиться следующие три случая.

1. Все частные суммы $E_j = 0$. Это означает отсутствие однократных ошибок при выполнении преобразования (и с большой вероятностью – отсутствие

ошибок вообще).

2. Хотя бы одна из сумм E_j не равна нулю, но все не равные нулю частные суммы E_j равны между собой (по модулю 10). Можем считать с большой вероятностью, что произошла однократная ошибка при преобразовании; ее адрес – номер искаженного разряда в виде двоичного кода можем определить из выражения:

$$i_{\text{ош}} = E_s^* E_{s/2}^* \dots E_4^* E_2^* E_1^*, \quad (5.14)$$

где $E_j^* = 0$ при $E_j = 0$, в противном случае $E_j^* = 1$. Адрес ошибки равен сумме индексов частных контрольных сумм, не равных нулю.

Кроме адреса ошибки следует проанализировать значение любой из частных сумм, не равных нулю, и значение цифры, находящейся по адресу $i_{\text{ош}}$, чтобы определить, на какую величину была допущена ошибка.

Допустим, мы имеем $E_j = Er \neq 0$. Следовательно, при преобразовании произошло либо увеличение цифры по найденному адресу $i_{\text{ош}}$, на Er единиц, либо ее уменьшение на $10 - Er$ единиц. В любом случае, чтобы исправить эту ошибку, можно вычислить правильное значение цифры по формуле:

$$A_{i_{\text{ош}}\text{прав}} = (A_{i_{\text{ош}}} - Er) \bmod 10. \quad (5.15)$$

3. Две или более частные суммы E_j не равны нулю и хотя бы две из них не равны между собой. Это означает наличие ошибки кратности больше единицы, и ее исправить нельзя.

Теперь рассмотрим пример декодирования. Допустим, в разрешенном кодовом слове допущена ошибка в 12-м разряде: вместо 2 появилась ошибочная цифра 0, то есть получили кодовое слово:

Таблица 10

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
<u>6</u>	<u>2</u>	9	<u>8</u>	0	7	2	<u>5</u>	3	0	9	0	0	0	1

Это слово является запрещенным, поскольку по модулю 10 (учитывается только разряд единиц, а десятки, сотни и т. д. отбрасываются): $E_1 = 0, E_2 = 0, E_4 = 8, E_8 = 8$. Все не равные нулю частные контрольные суммы равны между собой и равны $Er = 8$, следовательно, произошла однократная ошибка, и ее можно исправить. Адрес ошибки — двоичный код номера искаженного разряда. Здесь $i_{\text{ош}} = 1100$, то есть ошибка имела место в 12 разряде (сумма индексов частных ненулевых контрольных сумм равна: $8 + 4 = 12$).

Исправляем ее: $i_{12\text{прав}} = i_{12\text{ош}} - Er = (0-8) \bmod 10 = 2$

Данный код позволяет обнаружить подавляющее число ошибок кратности 2 и выше (без их исправления). Для более высокой эффективности обнаружения ошибок к рассматриваемому кодовому слову можно добавить еще один проверочный разряд (нулевой), которым контролировать по модулю 10 сумму всех цифр избыточного кодового слова (включая контрольные разряды). Двоичные коды Хемминга с автоматическим исправлением ошибок являются частным случаем рассмотренных кодов при модуле $q = 2$.

Что даёт использования кода Хемминга, можно пояснить следующим примером. Пусть используется 128 ИС ёмкостью 64 кбт (общая ёмкость около 8,4 Мбт), среднее время возникновения ошибки в одной ячейке $T_0 \sim 10^6$ лет. В пересчёте на весь объём памяти устройства: $T_{cp} = 10^6 / 8,4 \approx 43$ дня, что приводит к сбоям в памяти (обычно за счёт проникновения α - частиц). Пусть для коррекции ошибок используется (n, k)-код «39, 32», т.е. к 32 информационным разрядам добавляется 7 дополнительных. Следовательно, необходимо использовать дополнительно 28 ИС (4 ИС на один разряд). За счёт дополнительных затрат в аппаратуре надёжность снизится: $T_{cp}' = (32/39) \cdot 43 \approx 35,7$ дня, но использование кодирования снизит среднюю интенсивность отказов λ_{cp} и увеличит T_{cp} примерно до 63 лет.

Наиболее часто используется код Хемминга «64, 57».

Следует отметить, что применение корректирующего кодирования оправдано только в том случае, если интенсивность возникновения дефекта в одном разряде блоков кодирования и декодирования не менее чем в 2 раза меньше интенсивности возникновения дефектов в одном разряде избыточного устройства.

Средства самоконтроля и самовосстановления находятся часто непосредственно на БИС памяти (в отличие от примера выше), что не только обеспечивает удобство эксплуатации, но и повышение выхода годных.

Для многоразрядных БИС ЗУ предложены и другие избыточные коды – код Галлея и код Файра – корректируют соответственно 3-х битовые и 4-х битовые дефекты.

Более подробно указанные коды рассмотрены в других дисциплинах направления.

5.7. Вопросы для самопроверки

1. Какой фактор не позволяет производить полный контроль ЦИС?
2. Что называется моделью неисправности?
3. Какие неисправности охватывают модели на транзисторном уровне? Какие из них наиболее применимы для цифровых ИС?
4. Что называется моделью константных неисправностей?
5. Что такое покрывающая способность теста?
6. Что такое модель единичной неисправности?
7. Для чего применяется декомпозиция схемы?
8. Чем определяется тестопригодность схемы? Контролепригодность?
9. Как строится вектор проверки неисправности?
10. Какой параметр схемы необходим для ее функционального тестирования?
11. Как работает алгоритмическая генерация теста?
12. Как оценивается качество теста?
13. Как устроен генератор псевдослучайных последовательностей?
14. Что называется управляемостью схемы? Наблюдаемостью?
15. Как улучшить управляемость и наблюдаемость схемы?

16. Какую комбинацию не реализует линейный регистр сдвига?
17. Как определяется длительность периода линейного регистра сдвига?
18. Какие неисправности считаются неконтролепригодными на уровне структуры схемы?
19. Для чего применяется декомпозиция схемы?
20. В чем недостаток декомпозиции схемы?
21. Чем характерна схема ЗУ, выполненная по методу сканирования пути?
22. Чем отличается работа схемы со сканированием пути в режиме выполнения функции и в режиме контроля?
23. В чем различие между схемами со сканированием пути и со сканированием-установкой?
24. В чем разница между активными и пассивными методами обеспечения контролепригодности?
25. Какие существуют структуры самотестируемых схем? В чем преимущества и недостатки каждой?
26. Что называется сигнатурой? Для чего она применяется?
27. С чем связана возможность появления ошибок при контроле схемы с помощью сигнатурного анализа?
28. Какой недостаток присутствует у ПСР?
29. Что такое образующий полином сигнатурного анализатора?
30. Как определить вероятность ошибки при сигнатурном анализе?
31. Для чего используется избыточное кодирование?
32. Какие типы элементов кода присутствуют в сигнале с избыточным кодированием?
33. Что называется синдромом при избыточном кодировании?

6. КАЧЕСТВО ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ

Качество информационной системы (в дальнейшем ИнС) – это совокупность свойств системы, обуславливающих возможность ее использования в соответствии с ее назначением. Основные его показатели: надежность, достоверность, безопасность, эффективность.

Надежность – свойство сохранять во времени в установленных пределах значения всех параметров, характеризующих способность системы выполнять требуемые функции в заданных режимах и условиях применения.

Достоверность – безошибочность производимых системой преобразований информации. Определяется достоверностью ее выходной информации.

Безопасность – способность обеспечить конфиденциальность и целостность информации, защиту от несанкционированного доступа.

Эффективность – свойство выполнять поставленную цель в заданных условиях использования и с определенным качеством. Характеризует степень приспособленности системы к выполнению поставленных перед ней задач.

6.1. Надежность информационных систем

Надежность – это свойство системы «штатно» функционировать во времени. Она включает в себя безотказность, ремонтпригодность, долговечность и т. д.

Безотказность – способность сохранять работоспособное состояние в течение некоторого времени или наработки, т.е. продолжительности или объема работы.

Ремонтпригодность – приспособленность к предупреждению и обнаружению причин возникновения отказов, повреждений и поддержанию и восстановлению работоспособного состояния.

Долговечность – свойство сохранять работоспособное состояние при соответствующем техническом обслуживании до наступления предельного состояния (момента, когда дальнейшее использование системы по назначению недопустимо или нецелесообразно).

Отказ: полная или частичная потеря работоспособности системы или ее элемента. Их виды: внезапные и постепенные, зависимые и независимые, полные и частичные, устойчивые и самоустраняющиеся, аппаратные, эргатические (то есть связанные со взаимодействием человека-оператора и машины в пределах одной системы), программные и др.

Устойчивый отказ вызывает длительную неработоспособность системы и устраняется только в результате ее технического обслуживания. Самоустраняющийся отказ – имеет кратковременный характер, устраняется самопроизвольно. Другое название – сбой. Перемежающийся отказ – ряд сбоев одного характера, следующих друг за другом.

Рассматривается надежность трех видов, согласно видам нарушений того или иного элемента системы: аппаратная, эргатическая, программная.

По признаку надежности системы могут быть восстанавливаемыми и невосстанавливаемыми; обслуживаемыми и необслуживаемыми. Восстанавливаемая система: работоспособность при отказе подлежит восстановлению. Невосстанавливаемая – восстановлению не подлежит. Для обслуживаемых систем предусматривается проведение регулярного технического обслуживания, для необслуживаемых не предусматривается.

Вычислительные системы первых поколений в основном относятся к восстанавливаемым обслуживаемым системам. Большинство современных вычислительных систем – к необслуживаемым восстанавливаемым (персональные компьютеры) и даже к необслуживаемым и невосстанавливаемым системам (например, микропроцессор).

6.1.1. Показатели надежности информационных систем

Показатель надежности – это количественная характеристика одного или нескольких свойств, определяющих надежность системы. Показатель надежности, относящийся к одному из свойств надежности, называется единичным. Комплексный показатель надежности характеризует несколько свойств, определяющих надежность системы.

Согласно ГОСТ 27.002-80 «Надежность в технике. Термины и определения», к единичным показателям надежности относятся следующие.

Показатели безотказности

1. Вероятность безотказной работы – вероятность того, что в пределах заданной наработки отказ не возникнет.

2. Вероятность отказа – вероятность того, что в пределах заданной наработки отказ системы возникнет (обратная величина предыдущего).

3. Средняя наработка до отказа – математическое ожидание наработки системы до первого отказа.

4. Средняя наработка на отказ (T_0) – отношение наработки восстанавливаемой системы к математическому ожиданию числа ее отказов в пределах этой наработки (только для восстанавливаемых систем).

5. Интенсивность отказов – плотность вероятности возникновения отказа невосстанавливаемой системы, определяемая для рассматриваемого момента времени при условии, что до этого момента отказ не возник.

6. Параметр потока отказов – отношение среднего числа отказов для восстанавливаемой системы за наработку к значению этой наработки.

Показатели ремонтпригодности.

1. Вероятность восстановления работоспособного состояния – вероятность того, что время восстановления работоспособного состояния не превысит заданного.

2. Среднее время восстановления работоспособного состояния (T_B) – математическое ожидание времени восстановления работоспособного состояния системы.

Показатели долговечности.

1. Средний ресурс – математическое ожидание наработки системы от начала ее эксплуатации или ее возобновления после ремонта до перехода в

предельное состояние.

2. Срок службы (T_{cc}) – календарная продолжительность от начала эксплуатации системы или ее возобновления после ремонта до перехода в предельное состояние.

Комплексные показатели надежности

1. Коэффициент готовности (K_r) – вероятность того, что система окажется в работоспособном состоянии в произвольный момент времени, кроме планируемых периодов, в течение которых применение системы по назначению не предусматривается:

$$K_r = \frac{T_0}{T_0 + T_B}. \quad (6.1)$$

2. Коэффициент оперативной готовности – вероятность того, что система окажется работоспособной в произвольный момент времени, кроме планируемых периодов, когда система не используется, после чего будет работать безотказно в течение заданного времени.

3. Коэффициент технического использования – отношение математического ожидания интервалов времени пребывания системы в работоспособном состоянии за некоторый период T_0 к сумме математических ожиданий интервалов времени пребывания системы в работоспособном состоянии T_0 , времени восстановления работоспособного состояния T_B и времени простоя при выполнении планового технического обслуживания и ремонта $T_{п}$, пересчитанного на один отказ.

$$K_{ти} = \frac{T_0}{T_0 + T_B + T_{п}}. \quad (6.2)$$

4. Коэффициент сохранения эффективности – отношение значения показателя эффективности за определенную продолжительность эксплуатации к номинальному значению этого показателя. Характеризует степень влияния отказов в системе на эффективность ее применения.

Для пользователей надежность максимально ощущается по коэффициенту готовности K_r , по отношению времени работоспособного состояния к времени незапланированного простоя. Для типичного современного сервера $K_r = 0,99$, то есть около 3,5 суток простоя в год.

6.1.2. Обеспечение надежности информационных систем

Все методы обеспечения надежности ИнС делятся на два класса: методы, обеспечивающие безошибочность функциональных звеньев ИнС, то есть повышающие их надежность, и методы, обеспечивающие обнаружение и исправление ошибок в информации, то есть контроля достоверности информации и ее коррекции.

Для построения надежных информационных систем можно использовать различные виды обеспечения.

Экономическое и временное обеспечения, обусловливаемые необходимостью соответственно материальных и временных затрат, используются для реализации процедур обеспечения достоверности.

Организационное обеспечение включает в себя разработку правовых и методических аспектов функционирования ИнС; нормативов достоверности информации по функциональным подсистемам и этапам преобразования информации; методики выбора и обоснования оптимальных структур, процессов и процедур преобразования информации и т. д.

Структурное обеспечение заключается в повышении надежности функционирования звеньев ИнС и системы в целом, и включает в себя обоснование рационального построения структуры ИнС, которое зависит от выбора структуры процесса преобразования информации, обеспечения взаимосвязей между звеньями системы, резервирования элементов, узлов и устройств системы, использования устройств аппаратного контроля и т. д.

Технологическое и эксплуатационное обеспечения предназначены для повышения надежности работы технических средств и технологических комплексов. Технологическое обеспечение: выбор схемных и конструктивных решений применения устройств, технологий и протоколов реализации информационных процессов. Эксплуатационное обеспечение: выбор режимов работы устройств, их профилактического обслуживания.

Социальное и эргатическое обеспечения служат для повышения надежности работы эргатических звеньев системы. Являются очень важными, так как большинство ошибок в информации возникает из-за функциональной ненадежности человеческого фактора.

К социальному обеспечению относятся создание здоровой психологической обстановки в коллективе, повышение ответственности за выполненную работу, повышение квалификации специалистов, увеличение заинтересованности в правильности выполнения работы.

Эргатическое обеспечение – рациональная организация работы человека в системе: правильное распределение функций между людьми и техническими средствами, обоснованность норм и стандартов работы, оптимальность интенсивности и ритмичности, построение рабочих мест в соответствии с требованиями эргономики.

Алгоритмическое обеспечение – обеспечение высокого качества и безошибочности алгоритмов и программ преобразования информации, реализация контроля достоверности информации.

Информационное, синтаксическое и семантическое обеспечения заключаются во введении в ИС информационной избыточности, обуславливающих возможность контроля достоверности информации.

Согласно ГОСТ 18347-75, избыточность – дополнительные средства и возможности сверх минимально необходимых для выполнения объектом заданных функций. Абсолютная избыточность $R_{абс}$: разность между используемым разнообразием элементов системы V_i и минимально необходимым для выполнения ее функций разнообразием V_{oi} :

$$R_{\text{абс}} = V_i - V_{0i}. \quad (6.3)$$

Относительная избыточность R определяется:

$$R = \frac{R_{\text{абс}}}{V_i} = \frac{V_i}{V_{0i}} - 1 = K_{\text{изб}} - 1, \quad (6.4)$$

где $K_{\text{изб}}$ – коэффициент избыточности.

Если сообщение, содержащее объем данных V_d , можно отобразить меньшим объемом данных V_{0d} , то синтаксическая избыточность сообщения определится $R_{\text{абс}} = V_d - V_{0d}$.

Обычно избыточность вводится в систему искусственно, для повышения надежности системы и обеспечения достоверности преобразуемой информации.

Для обеспечения надежности ИнС аппаратным способом используется аппаратная избыточность: все операции выполняются параллельно на одинаковых компонентах системы с последующим сравнением результатов; при выходе из строя одного компонента его резервные аналоги продолжают работу без остановки, а отказавший компонент заменяется.

Программный способ предусматривает: последовательное выполнение одних и тех же информационных процессов и дублирование данных; автоматическое восстановление отказавших программ и искаженных данных.

Для обеспечения надежности технических средств используются меры: резервирование (дублирование) технических средств; использование стандартных протоколов работы устройств ИнС; применение специализированных технических средств защиты информации.

Для обеспечения надежности работы программного комплекса ИнС требуется: тщательное тестирование программ с целью обнаружения ошибок; использование стандартных протоколов, интерфейсов, библиотек, лицензионных программных продуктов; использование структурных методов для обеспечения надежной работы программных комплексов (иерархическое построение программ, разбиение программ на сравнительно независимые модули и т. д.); изоляция параллельно работающих процессов с целью исключения влияния ошибок в работе одной программы на работу других программ.

Наиболее эффективными мерами комплексного обеспечения надежности ИнС являются кластеризация компьютеров и использование отказоустойчивых компьютеров.

Кластер – это несколько компьютеров (узлов), соединенных коммуникационными каналами и разделяющих общие ресурсы, с общей файловой системой, которые воспринимаются пользователем как единый компонент. Надежность работы кластера обеспечивается программами, регулирующими скоординированное использование общекластерных ресурсов, обмен информацией между узлами кластера, и осуществляющими взаимный контроль работоспособности этих узлов. Каждый его работающий компьютер может взять на себя дополнительную нагрузку отказавшего узла.

Кластерные системы используют специальные программы для оптимального распределения ресурсов и удобного администрирования: программы, выполняющие обнаружение и корректировку системных сбоев; утилиты гибкого конфигурирования файловых систем и т.д.

В случае отказа кластерная система выполняет идентификацию отказа, формирование нового кластера, запуск контрольных программ, тестирование файловой системы, запуск базы данных и ее восстановление, перезапуск приложений.

Все большее распространение находят компьютеры (чаще всего серверы) с отказоустойчивыми аппаратными компонентами. Такие компьютеры гарантируют не просто сокращение времени простоя, а вообще предотвращение появления простоев. В основу их архитектуры заложено дублирование, в том числе и многократное, технических компонентов.

Любая команда выполняется одновременно на всех дублированных компонентах, результаты сравниваются. Окончательное решение принимается по большинству одинаковых результатов. Каждый из продублированных компонентов продолжает работу и в случае отказа одного из его дублей, при этом не замечает этого отказа и на функционировании системы это не отражается. Отказавший компонент идентифицируется и заменяется без отключения системы («горячая замена»).

6.2. Достоверность информационных систем

Достоверность функционирования – это свойство системы, обуславливающее безошибочность производимых ею преобразований информации. Достоверность информации D : свойство информации отражать реально существующие объекты с необходимой точностью. Измеряется доверительной вероятностью необходимой точности, то есть вероятностью того, что отражаемое информацией значение параметра отличается от истинного значения этого параметра в пределах необходимой точности: $D = P\{\Delta \in [\Delta_n]\}$, где Δ – реальная точность отображения параметра, $[\Delta_n]$ – диапазон необходимой точности отображения параметра.

Точность информации – это характеристика, показывающая степень близости отображаемого значения параметра и истинного его значения. Необходимая точность определяется функциональным назначением информации.

При оценке истинности информации существуют две основные вероятностные задачи:

- определение точности информации или расчет математического ожидания абсолютной величины отклонения значения показателя от истинного значения параметра;

- определение достоверности информации или вычисление вероятности того, что погрешность показателя не выйдет за допустимые пределы.

Нарушение надежности ИнС, приводящее к ухудшению точности информации в пределах необходимой точности, не снижает эффективности

функционирования системы.

6.2.1. Показатели достоверности информации

Единичные показатели достоверности информации.

1. Вероятность ошибки (параметр потока ошибок): $P_{\text{ош}}$ – вероятность появления ошибки в очередной информационной совокупности.

2. Средняя наработка информации на ошибку Q – отношение объема информации, преобразуемой в системе, к математическому ожиданию количества ошибок, возникающих в информации: $Q = 1/P_{\text{ош}}$.

3. Доверительная вероятность необходимой точности (достоверность) D – вероятность того, что в пределах заданной наработки (информационной совокупности) отсутствуют погрешности, приводящие к нарушению необходимой точности: $D = 1 - P_{\text{ош}}$.

4. Вероятность коррекции в заданное время: $P_{\text{корр}}(t)$ – вероятность того, что время, затрачиваемое на идентификацию и исправление ошибки, не превысит заданного t .

5. Среднее время коррекции информации: $T_{\text{и}}$ – математическое ожидание времени, затрачиваемого на идентификацию и исправление ошибки.

Два последних показателя являются показателями корректируемости информации.

Комплексные показатели достоверности.

1. Коэффициент информационной готовности – вероятность того, что информационная система окажется способной к преобразованию информации в произвольный момент периода, который планировался для этого преобразования (система не будет находиться в состоянии внепланового обслуживания):

$$K_{\text{иг}} = \frac{T_{\text{раб}} - (T_{\text{в}} + T_{\text{и}})}{T_{\text{раб}}}. \quad (6.5)$$

2. Коэффициент информационного технического использования – отношение математического ожидания планируемого времени работы системы на преобразование информации, за вычетом времени восстановления $T_{\text{в}}$ контроля $T_{\text{к}}$, идентификации и исправления ошибок $T_{\text{и}}$, к сумме планируемого времени работы системы и профилактического обслуживания $T_{\text{пф}}$:

$$K_{\text{ти}} = \frac{T_{\text{раб}} - (T_{\text{в}} + T_{\text{к}} + T_{\text{и}})}{T_{\text{раб}} + T_{\text{пф}}}. \quad (6.6)$$

6.2.2. Классификация методов контроля достоверности

По назначению следует различать профилактический, рабочий и генезисный контроль.

Профилактический контроль предназначен для выявления состояния системы в целом и отдельных ее звеньев до включения системы в рабочий режим. Целью профилактического контроля является выявление и

прогнозирование неисправностей в ее работе с последующим их устранением. Одна из наиболее распространенных его форм – тестовый контроль

Рабочий контроль (в рабочем режиме) производится в процессе выполнения системой ее функций. Он может быть разделен на функциональный контроль и контроль качества продукции. Функциональный контроль имеет целью либо только проверку работоспособности системы, либо, кроме того, установления места и причины неисправности (диагностический контроль). Контроль качества продукции является контролем достоверности информации.

Генезисный контроль проводится для выяснения технического состояния системы в прошлые моменты времени для определения причин отказов системы, имевших место ранее, сбора данных об ошибках, их характере, величине и последствиях.

По способу реализации контроль может быть организационным, программным, аппаратным и комбинированным.

Организационный контроль достоверности является одним из основных в ИнС. Он представляет собой комплекс мероприятий, предназначенных для выявления ошибок на всех этапах участия эргатического звена в работе системы.

Программный контроль основан на использовании специальных программ и методов проверки достоверности информации или правильности работы ИнС и ее компонентов. Он бывает программно-логическим, алгоритмическим и тестовым.

Программно-логический контроль базируется на использовании избыточности; алгоритмический контроль использует как основу вспомогательный алгоритм преобразования информации, связанный с основным рабочим алгоритмом.

Аппаратный контроль реализуется с помощью специально встроенных в систему дополнительных технических схем. Этот вид контроля также подразделяется на непрерывный и оперативный (аппаратно-логический) контроль достоверности, а также непрерывный контроль работоспособности.

Непрерывный контроль достоверности функционирует постоянно в процессе работы системы параллельно с основным процессом преобразования информации. Во время оперативного контроля достоверности выполнение основных операций приостанавливается. Непрерывный контроль работоспособности – это не контроль достоверности информации, а контроль значений параметров компонентов системы с помощью встроенных в них датчиков.

По степени выявления и коррекции ошибок возможен контроль:

- обнаруживающий (фиксирующий наличие или отсутствие ошибки);
- локализирующий (определяющий наличие, и место ошибки);
- исправляющий (выполняющий обнаружение, локализацию и исправления ошибки).

Методы контроля достоверности информации подробно рассмотрены в работах [10, 11, 19].

6.2.3. Основные показатели качества контроля достоверности

Определяют степень приспособленности и выполнения контролем поставленных перед ним задач.

Для обнаруживающего и локализирующего контроля:

- коэффициент обнаружения ошибок: $K_{обн} = N_{обн} / N_{ош} = P_{обн} / P_{ош}$;

- коэффициент необнаружения ошибок: $K_{но} = N_{но} / N_{ош} = P_{но} / P_{ош}$;

- коэффициент локализации ошибок $K_{лок}$ для локализирующего контроля равен коэффициенту обнаружения, то есть $K_{лок} = K_{обн}$.

Для исправляющих методов контроля:

- коэффициент исправления ошибок $K_{испр} = N_{испр} / N_{ош} = P_{испр} / P_{от}$;

- коэффициент искажения ошибок $K_{иск} = N_{иск} / N_{ош} = P_{иск} / P_{ош}$;

- коэффициент обнаружения ошибок $K_{обн} = N_{обн} / N_{ош} = P_{обн} / P_{ош}$;

- коэффициент необнаружения ошибок $K_{но} = N_{но} / N_{ош} = P_{но} / P_{ош}$.

В этих соотношениях:

N – число структурных элементов информационной совокупности;

$N_{но}$, $N_{испр}$, $N_{иск}$, $N_{обн}$ – число ошибок, которые в процессе контроля, соответственно, не обнаруживаются, правильно исправляются, искажаются, только обнаруживаются;

$P_{ош}$, $P_{обн}$, $P_{но}$, $P_{испр}$, $P_{иск}$ – вероятности наличия ошибки, обнаружения, необнаружения, исправления и искажения ошибки, соответственно.

При анализе надежности работы системы контроля также используются вероятности:

$P_{пр}$ – вероятность правильного необнаружения ошибки, то есть такого события, когда не поступает информация о наличии ошибки при условии действительного ее отсутствия;

$P_{лт}$ – вероятность ложной тревоги, то есть такого события, когда вырабатывается информация о наличии ошибки при реальном ее отсутствии.

Наиболее эффективными и перспективными методами контроля достоверности информации являются методы помехозащищенного кодирования информации, использующие корректирующие коды с обнаружением и исправлением ошибок. Такие коды рассматриваются в параграфе 5.6 – «Избыточное кодирование». При относительно небольшой избыточности эти методы имеют высокую корректирующую способность. В технических системах корректирующие коды получили чрезвычайно широкое применение. В современных компьютерах, например, на основе кодов с обнаружением и кодов с автоматическим исправлением ошибок строится весьма разветвленный контроль достоверности многих блоков.

6.3. Безопасность информационных систем

Безопасность информационной системы – способность системы обеспечить конфиденциальность и целостность информации, то есть защиту информации от несанкционированного доступа, обращенного на ее раскрытие, изменение или разрушение.

В законе Российской Федерации «Об информации, информатизации и

защите информации», например, подчеркивается, что «...информационные ресурсы являются объектами собственности граждан, организаций, общественных объединений, государства», и защищать информационные ресурсы, естественно, следует, как защищают личную, коммерческую и государственную собственность.

Например, информационным ресурсам в сетях общего и корпоративного пользования могут грозить:

- приведение сети в неработоспособное состояние в результате злонамеренных или неосторожных действий;
- несанкционированный доступ к конфиденциальным данным;
- искажение, фальсификация или подмена данных при несанкционированном доступе;
- подмена и искажение информации, предоставленной для свободного доступа;
- приводящее к невозможности использования информационных ресурсов вирусное их заражение по каналам сети Интернет или посредством инфицированных внешних носителей.

Все угрозы информационным системам можно объединить в обобщающие их три группы.

1. Угроза раскрытия – возможность того, что информация станет известной тому, кому не следовало бы ее знать.

2. Угроза целостности – умышленное несанкционированное изменение (модификация или удаление) данных, хранящихся в вычислительной системе или передаваемых из одной системы в другую.

3. Угроза отказа в обслуживании – опасность появления блокировки доступа к некоторому ресурсу вычислительной системы.

Средства обеспечения информационной безопасности в зависимости от способа из реализации можно разделить на следующие классы методов:

- организационные методы: рациональное конфигурирование, организацию и администрирование системы;
- технологические методы: технологии выполнения сетевого администрирования, мониторинга и аудита безопасности информационных ресурсов, ведения электронных журналов регистрации пользователей, фильтрации и антивирусной обработки поступающей информации;
- аппаратные методы, реализующие физическую защиту системы от несанкционированного доступа, аппаратные функции идентификации периферийных терминалов системы и пользователей, режимы подключения сетевых компонентов и т. д.;

- программные методы – это самые распространенные методы защиты информации: программы идентификации пользователей, парольной защиты и проверки полномочий, брандмауэры, криптопротоколы и т.д. Без использования программной составляющей практически невыполнимы и первые три группы методов.

Наибольшее внимание со стороны разработчиков и потребителей в настоящее время вызывают следующие направления защиты:

- от несанкционированного доступа информационных ресурсов автономно работающих и сетевых компьютеров. Наиболее остро проблема стоит для серверов и пользователей Интернета;

- секретной, конфиденциальной и личной информации от чтения посторонними лицами и целенаправленного ее искажения;

- информационных систем от компьютерных вирусов, способных не только разрушить информацию, но иногда и повредить технические компоненты системы.

Активно развиваются также средства защиты от утечки информации по цепям питания, каналам электромагнитного излучения компьютера или монитора.

В руководящих документах Гостехкомиссии России «Автоматизированные системы. Защита от несанкционированного доступа к информации. Классификация автоматизированных систем и требования к защите информации» и «Средства вычислительной техники. Защита от несанкционированного доступа к информации. Показатели защищенности от несанкционированного доступа к информации» рекомендовано для оценки защиты информации от несанкционированного доступа использовать показатели:

P_a – вероятность попадания информации абоненту, которому она не предназначена;

P_c – вероятность непрохождения сигнала тревоги.

При оптимизации систем защиты информации удобнее использовать коэффициенты $K_a = P_a / P_{обр}$ и $K_c = P_c / P_{обр}$, где $P_{обр}$ – вероятность появления несанкционированного обращения, K_a и K_c – условные вероятности означенных событий при условии возникновения несанкционированного обращения).

В этих же руководящих документах предлагается определить пять классов конфиденциальности информации: 1 – особо секретная; 2 – совершенно секретная; 3 – секретная; 4 – конфиденциальная; 5 – открытая.

Для каждого класса рекомендованы значения показателей P_a и P_c , приведенные в таблице 11.

Таблица 11

Значения	Классы конфиденциальности				
	1	2	3	4	5
P_a	10^{-5}	10^{-4}	10^{-3}	10^{-2}	-
P_c	10^{-5}	10^{-4}	10^{-3}	10^{-2}	-

6.4. Эффективность информационных систем

Эффективность системы – это свойство системы выполнять поставленную цель в заданных условиях использования и с определенным качеством.

Показатели эффективности характеризуют степень приспособленности системы к выполнению поставленных перед нею задач и являются обобщающими показателями оптимальности функционирования ИИС.

6.4.1. Локальные показатели эффективности

Эффективность системы является интегральным свойством, зависящим от ряда отдельных свойств:

- действенности системы, то есть степени выполнения системой своего предназначения. Иногда ее называют целевой эффективностью;
- технического совершенства системы (технической эффективности);
- простоты и технологичности разработки и создания системы (технологической эффективности);
- удобства использования и обслуживания системы (эксплуатационной эффективности) и ряда других характеристик.

В общем случае показатель эффективности зависит от ряда параметров. Основную роль среди них играют собственные параметры системы и параметры внешней среды, обуславливаемые условиями и способами использования системы. Некоторые параметры могут учитываться в виде ограничений.

6.4.2. Показатели целевой эффективности

Показатели целевой эффективности должны отражать количественную оценку достигаемого системой результата. В качестве таких показателей могут выступать показатели:

- достоверности преобразования информации;
- безопасности информационных систем;
- точности вычислений и преобразования информации, характеризующие степень близости выходной информации к истинной информации, отображающей реальный процесс;
- полноты формирования результирующей информации, характеризующие достаточность этой информации для правильного выполнения пользователем запланированных действий;
- оперативности, показывающие, насколько быстро в системе формируется результирующая информация, не устарела ли она; показатели оперативности тесно связаны с актуальностью этой информации;
- своевременности, учитывающие соответствие заданного и реального момента поступления результирующей информации пользователю, и т. д.

Все целевые показатели связаны с формированием результирующей информации в системе, так как эта информация является продуктом деятельности информационной системы. В системах автоматического управления (САУ), частью которых является информационная система, результирующая информация поступает непосредственно на исполнительные органы. В этом случае показатели целевой эффективности должны отражать потребности САУ, а не пользователя, но по существу оставаться теми же.

6.4.3. Показатели технико-эксплуатационной эффективности

Показатели технической эффективности должны оценивать техническое совершенство информационной системы при работе ее в различных режимах, оценивать научно-технический уровень организации и функционирования этой

системы.

Научно-технический уровень ИнС характеризуется системой показателей, отражающих степень соответствия ее технико-эксплуатационных характеристик современным достижениям науки и техники. В качестве их могут рассматриваться все показатели ИнС: функциональные возможности, количество обслуживаемых абонентов, производительность, пропускная способность, скорость передачи данных, тактовая частота, временные задержки, емкость памяти, эксплуатационные характеристики, технологии обслуживания и т. п.

При выборе конкретных показателей учитываются назначение и прикладная область использования системы. В ряде случаев используются частные экономические характеристики: удельные затраты на выполнение тех или иных процедур преобразования информации и т. д.

6.4.4. Показатели экономической эффективности

Необходимость создания ИнС диктуется экономическими и социальными интересами. Следовательно, социально-экономические факторы должны быть основными при оценке эффективности ИнС.

Кардинальными обобщающими показателями эффективности ИнС являются показатели экономической эффективности системы, характеризующие целесообразность произведенных на создание и функционирование системы затрат. Эти показатели должны сопоставлять затраты на разработку, создание и внедрение информационной системы, а также текущие затраты на ее эксплуатацию, с одной стороны, и, с другой стороны, результаты – прибыль, получаемую в результате использования системы, и социальный эффект, обусловленный функционированием ИнС.

Итак, экономическая эффективность характеризует отношение результатов – величины прибыли к величине суммарных затрат на создание и эксплуатацию системы. Поэтому в качестве показателей экономической эффективности обычно выступают следующие:

1. Годовой экономический эффект: $\mathcal{E} = \mathcal{E}_{\text{год}} - E_n K$.
2. Коэффициент экономической эффективности капитальных вложений:

$$E = \mathcal{E}_{\text{год}} / K.$$

3. Срок окупаемости (в годах) капитальных вложений: $T = K / \mathcal{E}_{\text{год}}$:

Здесь: K – единовременные затраты на создание ИнС; $\mathcal{E}_{\text{год}}$ – годовая прибыль, получаемая при использовании ИнС; E_n – нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений.

Коэффициент E_n должен характеризовать средний уровень эффективности капитальных вложений, он должен быть не меньше процентной ставки банковского кредита

Если использовать названные показатели в качестве критерия для принятия решения о целесообразности создания ИнС, то они должны быть следующими: $\mathcal{E} > 0$, $E > E_n$, $T < 1/E_n$.

Поскольку расчет величины годовой эффективности вызывает обычно

серьезные затруднения, на практике часто работают иные экономические показатели.

1. Показатель годовых приведенных затрат $Z_n = C + E_n K$.

2. Показатель «полной стоимости владения»: $Z_n = K + T_{cc} C$.

Здесь C – годовые текущие (эксплуатационные) затраты на ИИС, T_{cc} – срок службы (в годах) информационной системы, обусловленный ее физическим или моральным старением. Соответствовать этим показателям будут критерии:

$Z_n = C + E_n K \rightarrow \min$ – «критерий минимума годовых приведенных затрат»;

$Z_n = K + T_{cc} C \rightarrow \min$ – «критерий минимума полных затрат», для ИИС это самый популярный сейчас критерий.

Данные критерии позволяют проводить выбор лучшей системы из нескольких сравниваемых между собой. Причем можно сравнивать только системы, обеспечивающие одинаковые результаты.

Использование «критерия минимума годовых приведенных затрат» целесообразно только при единовременном вложении капитальных затрат – иначе в формулу необходимо ввести дополнительные коэффициенты.

6.5. Вопросы для самопроверки

1. Назовите и определите основные свойства информационных систем, обуславливающие их эффективность и качество.

2. Назовите основные свойства и показатели надежности.

3. Назовите основные виды обеспечения надежности и виды избыточности ИС.

4. Сформулируйте понятие «достоверность функционирования ИИС» и его отличие от точности.

5. Назовите основные методы обеспечения достоверности информации.

6. В чем важность проблемы защиты информации от несанкционированного доступа?

7. Дайте краткое описание основных методов защиты информации от несанкционированного доступа.

8. Назовите основные показатели эффективности информационных систем.

9. Сформулируйте несколько целевых и технико-эксплуатационных показателей эффективности.

10. Назовите основные экономические показатели и критерии выбора информационной системы.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Басовский, Л.Е. Управление качеством: учебник / Л. Е. Басовский, В. Б. Протасьев. – М.: ИНФРА-М, 2006.
2. Васильев, А.С. Технологические основы управления качеством машин / А.С. Васильев, Дальский А.М., С.А. Клименко, Л.Г. Полонский, М.Л. Хейфец, П.И. Ящерицын. – М.: Машиностроение, 2003.
3. В. Эдварс Деминг. Выход из кризиса. – Тверь: «Альба», 1994.
4. Гладышев, С.А. Управление качеством: учебное пособие, в 2 т. 2-е изд., перераб. и доп. / С. А. Гладышев, Э.А. Карпов, О.В. Масалытина, В.П. Соловьев, В.П. Борискин; рекомендовано УМО. – Старый Оскол: ТНТ, 2010.
5. Глудкин, О.П. Методы и устройства испытаний РЭС и ЭВС / О.П. Глудкин. – М.: Высшая школа, 1991.
6. Глудкин, О.П. Управление качеством ЭС / О.П. Глудкин и др. – М.: Высшая школа, 1994.
7. Дрейзин, В.Э. Управление качеством электронных средств: учеб. пособие / В. Э. Дрейзин, А. В. Кочура. - М.: Академия, 2010.
8. Исикава, К. Японские методы управления качеством./ К. Исикава; пер. с англ. – М., 1988.
9. Курейчик, В.М. Контролепригодное проектирование и самотестирование СБИС: проблемы и перспективы / В.М. Курейчик, С.И. Родзин. – М.: Радио и связь, 1994.
10. Львович, Г.А. Самодиагностирование и самовосстановление микропроцессорных систем / Г.А. Львович, В.Е. Хавкин. – М.: ЦНИИ «Электроника», 1985 [Обзоры по ЭТ, сер.3 «Микроэлектроника», вып.5(1158)].
11. Мельников, В.П. Управление качеством: учебник для студ. учреждений сред. проф. образования / В. П. Мельников, В. П. Смоленцев, А. Г. Схиртладзе ; под ред. В.П. Мельникова. - 4-е изд. - М.: Академия, 2009.
12. Пиганов М.Н., Подлипов Г.А. Экспертные оценки в управлении качеством радиоэлектронных средств: Учеб. пособие / Самар. гос. аэрокосм. ун-т. Самара, 2004.
13. Потехин В.А. Применение теории вероятности к решению задач надежности РЭС / В.А. Потехин, Н.П. Ямпурин. – М.: МАИ, 1991.
14. Потехин, В.А. Элементы теории вероятностей и математической статистики: учеб. пособие / В.А. Потехин, Н.П. Ямпурин; рекомендовано советом Управления филиалов Университета. – Н.Новгород: ННГУ, 2010.
15. Свиткин, М.З. Менеджмент качества. Обеспечение качества продукции на основе семейства международных стандартов ИСО 9000 / М.З. Свиткин, В.Д. Мацута, К.М. Рахлин. – СПб.: Изд-во С.Петербургского университета, 1997.
16. «Семь инструментов качества» в японской экономике. – М., 1990.
17. Тарасенко, А.Н. Методы оценки и показатели тестируемости дискретных устройств. – Зарубежная радиоэлектроника, №7, 1989. – С. 62-73.
18. Ямпурин, Н.П. Отказоустойчивые устройства цифровой обработке сигнала / Н.П. Ямпурин, В.Л. Волков, В.А. Шаров В.А. – М.: МАИ, 1984.

**Ямпурин Николай Петрович
Свердлов Ростислав Валерьевич**

Управление качеством электронных средств

Учебное пособие

Редактор Н.Н. Максимова

Компьютерная верстка Второва Е.В.

Подписано в печать 15.09.2014. Формат 60 x 84¹/₁₆.

Бумага офсетная. Печать офсетная. Усл. печ. л. 5,9.

Уч.-изд. л. 10,5. Тираж 200 экз. Заказ .

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева.

Типография НГТУ.

Адрес университета и полиграфического предприятия:

603950, г. Нижний Новгород, ул. Минина, 24.