

Д.Ю. МУРОМЦЕВ, И.В. ТЮРИН



◆ ИЗДАТЕЛЬСТВО ТГТУ ◆

УДК 621.38.004.12(075.8)

ББК ←85я73

М915

Р е ц е н з е н т ы:

Доктор технических наук, профессор

В.Н. Шамкин

Кандидат технических наук, доцент

Ю.И. Левочкин

Муромцев, Д.Ю.

М915 Управление качеством электронных средств : учебное пособие / Д.Ю. Муромцев, И.В. Тюрин. – Тамбов : Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2007. – Ч. 2. – 96 с. – 100 экз. – ISBN 978-5-8265-0655-4.

Представлены методология и новые инструменты Всеобщего управления качеством к решению задач проектирования, производства и эксплуатации электронных средств.

Серьезное внимание в пособии уделяется инструментам управления качеством, вопросам контроля качества электронных средств, принципам повышения конкурентоспособности продукции в соответствии с международными стандартами ISO, вопросам сертификации товаров и услуг и правовым аспектам в области качества.

Предназначено для студентов специальности 210201 "Проектирование и технология радиоэлектронных средств" очной и заочной форм обучения, а также бакалавров направления 210200 "Проектирование и технология электронных средств". Может быть использовано студентами дистанционной формы обучения и экстерната, оно содержит необходимый материал для выполнения контрольных работ, разделов курсового и дипломного проектов.

УДК 621.38.004.12(075.8)

ББК ←85я73

Работа выполнена при поддержке гранта Президента РФ МД-2025.2007.8

ISBN 978-5-8265-0655-4 © ГОУ ВПО Тамбовский государственный
технический университет (ТГТУ), 2007

Министерство образования и науки Российской Федерации

ГОУ ВПО "Тамбовский государственный технический университет"

Д.Ю. МУРОМЦЕВ, И.В. ТЮРИН

УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ ЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ

Часть 2

*Утверждено Ученым советом университета
в качестве учебного пособия для студентов,
обучающихся по специальности 21020 "Проектирование и
технология радиоэлектронных средств" и бакалавров направления 210200 "Проектирование и технология электронных
средств"*



Тамбов
Издательство ТГТУ
2007

Учебное издание

МУРОМЦЕВ Дмитрий Юрьевич
ТЮРИН Илья Вячеславович

УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ ЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ

Часть 2

Учебное пособие

Редактор З.Г. Чернова
Инженер по компьютерному макетированию М.Н. Рыжкова

Подписано в печать 04.12.2007.
Формат 60 × 84/16. 5,58 усл. печ. л. Тираж 100 экз. Заказ № 775

Издательско-полиграфический центр
Тамбовского государственного технического университета
392000, Тамбов, Советская, 106, к. 14

ВВЕДЕНИЕ

Повышение качества продукции является одной из основных проблем современного производства, в первую очередь определяющую конкурентоспособность выпускаемых изделий. Рост уровня качества продукции во многом зависит от внедрения современных методов контроля качества, эффективность которых определяется степенью подготовки руководителей, инженерно-технического персонала, рабочих и служащих предприятий. Именно квалификация сотрудников позволяет оперативно получить полную и достоверную информацию для принятия своевременных и обоснованных решений по корректировке качества выпускаемой продукции и согласования решаемых задач на всех этапах жизненного цикла изделий и на различных уровнях иерархии управления.

В учебном пособии значительное внимание уделяется рассмотрению вопросов, связанных с проектированием конкурентоспособных электронных средств (ЭС) при выполнении курсовых и дипломных проектов (работ) студентами специальности 210201. Материалы пособия рекомендуется использовать для обоснования конкурентоспособности и оценивания качества разрабатываемого ЭС в выпускных работах бакалавров и магистерских диссертациях направления 210200. Пособие предназначено также для студентов заочной формы обучения, дистанционного образования и экстерната для выполнения контрольных работ, а также может быть полезно для студентов других инженерных специальностей.

Основное внимание посвящено семи новым инструментам управления качеством, рассмотрены элементы анализа качества технологических процессов, методы контроля качества производства ЭС, в том числе алгоритмы формирования тестов логических схем, принципы повышения конкурентоспособности продукции в соответствии с международными стандартами ISO в области управления качеством. Кроме того, затронуты вопросы сертификации товаров и услуг и правовые аспекты в области качества.

Ограниченный объем пособия не позволил рассмотреть все вопросы, связанные с управлением качеством ЭС, поэтому основное внимание уделялось аспектам качества при производстве ЭС. Форма изложения материала и примеры подобраны так, что студенты смогут легко уяснить основные теоретические предпосылки и выполнить необходимые расчеты.

1. Основные инструменты Управления Качеством

1.1. основные положения

В первой части учебного пособия были рассмотрены семь инструментов контроля качества. Большинство из них используется для анализа численных данных, что соответствует требованию Всеобщего Управления Качеством (ВУК): опираться в принятии решений только на факты. Однако факты не всегда бывают численными по своей природе, и для принятия решения в этом случае необходимо знание поведенческой науки, операционного анализа, теории оптимизации и статистики. Поэтому JUSE (Union of Japanese Scientists and Engineers – Союз Японских Ученых и Инженеров) на базе этих наук разработал очень мощный и полезный набор инструментов, позволяющих облегчить задачу управления качеством при анализе различного рода фактов.

Эти инструменты получили название семи инструментов управления или семи новых инструментов контроля качества и были собраны вместе только в 1979 г. К ним относятся:

- 1) диаграмма сродства (affinity diagram);
- 2) диаграмма (график) связей (interrelationship diagram);
- 3) древовидная диаграмма (дерево решений) (tree diagram);
- 4) матричная диаграмма или таблица качества (matrix diagram or quality table);
- 5) стрелочная диаграмма (arrow diagram);
- 6) диаграмма процесса осуществления программы (Process Decision Program Chart – PDPC);
- 7) матрица приоритетов (анализ матричных данных) (matrix data analysis).

Сбор исходных данных для инструментов управления обычно осуществляют во время принятия адекватных решений по проблемным вопросам [1]. Экспертная группа должна включать всех тех, кто обладает знаниями по изучаемой проблеме. Члены группы должны предварительно обсудить между собой поставленную проблему. Перед началом "мозгового штурма" руководителю группы необходимо:

- определить обсуждаемую тему;
- сформировать состав группы и сформулировать необходимые цели и задачи;
- во время обсуждения фиксировать идеи выступающих;
- ознакомить наиболее компетентных членов группы с обсуждаемой темой, чтобы они могли ее заранее обдумать;
- провести короткую разминку группы (5...10 мин) по нейтральным вопросам, после чего перейти к нужной теме, объяснив ее важность;
- организовать процесс "мозгового штурма", когда каждый участник группы может высказаться по обсуждаемой теме, причем резюме каждого выступающего должно быть доступным для всех участников;
- не навязывать членам группы свое мнение, а высказать его в конце обсуждения;
- общее время обсуждения должно составлять 30...45 мин;
- выполнить обработку полученных результатов, группируя аналогичные идеи, и после согласования с участниками обсуждения, постараться на базе преобразованных предложений определить предлагаемое средство решения проблемы с учетом стоимости, временных затрат и возможных рисков как технического, так и организационного характера.

По результатам "мозгового штурма" собираются данные и строятся различные диаграммы, подобные семи инструментам управления. Один из наиболее важных аспектов этих инструментов – поддержка слаженного и взаимодействующего сотрудничества всех участников процесса. Далее будет дано краткое описание каждого из семи инструментов управления и показана их роль в важнейшей процедуре обеспечения требуемого потребителем качества, которая получила название Развертывание Функции Качества.

1.2. ДИАГРАММА СРОДСТВА

Диаграмма сродства представляет собой инструмент, позволяющий определить основные нарушения процесса путем объединения сродственных устных данных [1]. В литературе иногда встречается и другое ее название – КJ-метод (по первым буквам имени ее создателя, японского ученого Кавакита Джиро (Kawakita Jiro)).

Схема создания диаграммы сродства и определения основных нарушений процесса приведена на рис. 1.

Диаграмма сродства является творческим средством организации больших количеств устных данных, таких как идеи, пожелания потребителей или мнения групп, участвующих в обсуждаемой проблеме по принципу сродства различных данных, и иллюстрирует скорее ассоциации, чем логические связи.

Создавать диаграмму сродства удобнее группой, состоящей из 6–8 человек, имеющих предварительный опыт совместной работы. Процедура создания диаграммы может быть следующей [1].

1. Определение проблемы или темы, которая станет основой для сбора данных.
2. Осуществление неупорядоченного сбора данных по выбранной теме. Любое сообщение регистрируется на карточке каждым участником.



Рис. 1. Схема построения диаграммы средства

3. Группирование родственных данных вместе по направлениям различных уровней согласно принципам рис. 1. Эту компиляцию делают следующим образом: ищут и отбирают родственные в некоторой степени карточки.
4. Получение предварительных групп родственных данных.
5. Поиск направленности, подчеркивающей средство каждой группы данных. Эту процедуру можно повторить с резюмированием ведущих направлений, таким образом создавая иерархию.

Процедуру создания диаграммы заканчивают после группировки данных в соответствии с подходящим количеством



Рис. 2. Фрагмент диаграммы средства

ведущих направлений.

На рис. 2 приведен фрагмент диаграммы средства, построенной с использованием рассмотренной процедуры. Диаграмма средства построена на основе поставленного вопроса: "Что характеризует стабильное и надежное предприятие?"

1.3. ДИАГРАММА СВЯЗЕЙ

Диаграмма связей представляет собой инструмент для выявления логических связей между основной идеей, проблемой или различными данными.

Задачей этого инструмента является установление соответствия основных причин нарушения процесса, выявленных с помощью диаграммы средства, тем проблемам, которые требуют решения, поэтому есть некоторое сходство между диаграммой связей и причинно-следственной диаграммой [2]. Классификация этих причин по важности осуществляется с учетом используемых производственных ресурсов и характеризующих причины числовых данных.

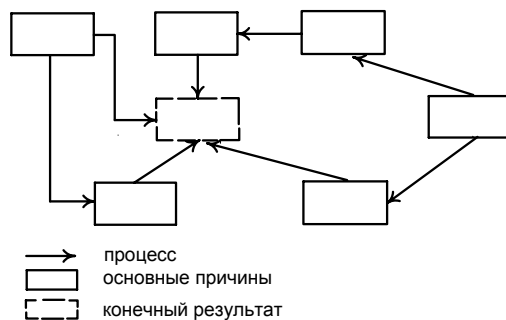


Рис. 3. Структура диаграммы связей

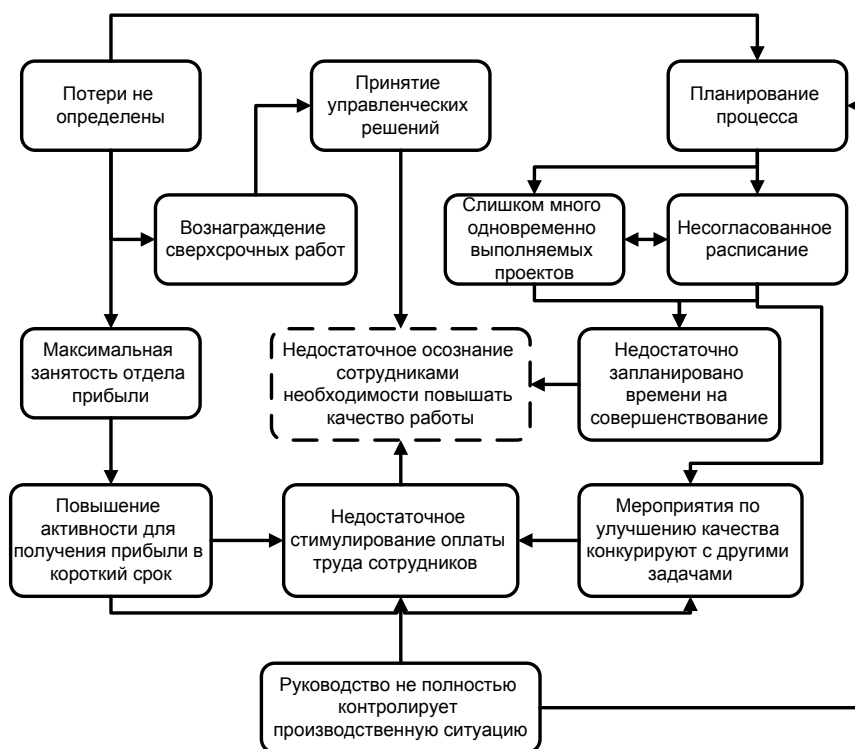


Рис. 4. Пример построения диаграммы связей

Наиболее эффективно использование диаграммы связей в тех ситуациях, когда проблема настолько сложна, что связи между различными идеями не могут быть установлены при помощи обычного обсуждения, когда временная последовательность, согласно которой делаются шаги, является решающей, или проблема, затронутая в вопросе, является симптомом более фундаментальной незатронутой проблемы. Схема построения диаграммы связей показана на рис. 3 [1].

Как и для диаграммы сродства, работа над диаграммой связей должна проводиться в соответствующих группах. Здесь важным является то, что исследуемый предмет должен быть сначала определен. Основные причины, требуемые для работы, можно выделить, например, из диаграммы сродства или диаграммы Исикавы.

На рис. 4 показан пример построения диаграммы связей.

Представленная на рис. 4 диаграмма связей направлена на решение проблемы недостаточного понимания сотрудниками предприятия необходимости проведения качественных усовершенствований.

1.4. ДРЕВОВИДНАЯ ДИАГРАММА

Древовидная диаграмма (систематическая диаграмма) используется как инструмент, обеспечивающий систематический путь разрешения важной проблемы, центральной идеи, а также удовлетворения нужд потребителей на различных уровнях.

В отличие от диаграмм сродства и связей этот инструмент более целенаправлен. Древовидная диаграмма имеет вид многоступенчатой древовидной структуры, элементами которой являются различные средства и способы решения проблемы [1]. Схема построения древовидной диаграммы показана на рис. 5.

Древовидную диаграмму применяют, когда:

- неясно сформулированные пожелания потребителя в отношении продукта необходимо преобразовать в пожелания потребителя на управляемом уровне;

– необходимо исследовать все возможные части проблемы;

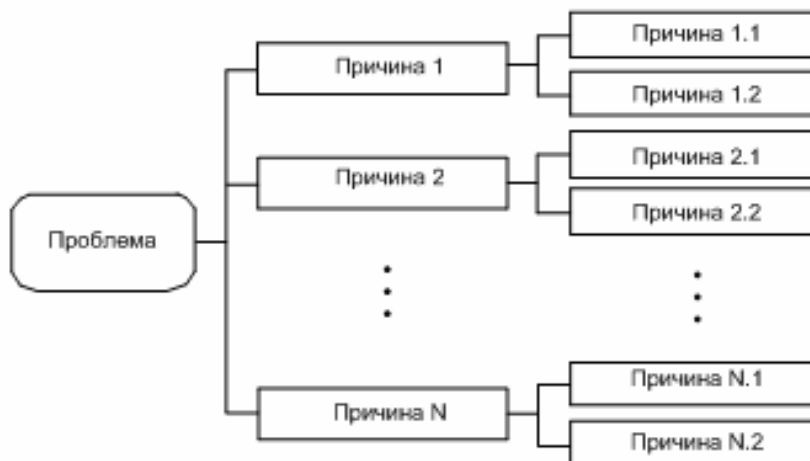


Рис. 5. Схема построения древовидной диаграммы

– краткосрочные цели должны быть достигнуты раньше результатов всей работы, т.е. на этапе проектирования. На рис. 6 приведен пример построения древовидной диаграммы для решения проблемы простоты эксплуатации телевизора, поставленной потребителем.

Древовидная диаграмма обычно создается группой специалистов. Методика ее создания похожа на описанную выше методику для диаграммы средства, однако здесь особенно важно, чтобы и предмет исследования был точно определен и распознан.

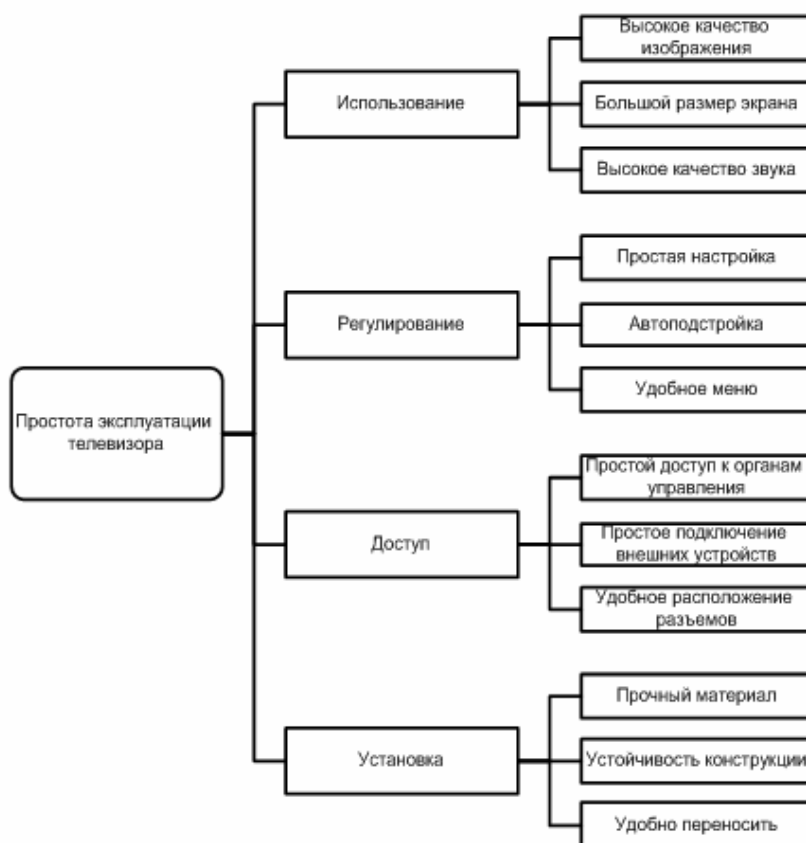


Рис. 6. Древовидная диаграмма пожелания потребителя

1.5. МАТРИЧНАЯ ДИАГРАММА

Матричная диаграмма представляет собой инструмент, выявляющий важность различных связей. Этот инструмент служит для организации множества данных с графической иллюстрацией логических связей между различными элементами. Матричная диаграмма предназначена для отображения связей и корреляций между задачами, функциями и характеристиками с указанием их относительной важности. Поэтому матричная диаграмма показывает соответствие определенных факторов и явлений различным причинам их появления и средствам устранения их последствий, а также показывает степень зависимостей этих событий от причин их возникновения [1]. Такие матричные диаграммы называют матрицами связей.

A	B					
	b ₁	b ₂	b ₃	b ₄	b ₅	b ₆
a ₁		Δ				
a ₂						⊗
a ₃			⊗			
a ₄						○
a ₅		○				
a ₆						

Рис. 7. Пример построения матрицы связей для двух объектов

Матрицы связей показывают наличие и тесноту связей компонент, в частности объекта А (a₁, ..., a₆) с компонентами (b₁, ..., b₆) объекта В (рис. 7). Связь между компонентами А и В на матричных диаграммах изображается с помощью специальных символов, характеризующих степень тесноты этих связей, например, Δ – слабая связь, ○ – средняя и ⊗ – сильная. В случае, когда в строке матрицы связей отсутствует любой символ, это означает, что связь между данным компонентом, например, a₆ и всеми компонентами объекта В отсутствует. Когда символ отсутствует в столбце, тогда компонент, соответствующий столбцу объекта В, не влияет ни на одну из причин в соответствующей строке матрицы.

На практике используют различные по своей компоновке матрицы связей. Наиболее распространенные из них приведены на рис. 8 – 10.

Базовой формой диаграммы связи, наиболее часто встречающейся на практике, является матричная L-диаграмма (см. рис. 8). Так как ее удобно использовать при развертывании функции качества, то матричную L-диаграмму часто называют таблицей качества. Здесь две взаимосвязанные группы компонент, например причины А и фактора В, представлены соответственно в строках и столбцах матрицы, с помощью которой необходимо установить связь между отдельными компонентами, как это показано на рис. 8, например, для компонент a₅ и b₅. При развертывании функции качества рекомендуется, чтобы каждый участник группы качества, выполняющий эту работу, заполнил матрицу самостоятельно с тем, чтобы в дальнейшем можно было бы сравнить результаты.

Нетрудно убедиться в том, глядя на рис. 9 и 10, что матричные Т- и Х-диаграммы представляют собой не что иное, как различные комбинации L-диаграммы.

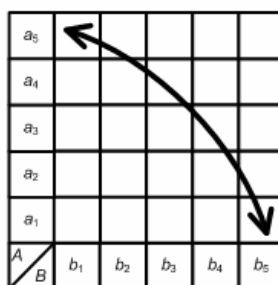


Рис. 8. L-диаграмма

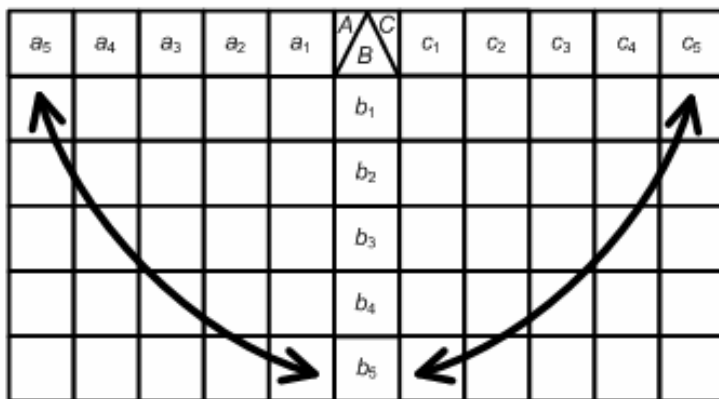


Рис. 9. Т-диаграмма

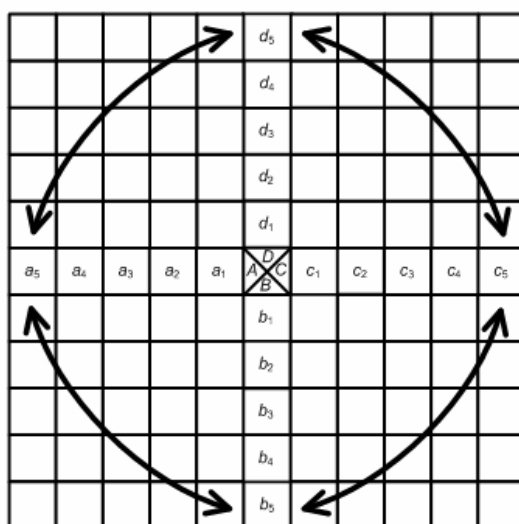


Рис. 10. Х-диаграмма

1.6. СТРЕЛОЧНАЯ ДИАГРАММА

Стрелочная диаграмма представляет собой инструмент для планирования оптимальных сроков выполнения всех необходимых работ, для скорейшей и успешной реализации поставленной цели. Этот инструмент применяют после того, как выявлены проблемы, требующие своего решения, и определены необходимые меры, сроки и этапы их осуществления, т.е. после составления первых четырех диаграмм.

Стрелочная диаграмма по своей сути является диаграммой хода проведения работ, на которой наглядно показаны порядок и сроки проведения различных этапов. Использование этого инструмента позволяет обеспечить уверенность, что планируемое время выполнения всей работы и отдельных ее этапов по достижению конечной цели является оптимальным, поэтому этот инструмент широко применяется не только при планировании работ, но и для последующего контроля за ходом их выполнения. Особенно широко этот инструмент применяется при разработке различных проектов и планировании производства. Традиционным методом такого планирования является метод, использующий стрелочную диаграмму либо в виде так называемой диаграммы Ганта (Gantt), либо в виде сетевого графа.

№ п/п	Название задачи	Начало	Конец	Длительность	2007																	
					яне	фев	мар	апр	май	июн	июл	авг	сен	окт	ноя	дек						
1	Создание концепции продукта	15.01.2007	19.01.2007	5д	■																	
2	Маркетинговые исследования	22.01.2007	09.02.2007	15д	■																	
3	Патентный поиск	25.01.2007	09.02.2007	12д	■																	
4	Формирование технического задания	12.02.2007	19.02.2007	6д	■																	
5	Эскизное проектирование	20.02.2007	20.03.2007	21д	■																	
6	Схемотехническое проектирование	15.03.2007	15.06.2007	67д	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
7	Проектирование функциональных узлов	01.05.2007	15.08.2007	77д																		
8	Проектирование блока	01.08.2007	01.10.2007	44д																		
9	Разработка технологических процессов	03.09.2007	10.12.2007	71д																		
10	Разработка документации	15.03.2007	25.12.2007	204д	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■

Рис. 11. Планирование проектных работ с использованием диаграммы Ганта

На рис. 11 в упрощенном виде приведены порядок и сроки выполнения работ по проектированию ЭС в течение одного года, представленные в виде диаграммы Ганта.

Сетевой граф по выполнению той же самой задачи приведен на рис. 12. Цифры, стоящие в узлах графа, соответствуют порядковому номеру операции, приведенной на рис. 11.

На этом рисунке обычными стрелками обозначены работы, а пунктирными стрелками – макет, показывающий связь времени и работы. Цифры, стоящие на стрелках сетевого графа, указывают на продолжительность (в нашем случае – числу дней) выполнения операции, номер которой указан в узле графа, из которого исходит стрелка.

На сетевом графе стрелками показана последовательность действий и влияние одних операций на ход выполнения следующих операций. Поэтому сетевой граф более удобен для контроля ходом выполнения работ, чем диаграмма Ганта.

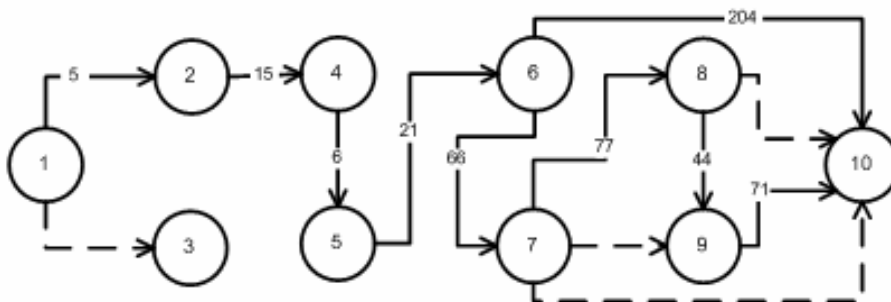


Рис. 12. Сетевой граф работ по проектированию ЭС

1.7. ДИАГРАММА ПРОЦЕССА

Диаграмма процесса осуществления программы (в западной литературе обозначаемая PDPC – Process Decision Program Chart) представляет собой инструмент для оценки сроков и целесообразности проведения работ по выполнению программы в соответствии со стрелочной диаграммой

с целью их корректировки в ходе выполнения. PDPC отражает последовательность действий и решений, необходимых для получения требуемого результата

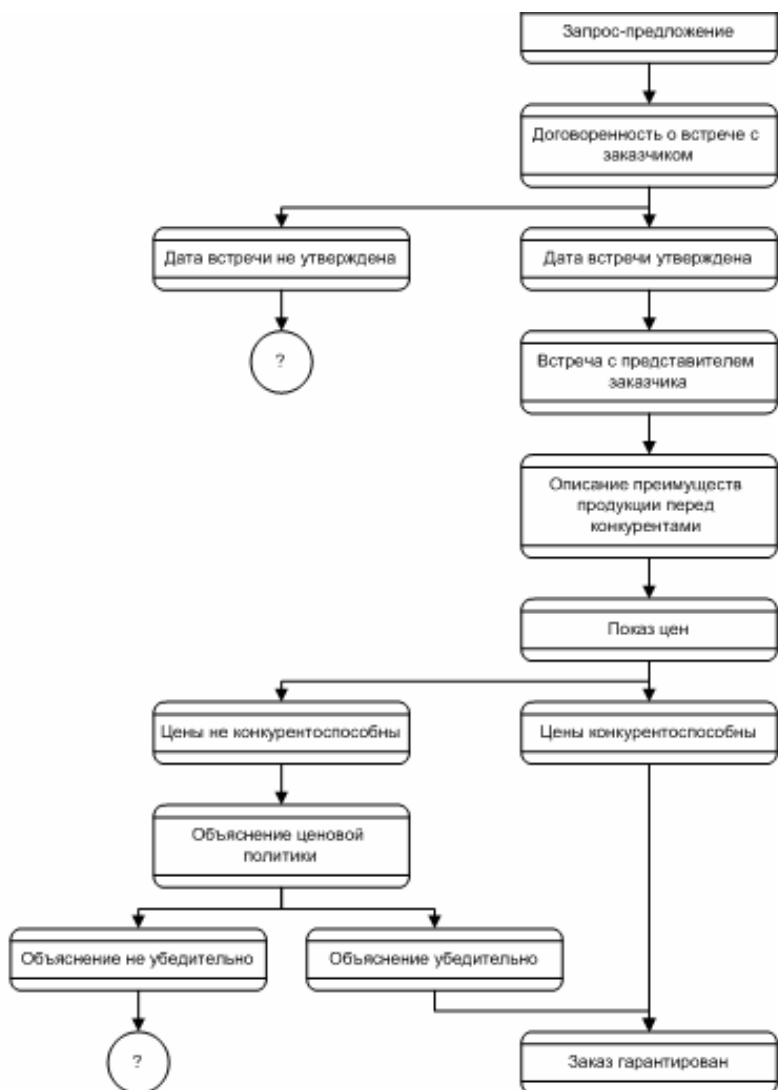


Рис. 13. PDPC-диаграмма осуществления программы получения гарантированного заказа

Наиболее эффективно применение PDPC в следующих случаях [1]:

- 1) при разработке новой программы достижения требуемого результата. PDPC позволяет предварительно спланировать и отследить последовательности действий, с анализом проблем, которые могут возникнуть в ходе выполнения работы;
- 2) когда возможен нежелательный исход при планировании процесса. PDPC высвечивает последовательность действий, в результате тщательного анализа этих действий негативные последствия прогнозируются, что позволяет заранее осуществить соответствующие корректировки.

На рис. 13 в качестве примера показана часть диаграммы процесса осуществления программы, разрабатываемой для гарантированного успеха предприятия в выигрывше заказа.

Достоинством PDPC является возможность широкого применения при решении сложных проблем в области научных разработок и производства, при получении крупных заказов со стороны и т.п.

1.8. МАТРИЦА ПРИОРИТЕТОВ

Матрица приоритетов представляет собой инструмент для обработки множества числовых данных, полученных при построении матричных диаграмм, с целью выявления наиболее приоритетных данных. Второе название этого инструмента – анализ матричных данных, так как матрица приоритетов используется для анализа численных данных матричных диаграмм. Этот седьмой инструмент управления эквивалентен статистическому методу, имеющему название анализ важнейших компонент (principal component analysis), который является одним из основных методов анализа многовариантных данных [1]. Использование матрицы приоритетов требует статистических знаний, поэтому данный инструмент управления качеством реже применяется на практике, чем шесть других рассмотренных инструментов. Область его применения затрагивает те случаи, когда возникает необходимость представить численные данные из матричных диаграмм в более наглядном виде. Так, например, в [1] рассмотрено использование матрицы приоритетов для исследования реакции японских мужчин и женщин различных возрастных групп на привлекательность предложенных им ста разных продуктов питания.

В общем виде анализ матричных данных предполагает выполнение ряда основных этапов.

1. Формулирование проблемы. На этом этапе с привлечением круга специалистов в данной области определяется постановка задачи исследования.
2. Определение категорий потребителей продукции.
3. Формирование перечня номенклатуры ЭС.
4. Определение состава наиболее значимых компонент, в качестве которых могут выступать, например, "общая удовлетворенность предложенными изделиями" или "значимость изделия в зависимости от категории потребителя".
5. Опрос потребителей, занесение статистических данных в табличную форму и отложение данных в координатах компонент.
6. Расчет коэффициента корреляции и заполнение корреляционной матрицы.
7. Обработка данных и составление итогового отчета, например, в виде табл. 1.

Таблица 1

Категория потребителей	Компонента 1	Компонента 2	Компонента 3
1			
2			
...			
N			
Характеристическое значение			
Частота			
Накопленная частота			

Из анализа табл. 1 делаются выводы по:

- совокупной доле данных (накопленной частоте) для отобранных важнейших компонент;
- распределению их статистических весов;
- значениям характеристических векторов компонент.

Инструменты управления качеством широко используются при конвертации требований потребителя в параметры качества ожидаемого им продукта и соответственно в параметры качества процессов планирования, разработки, производства, установки и улучшения качества продукта. Такая процедура получила название Развертывание Функции Качества.

ВОПРОСЫ ДЛЯ КОНТРОЛЯ

1. Какие инструменты управления качеством вам известны?
 2. В чем отличие семи инструментов управления от семи инструментов контроля качества?
 3. Перечислите инструменты управления качеством, и дайте их краткую характеристику.
 4. Какие существуют виды матричных диаграмм?
 5. В каких ситуациях применение определенных инструментов управления качеством является предпочтительным?
2. Развертывание требований потребителя и концепция Дома Качества

2.1. РАЗВЕРТЫВАНИЕ ФУНКЦИИ КАЧЕСТВА

Развертывание Функции Качества (Quality Function Deployment – QFD) является оригинальной японской методологией, ставящей целью гарантировать качество с самой первой стадии создания и развития нового продукта [1]. Области распространения QFD затрагивают такие основные секторы рынка, как электроника, машиностроение, химическая промышленность, пищевая и легкая промышленность, строительство, а также производимые услуги в областях бизнеса, сервиса и т.п.

Процесс развертывания нужд и пожеланий потребителя через развертывание функций и операций деятельности предприятия по обеспечению такого уровня качества на каждом этапе жизненного цикла проектируемого изделия, которое

бы гарантировало получение ожидаемого потребителем конечного результата, получил название Развертывание Функции Качества.

Модель профиля качества, предложенная Кано (Kano), включает три составляющие: базовое, желаемое и требуемое качество. Использование модели Кано может быть полезно при определении воображаемого понимания ожиданий потребителя, так как она показывает взаимосвязь между качеством, ощущаемым потребителем при встрече с продуктом, и соответствующими параметрами его качества. На рис. 14 проиллюстрирована зависимость степени удовлетворенности потребителя (ось ординат) от степени реализации ожидаемых им параметров качества (ось абсцисс) в предлагаемом ему продукте для трех составляющих профиля качества [1].

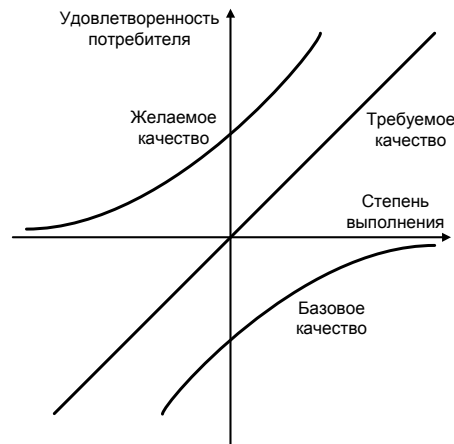


Рис. 14. Степень удовлетворенности потребителя в зависимости от профиля качества продукта

Профиль базового или основного качества представляет совокупность таких параметров качества изделия, которые потребитель считает обязательными и поэтому он, ожидая их, не считает необходимым собирать о них предварительно производителю. Примерами таких параметров качества могут быть:

- гарантии безопасности при эксплуатации изделия;
- предоставление требуемых услуг предприятиями сервисного обслуживания;
- безошибочные вычислительные операции на компьютере;
- выполнение действий в соответствии с функциональным назначением продукта и т.п.

Профиль требуемого качества представляет собой совокупность показателей качества, представляющих собой технические и функциональные характеристики изделия ЭС. Они показывают, насколько изделие соответствует тому, что было задумано. Именно такие характеристики, как правило, напрямую оцениваются потребителем, и в первую очередь влияют на ценность продукта с его точки зрения. Поэтому требуемые параметры качества обычно рекламируются и гарантируются производителем.

Совершенствование функциональных и технических характеристик изделия требует постоянного внимания производителя, чтобы продукт оставался конкурентоспособным [1]. Примерами требуемых параметров качества, представляющих технические характеристики продукта, являются:

- мощность усилителя, потребление электроэнергии;
- быстродействие и память компьютера;
- интуитивно понятный интерфейс программного обеспечения;
- количество телеканалов и т.п.

Профиль желаемого качества состоит из группы параметров качества, представляющих для потребителя неожиданные ценности предлагаемого ему изделия, о наличии которых он не предполагал. Реализация желаемых параметров качества часто является результатом хорошо продуманной комбинации различных технологий и глубокого знания производителем того, что хочет потребитель от продукта, и как он его будет использовать. Учет потребителем желаемого качества во вновь создаваемом продукте может стимулировать формирование определенных новых потребностей общества, как это произошло, например, с персональными компьютерами, первые образцы которых не предполагали массового потребителя. Примерами продуктов с желаемыми параметрами качества помимо персональных компьютеров являются цифровое телевидение, средства сотовой связи, многофункциональная офисная техника.

Представленное производителем понимание требований потребителя, сделанное верно и до начала проектирования продукта, приводит к его успешному продвижению на рынке и сокращению времени его создания, что соответственно снижает стоимость производимого продукта.

После того, как полностью выполнена работа по уточнению требований потребителя, можно приступить к выработке приоритетных целей. В этом и заключается предшествующая планированию изделия деятельность производителя, от успеха которой зависят качество и полнота исходной информации о требованиях потребителя, на базе которой (с учетом профиля качества) осуществляется процесс Развертывания Функции Качества, включающий пять ключевых элементов.

2.2. ЭЛЕМЕНТЫ И ИНСТРУМЕНТЫ ФУНКЦИИ КАЧЕСТВА

Первым ключевым элементом QFD является уточнение требований потребителя, который формулирует свои пожелания, как правило, в абстрактной форме, например "экономичный автомобиль" или "удобный стол". Подобные абстрактные требования называют "голосом потребителя" [1].

Задача производителя состоит в том, чтобы с помощью различных методов (личный контакт с потребителем, уточняющие вопросы, обмен мнениями в Кружках Качества и т.п.), преобразовать с помощью первых трех инструментов управления качеством "голос потребителя", представляющий перечень его пожеланий, высказанных в абстрактной форме, в интегральную ценность изделия. Иначе говоря, требуется "голос потребителя" путем кропотливой работы перевести на такой уровень дерева потребительной удовлетворенности, когда эти требования потребителя могут быть поставлены в прямую взаимосвязь с общими характеристиками изделия, т.е. могут быть измерены [1].

Именно в этом заключается главная задача производителя на первой фазе планирования продукта – выпускать продукцию, необходимую потребителю с требуемыми им параметрами качества. Насколько успешно будет решена эта задача, зависит от глубины понимания производителем в первую очередь двух проблем:

- что хочет потребитель получить от продукта;
- как продукт будет использоваться потребителем.

При этом все факторы, выполнение которых нельзя проконтролировать, а следовательно, изменить, должны быть опущены как "факторы шума", уменьшающие возможность создания продукта с требуемыми параметрами качества.

Вторым ключевым элементом QFD является перевод требований потребителя в общие характеристики продукта (параметры качества продукта) [1]. Другими словами, требуется ответить на вопрос "Как сделать?", т.е. как воплотить в жизнь перечень пожеланий потребителя ("Что сделать?"). Например, требование "низкой стоимости при эксплуатации" может быть удовлетворено за счет таких показателей качества, как "расход электроэнергии", "частота отказов", "средний срок службы изделия" и т.п.

Следует заметить, что часть из характеристик продукта, эффективно решая проблему удовлетворения одних ожиданий потребителя влияет также на другие компоненты дерева удовлетворенности потребителя, и иногда даже отрицательно. Однако независимо от этого, задача перевода "что" в "как" должна быть решена с привлечением для этой цели наиболее квалифицированных специалистов. При этом необходимо так выбирать компоненты "как", чтобы, по крайней мере, абсолютное большинство из них было бы измеряемым. Только в этом случае возможно обеспечить достижение поставленной цели и иметь больше возможностей анализировать и оптимизировать каждое требование "что".

Если же большинство "как" окажутся не измеряемыми, то это означает, что детализация "как" проведена недостаточно и необходимо продолжить работу.

Третьим ключевым элементом QFD является выявление тесноты или силы связи между компонентами "что" и "как". Для исследования этой взаимосвязи служат матричные диаграммы связи. Теснота связи зависит от того, насколько существенный вклад вносит та или иная характеристика продукта ("как") в удовлетворение конкретного пожелания потребителя ("что") [1].

Четвертым ключевым элементом в QFD является выбор цели, т.е. выбор таких значений параметров качества создаваемого продукта, которые, по мнению производителя, не только будут соответствовать ожиданиям потребителя, но и обеспечат конкурентоспособность создаваемого продукта в планируемом секторе рынка. Например, целью выпуска новой модели автомобиля может быть снижение расхода топлива по сравнению с предыдущей моделью [1].

Пятым ключевым элементом QFD является установление степени важности компонент "что" и на основе этих данных определение степени важности соответствующих компонент "как" [1].

2.3. ДОМ КАЧЕСТВА И ЭТАПЫ ОТСЛЕЖИВАНИЯ ТРЕБОВАНИЙ ПОТРЕБИТЕЛЯ

Рассмотренные пять ключевых элементов являются фундаментом QFD, от которых в большой степени зависят характеристики конечного продукта, которым воспользуется или не воспользуется, в зависимости от его качества, будущий потребитель. В работе по развертыванию функции качества формы используемых матричных диаграмм напоминают дом, поэтому их часто называют: "домом качества" (Quality House) [1].

Концепция "дома качества" в общем виде проиллюстрирована на рис. 15, где показано назначение различных частей матричной диаграммы.

Корреляционная матрица, похожая по своей форме на крышу дома, заполняется символами, указывающими на положительную или отрицательную корреляционную связь между соответствующими техническими характеристиками продукта с позиций интересов потребителя. Корреляционная матрица позволяет окончательно скорректировать проведенное преобразование "что" в "как".

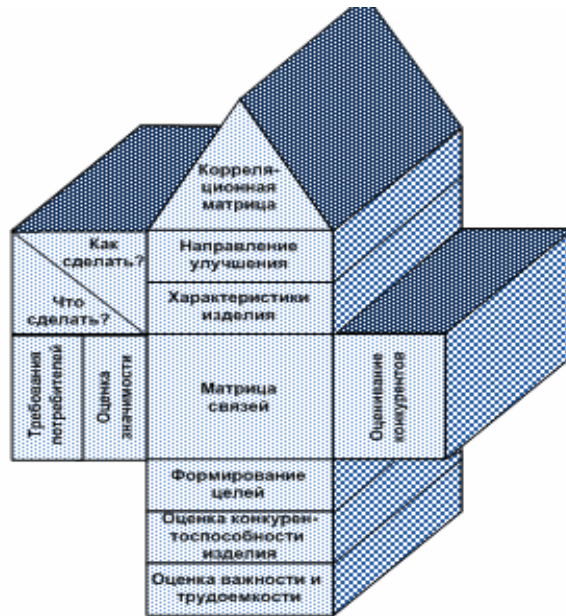


Рис. 15. Составляющие частей "дома качества"

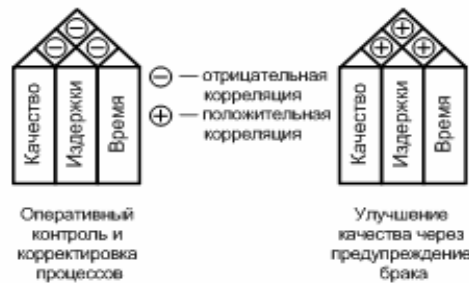


Рис. 16. Основная дилемма качества

Необходимо заметить, что корреляционная матрица позволяет наглядно продемонстрировать новую дилемму качества: не устранять брак, а предупреждать его (см. рис. 16) [1].

Развернутая функция качества включает четыре этапа отслеживания "голоса потребителя" при создании продукта (см. рис. 17), соответствующих ранним этапам его жизненного цикла: планированию и разработке.

Этап 1. Планирование продукта (Product Planning). Производитель в результате своей деятельности на первой фазе определяет и уточняет требования потребителя. Только после этого он переходит ко второй фазе планирования продукта, целями которой являются идентификация требований потребителя, определение возможностей и целей производителя, формирование общих характеристик изделия и выявление вопросов для дальнейшего изучения.

На этом этапе требования и пожелания потребителя с помощью матричной диаграммы трансформируются в характеристики изделия [1]. По окончании преобразования проводится сравнительный анализ трансформированного изделия с аналогичными продуктами предполагаемых конкурентов. Конечный результат – идентификация важнейших характеристик изделия, соответствующих ожиданиям потребителя и обеспечивающих его продвижение на рынке. Этап заканчивается созданием матрицы планирования изделия.

Этап 2. Проектирование изделия или развертывание проекта (Design Deployment) предусматривает реализацию выбранных на предыдущем этапе характеристик продукта при его проектировании. На этом этапе производится идентификация наиболее критичных компонентов создаваемого продукта, обеспечивающих воплощение параметров качества, выявленных в результате выполнения 1-го этапа, в проект изделия. В результате этого этапа должен быть выбран тот проект, который в наибольшей степени отвечает ожидаемым ценностям продукта для потребителя.

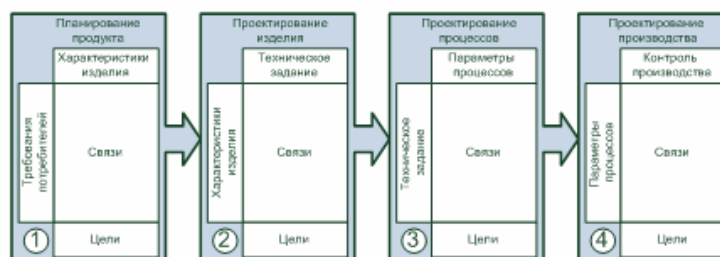


Рис. 17. Этапы развертывания функции качества

Этап 3. Проектирование процесса (Process Planning). На этом этапе свойства спроектированного продукта трансформируются в конкретные технологические операции, обеспечивающие получение продукта с заданными свойствами. Этап предусматривает идентификацию критичных параметров каждой операции и выбор методов их контроля. При разработке технологического процесса изготовления продукта обязательно должна быть разработана система контроля и предусмотрены пути дальнейшего улучшения процесса в соответствии с реакцией рынка на готовый продукт.

Этап 4. Проектирование производства (Production Planning). Здесь предусматривается разработка производственных инструкций и выбор инструментов контроля качества. Инструкции также должны предусматривать возможность совершенствования работы производственного персонала в зависимости от того, каков объем и периодичность контрольных замеров и какие измерительные средства должны при этом применяться.

Следует отметить, что матрица в виде "дома качества" позволяет не только формализовать процедуру установления соответствия и значимости связей между входной информацией и выходными характеристиками создаваемого продукта на каждом этапе развертывания функции качества с учетом пожеланий потребителя, но также принимать обоснованные решения по управлению качеством процессов создания продукта, ожидаемого потребителем [1]. Матричные диаграммы, создаваемые в процессе четырехэтапного развертывания функции качества, позволяют формализовать поиск между концепциями различных уровней системы. При переходе от этапа к этапу "голос потребителя" систематически ниспадает, вначале к проектированию требуемого продукта, затем к соответствующему технологическому процессу его изготовления и контролирующей системе и, наконец, к инструкциям и соответствующим семи инструментам контроля качества, необходимых операторам для выполнения процесса. На каждом этапе QFD создается свой "дом качества", в котором часть компонент "как" предыдущей матричной диаграммы становятся "что" в новой. Именно QFD позволяет воплотить в жизнь концепцию качества ВУК – не исправлять брак, а предупреждать его.

2.4. ВЗАИМОСВЯЗЬ ИНСТРУМЕНТОВ КОНТРОЛЯ И УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ

В настоящее время большое количество инструментов контроля и управления качеством стало доступным для широкого круга людей при анализе и решении возникающих у них проблем [1, 2]. Это касается в том числе, и Развертывания Функции Качества, которую очень часто считают также инструментом качества. Однако QFD является не просто инструментом качества, а наиважнейшим инструментом планирования и разработки выпускаемого на рынок нового продукта или усовершенствования существующего.



Рис. 18. Взаимосвязь QFD с другими инструментами качества

Практическая реализация QFD как наиважнейшего инструмента качества требует применения не только семи инструментов управления, но и семи инструментов контроля качества [1]. Взаимосвязь между QFD и другими инструментами показана на рис. 18.

Требования потребителя (см. рис. 18) должны быть четко определены и измерены, что достигается при использовании диаграммы средства и связей, а также древовидной диаграммы. Развертывание Функции Качества с помощью матричных диаграмм позволяет выделить наиболее важные позиции для их учета в различных стадиях цикла развертывания либо нового продукта, либо процесса его улучшения, что и является целью QFD. Роль QFD в улучшении качества продукта предусматривает применение и других инструментов, позволяющих корректировать результаты QFD. К категории других инструментов можно отнести Функцию Качества Тагучи, проектирование допусков, методы обеспечения и оценки надежности и прочих, помогающих проектировщикам достигнуть или улучшить требуемые уровни параметров качества.

На рис. 19 показана возможная последовательность использования и взаимосвязь семи инструментов управления качеством.

Основной задачей статистического контроля с использованием семи инструментов контроля качества является поддержание стандартного уровня качества выходного продукта, обеспечивающего получение прибыли производителю. Информация, поступающая по обратной связи на QFD, позволяет произвести корректировку при последующем Развертывании Функции Качества.

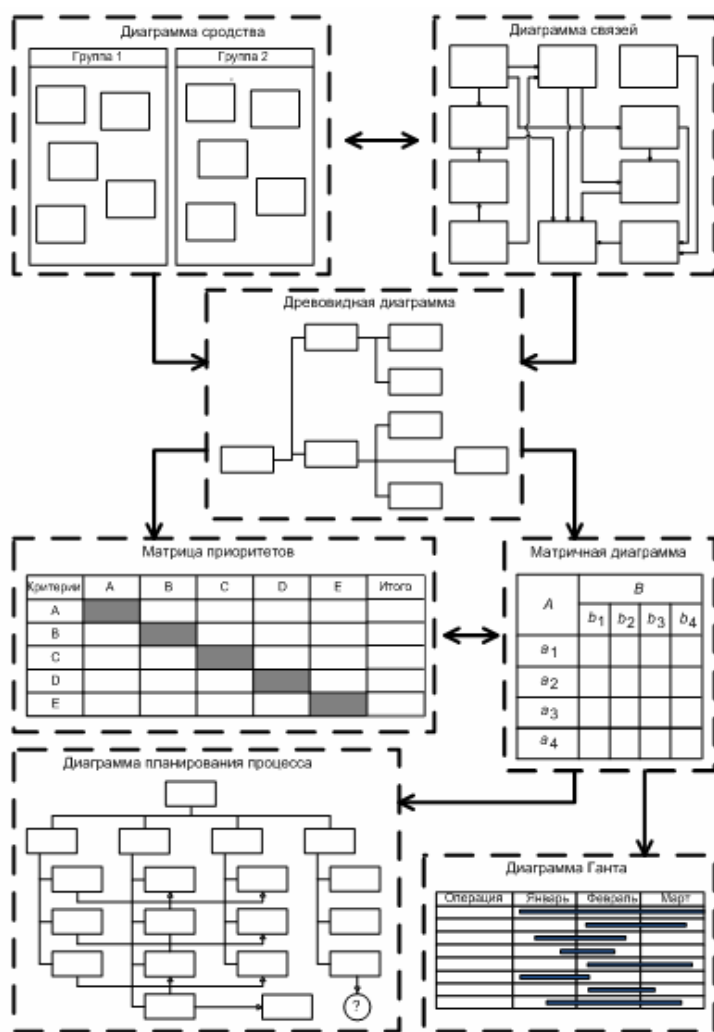


Рис. 19. Взаимосвязь и последовательность применения семи инструментов управления качеством

ВОПРОСЫ ДЛЯ КОНТРОЛЯ

1. Какие ключевые элементы содержит QFD?
2. В чем состоит сущность основных этапов развертывания функции качества?
3. Какие профили качества вам известны?

4. В каком случае "голос потребителя" становится "пожеланием потребителя"?
5. В чем заключается концепция Дома Качества?
6. Как взаимосвязаны две системы инструментов: контроля и управления качеством?

3. Элементы АНАЛИЗА качества технологических процессов производства электронНых средств

3.1. ВЫБОР ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА

Выбор информативных показателей качества технологического процесса требует проведения структурного анализа процесса и определения точек контроля. Контролируемые параметры необходимо классифицировать и упорядочить по их важности для технологического процесса по критерию ценности информации и провести их анализ. Следует заметить, что контролируемые параметры могут характеризовать отдельную операцию, аппаратно-процессную единицу (АПЕ), часть процесса или технологический процесс в целом. Здесь под АПЕ понимается любой основной аппарат в технологической цепочке, в процессе работы которого производится изменение состояния или структуры полуфабриката изделия [3].

В качестве примера на рис. 20 представлена обобщенная структурная схема формирования выходных параметров изделия для технологического процесса его изготовления.

На входе технологического процесса имеются исходное сырье, заготовки, материалы комплектующие, параметры которых можно разделить на: геометрические – определяющие размеры и качество поверхности; физико-химические – определяющие твердость, упругость, микроструктуру, текучесть, прочностные и магнитные свойства, электропроводность и т.п.; химические – характеризующие состав исходного сырья.

Каждая группа параметров изменяется качественно и количественно в ходе технологического процесса с помощью АПЕ, состав и количество которых определяются характером технологического процесса и масштабами производства. Каждая АПЕ преобразует геометрические, электрофизические и химические параметры исходного материала, заготовок, полу- фабрикатов в геометрические параметры деталей

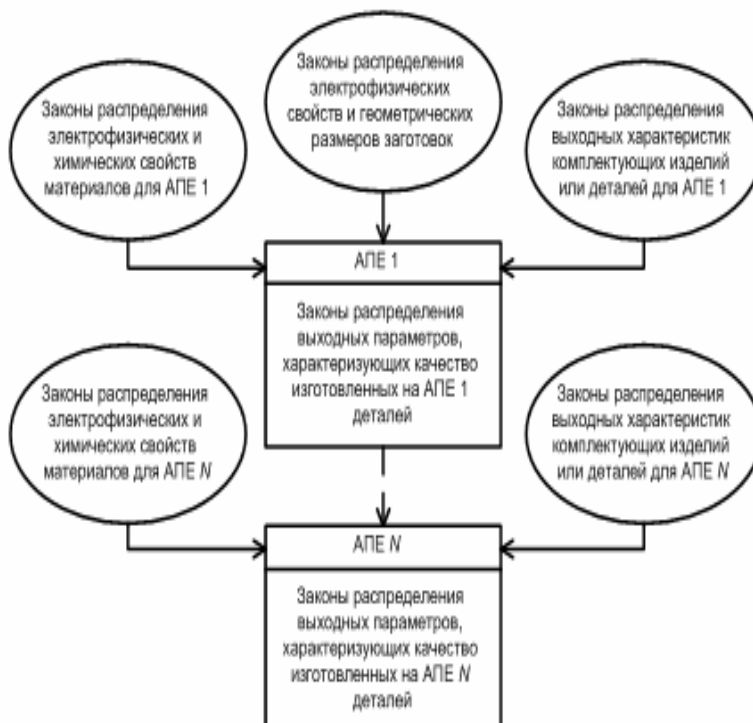


Рис. 20. Структурная схема формирования выходных параметров изделия

. Например, диаметр и длина заготовки преобразуются в размеры отдельных деталей; физико-механические параметры заготовок – в физико-механические параметры деталей; химический состав исходного сырья определяет химический состав материала и т.д. Изменения всех этих параметров описываются определенными законами распределения. Совокупность законов распределения параметров определяет выходные функциональные характеристики деталей, их точность и надежность, а следовательно, и качество в целом.

Технологический процесс, состоящий из операций, выполняемых соответствующими АПЕ, можно характеризовать четырьмя большими группами факторов для заготовительных, обрабатывающих, сборочных и испытательных операций, соответственно [3].

К первой группе относятся входные контролируемые и управляемые параметры $X_3 = \{x_{i3}\}$, $X_O = \{x_{iO}\}$, $X_C = \{x_{iC}\}$ и $X_{II} = \{x_{iII}\}$, $i = 1, \dots, k$, призванные уменьшать погрешности технологического процесса и поддерживать заданные режимы, обеспечивая тем самым получение продукции требуемого уровня качества. Пределы изменения каждого из параметров определяются технологическим регламентом процесса. Однако непосредственно в производстве задаются значением x_i , отвечающим условию $x_{i\min} \leq x_i \leq x_{i\max}$.

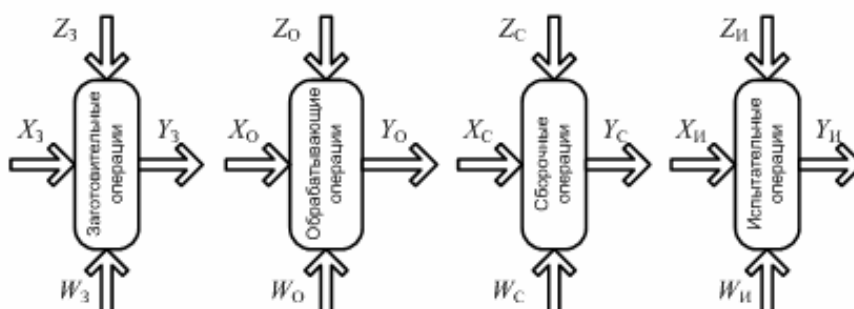


Рис. 21. Модель технологического процесса типа "черный ящик"

Вторая группа состоит из входных контролируемых, но неуправляемых параметров $W_3 = \{w_{i3}\}$, $W_O = \{w_{iO}\}$, $W_C = \{w_{iC}\}$, $W_{II} = \{w_{iII}\}$, $i = 1, \dots, l$, пределы изменения которых определяются также технологическим регламентом процесса и заданными допусками $w_{i\min} \leq w_i \leq w_{i\max}$.

К третьей группе относятся неконтролируемые и неуправляемые параметры качества исходных материалов, деталей и сборочных единиц технологических факторов процесса $Z_3 = \{z_{i3}\}$, $Z_O = \{z_{iO}\}$, $Z_C = \{z_{iC}\}$, $Z_{II} = \{z_{iII}\}$, $i = 1, \dots, m$.

В состав четвертой группы включаются выходные показатели $Y_3 = \{y_{i3}\}$, $Y_O = \{y_{iO}\}$, $Y_C = \{y_{iC}\}$, $Y_{II} = \{y_{iII}\}$, $i = 1, \dots, n$, несущие информацию о качестве полуфабрикатов, деталей и готовых изделий и удовлетворяющие установленным допускам $y_{i\min} \leq y_i \leq y_{i\max}$.

На рис. 21 приведена упрощенная модель технологического процесса изготовления ЭС.

Необходимо заметить, что хотя задача выбора информативных параметров достаточно хорошо разработана теоретически, на практике приходится сталкиваться со многими трудностями, поэтому от качества решения данной задачи напрямую зависит контроль качества технологического процесса.

3.2. КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Для анализа качества технологического процесса разрабатывают так называемую технологическую схему контроля качества, основанную на принципиальной или аппаратно-технологической схеме и дающую полную картину контроля качества технологического процесса [3].

В качестве примера на рис. 22 приведен один из вариантов такой схемы, в которой указаны управляемые и контролируемые входные параметры $\{x_i\}$, $i = 1, \dots, k$, выходные параметры полуфабрикатов, деталей или го-

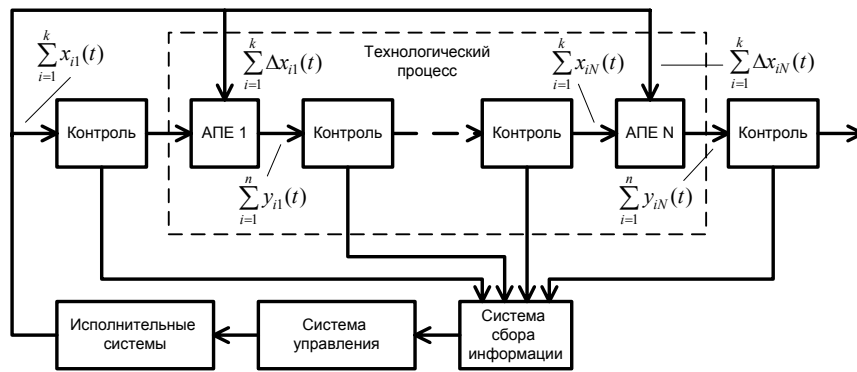


Рис. 22. Технологическая схема контроля качества

того изделия $\{y_i\}$, $i=1, \dots, n$ и управляющие сигналы $\{\Delta x_i\}$, $i=1, \dots, k$, выработанные системой на основании информации, полученной от пунктов контроля при измерении выходных параметров y_i .

В соответствии с рис. 22, информация о параметрах управляющего процесса представляется в виде схемы $\sum_{i=1}^k x_{i1}(t) \rightarrow \sum_{i=1}^n y_{i1}(t) \rightarrow \dots \rightarrow \sum_{i=1}^n y_{iN}(t)$, где t – текущее значение параметра, а стрелками указано направление формирования параметров изделия. Следует заметить, что здесь учтены только управляемые входные факторы $\{x_i\}$, $i=1, \dots, k$. Однако на выходные параметры оказывают влияние также неуправляемые факторы $\{w_i\}$, $i=1, \dots, l$. Поэтому на основании текущих значений, по крайней мере, двух факторов $x_i(t)$ и $w_i(t)$ прогнозируется ожидаемое значение выходного параметра $y_i(t)$. Если значение $y_i(t)$ не соответствует заданному, то вырабатывается управляющее воздействие $\Delta x_i(t)$. В зависимости от величины и знака управляющего сигнала осуществляется изменение входных параметров $\sum_{i=1}^k x_{i1}(t)$ таким образом, чтобы совокупность $x_i(t)$ и $w_i(t)$ определила значение $y_i(t)$, близкое к заданному y_i .

Информация о параметрах y_i воспринимается датчиками, преобразующими идентифицируемые величины в электрический сигнал необходимого вида. Следовательно, метод получения, обработки и отображения информации о качестве технологического процесса производства электронных средств подобен методам получения, преобразования, передачи и отображения информации, реализуемых в любых информационно-измерительных системах. Однако реализация такого метода применительно к технологии производства ЭС имеет следующие особенности [3]:

- трудности преобразования информационного сигнала в управляющий из-за отсутствия достаточных сведений о системе взаимодействия технологических факторов с выходными параметрами качества изделия;
- необходимость адаптации каждой системы контроля и управления к конкретному производству из-за различной структуры и состава информационных потоков, сигналов управления, а также соответствующего математического и аппаратного обеспечения.

3.3. АНАЛИЗ КАЧЕСТВА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПО КРИТЕРИЯМ ТОЧНОСТИ И СТАБИЛЬНОСТИ

Проведение анализа погрешностей параметров качества при изготовлении целого ряда ЭС, в первую очередь микросхем, приводит к выводу, что для стабильного производства распределение этих погрешностей должно быть близко к нормальному закону. Между тем на практике иногда распределения погрешностей отличны от гауссовского закона.

Следует заметить, что во всех случаях отклонение распределений погрешностей параметров качества изделий от нормального закона служит отправной точкой к анализу процессов для отыскания причин отклонения.

Рекомендуется следующий порядок исследования технологического процесса с целью его анализа по критериям точности и стабильности [3].

1. Сбор статистического материала, представляющего собой совокупность наблюдений за параметром качества в течение определенного времени.

2. Обработка собранного материала для получения полных распределений погрешностей параметров качества и построения точностных диаграмм исследуемого процесса.

3. По виду полных распределений, точностных диаграмм и значениям статистических критериев сходимости эмпирических распределений с теоретическими принимается гипотеза о принадлежности исследуемого процесса к определенной схеме возникновения производственных погрешностей.

4. Путем анализа физической сущности исследуемого процесса и дополнительного эксперимента подтверждается принятая гипотеза и определяются факторы, действие которых обуславливает данную схему.

5. Даются рекомендации к изменению технологического процесса для повышения его точности и стабильности.

6. После выполнения разработанных рекомендаций производится сбор и обработка статистического материала для подтверждения эффективности реинжиниринга технологического процесса.

Приведем пример анализа технологического процесса изготовления тонкопленочных резисторов по критериям точности и стабильности [3].

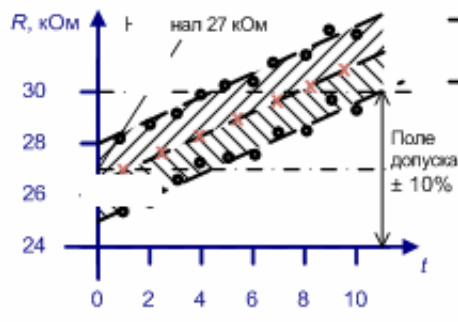


Рис. 23. Точностная диаграмма процесса напыления резисторов:

- — — изменение полей рассеивания ($\pm 3\sigma$) погрешностей сопротивления резисторов;
- x — — изменение центров группирования погрешностей сопротивления резисторов;
- t — номер цикла напыления

Одним из распространенных видов брака в производстве гибридно-пленочных микросхем является отклонение сопротивлений тонкопленочных резисторов от номинала за пределы установленного поля допуска. В ходе предварительного исследования был собран статистический материал, представляющий собой совокупность значений сопротивлений тонкопленочных резисторов, измеренных после каждого цикла напыления в течение большого временного периода. Источником информации служила одна из вакуумных установок технологического участка, а напыление осуществлялось через один комплект биметаллических масок.

Вся совокупность тонкопленочных резисторов, полученных за один цикл напыления, может быть представлена мгновенным распределением погрешностей параметра качества (в данном случае — сопротивления резисторов). Совокупность тонкопленочных резисторов, полученных за несколько циклов напыления, представляет полное распределение погрешностей параметра качества.

На основе обработанного статистического материала была построена эмпирическая точностная диаграмма исследуемого технологического процесса (рис. 23).

Из рассмотрения диаграммы следует, что начиная с четвертого цикла напыления, поле рассеивания погрешностей сопротивления тонкопленочных резисторов выходит за пределы поля допуска, центры группирования погрешностей сопротивления резисторов в мгновенных распределениях практически линейно растут, а поле рассеивания погрешностей сопротивления резисторов в мгновенных распределениях не меняется во времени.

Также были построены и проверены по критерию Пирсона (хи-квадрат) полное распределение погрешностей сопротивления резисторов (см. рис. 24). Проверка показала, что полное распределение по внешнему виду весьма напоминает композицию нормального закона с законом равной вероятности.

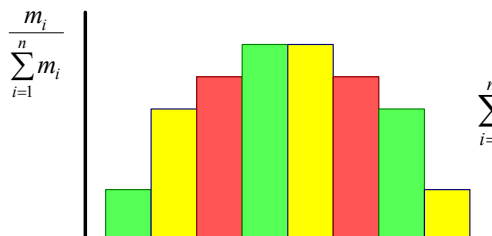


Рис. 24. Гистограмма полного распределения сопротивления резисторов:

m_i – число резисторов в соответствующем интервале;

$$\sum_{i=1}^n m_i \text{ – общее число резисторов}$$

0,4

Следовательно, в данном случае имеется вполне определенная теоретическая схема возникновения погрешностей, а именно схема суммы, в которую кроме большого числа случайных погрешностей входит одно или несколько неслучайных.

Зная физическую сущность технологического процесса, можно сделать следующее заключение. Наличие неслучайных слагаемых погрешностей, значения которых меняются во времени, связано с систематической невоспроизводимостью линейных размеров тонкопленочных резисторов в процессе напыления от цикла к циклу.

ВОПРОСЫ ДЛЯ КОНТРОЛЯ

1. Что понимают под термином "показатель качества"?
2. Каким образом осуществляют выбор информативных показателей качества?
3. Как проводится контроль качества технологического процесса?
4. Какие основные элементы составляют анализ технологического процесса по критериям точности и стабильности?

4. Операционный, функциональный

и параметрический контроль качества

Электронных средств

4.1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ ОБ ОПЕРАЦИОННОМ КОНТРОЛЕ

В соответствии с принципами ВУК, на этапе разработки ЭС закладывается определенный уровень их качества, а на этапе производства осуществляется реализация этого уровня. Соответствие изготавливаемых ЭС необходимому уровню качества во многом зависит от полноты и достоверности информации, получаемой в результате операционного контроля технологического процесса их изготовления.

Операционный контроль позволяет выявить брак уже на ранних стадиях изготовления ЭС, обеспечить устранение некоторых причин появления этого брака и тем самым обеспечить эффективность производственного процесса. При помощи операционного контроля выявляют отклонения режимов технологической операции, свойств исходных материалов, свойств окружающей среды, определяют ошибки операторов и параметры настройки технологического оборудования.

По применяемым средствам операционный контроль подразделяется на измерительный, регистрационный (когда измерительные параметры регистрируются), органолептический контроль и технический осмотр.

Широкое применение в производстве ЭС находит органолептический контроль, при котором первичная информация воспринимается органами чувств человека. Органолептический контроль обеспечивает получение не представленной в числовом выражении информации. Решение относительно объекта контроля принимается в этом случае только по результатам анализа чувственных восприятий (например, по цветовым оттенкам, форме и цвету дефектов изделий и т.д.). При органолептическом контроле могут применяться средства контроля, не являющиеся измерительными, но увеличивающие разрешающую способность или восприимчивость органов чувств.

Органолептический контроль составляет большой объем при контроле качества ЭС. Трудоемкость операций органолептического контроля составляла 25 % от трудоемкости всех контрольных операций. Например, до 30 % затрат на производство печатных плат приходится на органолептический контроль и тратится до 30 % общего технологического времени.

Органолептический контроль, осуществляемый органами зрения, называют визуальным контролем. В США, например, визуально проверяется до 78 % печатных плат. Однако достоверность визуального контроля, осуществляемая оператором, зависит от многих субъективных факторов и составляет 60...65 % [3].

С ростом степени интеграции современных ЭС соответственно возрастают требования к визуальному контролю. Возникает необходимость осуществления 100 %-ного визуального контроля с высокой степенью достоверности, что невозможно реализовать на практике без применения автоматических систем.

Все методы органолептического анализа оперируют с качественными показателями изделий и позволяют дать ответ на вопрос, годно изделие или нет. Однако для автоматизации визуального контроля необходимо качественные показатели оценить количественно. Для этого используются системы технического зрения (СТЗ). Идея использования автоматических систем визуального контроля качества продукции (в частности, печатных плат) возникла еще в 60-е годы, однако только с

широким распространением средств вычислительной техники стало возможным реальное внедрение в операционный контроль СТЗ, имеющих много преимуществ, как перед электронными средствами контроля, так и перед зрительной проверкой, выполняемой человеком [3, 4]. Это и возможность неконтактного считывания, высокое быстродействие и точность контроля; способность видеть в малых или ограниченных областях спектра и др.

Процессы операционного контроля в производстве ЭС характеризуются рядом особенностей [3]. К ним относятся:

- широкое многообразие применяемых методов и технических средств;
- рост относительной трудоемкости доли контрольных операций в общей доле трудоемкости технологического процесса изготовления ЭС;
- постепенная замена процессов контроля продукции на процессы контроля технологических процессов.

Многообразие средств контроля вытекает из широкой номенклатуры объектов производства ЭС и роста конструктивной сложности этих изделий. Объектами современного производства ЭС являются ИМС, БИС и СБИС частного применения, пассивные компоненты ЭС, микросборки, функциональные узлы, блоки цифроаналоговых ЭС, а также ЭС СВЧ-диа-

пазона. В производстве ЭС используется широкий набор различных комплектующих изделий, включая изделия элементной базы – ИС, БИС и СБИС. Современное производство ЭС – это производство, использующее различные варианты технологий создания полупроводниковых и пленочных микросхем, технологию печатного монтажа, технологии процессов сборки, включая процессы герметизации. Разнообразие конструктивно-технологических вариантов изделий ЭС требует применения в производстве широкой номенклатуры как методов контроля изделий, так и методов контроля технологии их изготовления.

При операционном контроле продукции применяют широкий спектр методов, как правило, неразрушающего контроля. Это оптические, рентгенографические, тепловые методы, методы электронной микроскопии, электрических измерений и т.д., которые используют, в частности, при операционном контроле технологических процессов изготовления печатных плат, микросхем и микросборок.

4.2. ПРИМЕНЕНИЕ ТЕСТОВЫХ СТРУКТУР ПРИ ОПЕРАЦИОННОМ КОНТРОЛЕ

При операционном контроле технологического процесса изготовления изделий микроэлектроники широкое применение нашли тестовые схемы, состоящие из тестовых структур [3].

Тестовая структура представляет собой совокупность определенным образом спроектированных и соединенных элементов (резисторов, конденсаторов, транзисторов, проводников и т.д.), изготавливаемых совместно с реальными изделиями по анализируемому технологическому процессу и предназначенных для определения погрешностей формирования геометрических размеров и физических характеристик, а также характеристик дефектности физической структуры реального изделия.

Тестовая схема (ТС) представляет собой совокупность тестовых структур, число которых обеспечивает получение параметров распределений погрешностей формирования геометрических размеров, физических характеристик, характеристик привносимой дефектности с заданной точностью при определенной доверительной вероятности, а набор элементов адекватно отражает физическую структуру реального изделия, изготавливаемого по анализируемому технологическому процессу.

Статистические методы операционного контроля технологического процесса обеспечивают получение таких параметров процесса, как точность и стабильность, для оценки которых требуется статистически значимая информация. Поэтому методы, обеспечивающие получение такой информации, должны характеризоваться высокой производительностью измерения и обработки результатов. Этим требованиям отвечает метод статистического анализа технологического процесса, основанный на применении тестовых схем [3, 5]. ТС состоит из совокупности элементов, не входящих в состав рабочих элементов изделия и предназначенных для получения информации, обеспечивающей расчет характеристик качества технологического процесса или критерия годности реального изделия, расположенного на той же подложке. Таким образом, специальная конструкция и определенная комбинация элементов, составляющих ТС, позволяют использовать ее в качестве инструмента получения нужной информации. Широкое применение ТС как источника информации о качестве изготовления изделий микроэлектроники обусловлено групповым характером обработки изделий на большинстве операций технологического процесса. Вследствие этого сильно коррелирована погрешность геометрических размеров на элементах ТС и элементах реальной схемы, изготовленных в одном цикле (в партии на подложке или в групповой партии). Высокая коррелированность погрешностей формирования геометрических размеров и дефектности при одновременном изготовлении тестовых схем и реальных изделий позволила использовать тестовые схемы для получения информации о свойствах технологического процесса и одновременно о качестве изготавливаемых изделий. Так как тестовая схема проектируется специально для получения такой информации и имеет унифицированную для данного конструкторско-технологического варианта конструкцию, то процесс измерения и обработки результатов измерений производят с применением автоматизированных систем.

При проектировании ТС для анализа технологического процесса осуществляют:

- определение содержания и формы представления получаемой информации;
- выбор метода измерения параметров элементов ТС, измерительного оборудования и режима измерения;
- определение номенклатуры тестовых элементов;
- разработку конструкции каждого тестового элемента;
- определение числа однотипных элементов в ТС;
- выбор способа размещения и соединения элементов, геометрии и мест расположения контактных площадок.

При проектировании тестовых схем необходимо учитывать, что выходной информацией, получаемой как результат измерения и математической обработки результатов измерения, является совокупность статистических данных: моменты распределений параметров физической структуры, функциональных элементов, характеристик дефектности.

Так как контроль технологического процесса с использованием тестовых схем возможен только с применением автоматизированных систем измерения, то предпочтение отдается конструкциям тестовых элементов, характеризующихся электрически измеряемыми параметрами, по которым расчетным путем и должна быть получена необходимая выходная информация. Основными требованиями, предъявляемыми к измерительному оборудованию, являются возможность измерения электрических параметров тестовых элементов в автоматическом режиме и наличие в своем составе ЭВМ, не только управляющую процессом измерения, но и проводящую обработку измеренных результатов по специально разработанным программам.

4.3. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ФУНКЦИОНАЛЬНОМ И ПАРАМЕТРИЧЕСКОМ КОНТРОЛЕ

С учетом роста стоимости современных электронных средств первостепенное значение при контроле качества приобретает параметрический и функциональный контроль ЭС на различных этапах их жизненного цикла. Эти виды контроля осуществляются с помощью специальных тестов.

Функциональный контроль определяет качество функционирования ЭС в соответствии с логикой его работы, ориентирован на обнаружение постоянных неисправностей и является основным видом контроля при производстве и эксплуатации ЭС, в том числе при ремонте. Тесты функционального контроля достаточно компактны, время проверки ЭС невелико, так как не требуется проводить дорогостоящие измерения, необходимые при параметрическом контроле [3].

Параметрический контроль предназначен для проверки соответствия электрических параметров ЭС техническим требованиям и, в свою очередь, подразделяется на статический и динамический. Статический предназначен для контроля статических электрических параметров (например, контроль допустимых значений амплитуды выходного сигнала, значений входных токов, тока потребления и т.д.), а динамический – для контролирования временных характеристик электрических сигналов (например, времени задержки сигнала или длительности его фронта). В отличие от функционального контроля параметрический контроль связан с точными измерениями амплитуды сигнала, значений входных токов, времени задержки, длительности фронта сигнала и т.д., что приводит к существенным временным затратам и использованию дорогостоящего оборудования. Основным назначением параметрического контроля является отработка технологического процесса, контроль в процессе производства и выборочный входной контроль [3].

Для обеспечения эффективного применения функционального и параметрического контроля, необходимо наличие тестопригодного изделия. Это требование должно выполняться в процессе проектирования ЭС.

Тестопригодным называют ЭС, для каждой неисправности которого существует по крайней мере один тестовый набор, с помощью которого эта неисправность выявляется, а время построения тестов не превышает установленных временных и (или) ресурсных затрат при построении тестов.

Здесь под тестом понимают множество тестовых наборов, предназначенных для контроля качества ЭС, а тестовый набор представляет собой набор стандартных сигналов, соответствующих логическому нулю или единице на входе ЭС (входной набор), и ожидаемый набор стандартных сигналов на его выходе (выходной набор), соответствующий входному набору и логике функционирования проверяемого ЭС [3].

Выполнение условий тестопригодности при проектировании ЭС существенно сокращает время и упрощает получение необходимых тестовых наборов для выявления неисправностей заданных классов.

4.4. ТЕСТЫ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА

Построение тестов функционального контроля проводится для определенного класса неисправностей. Однако при реальном тестировании ЭС не всегда необходимо строить тесты для логических схем, представленных на уровне логических элементов И, ИЛИ, НЕ, когда рассматривается множество неисправностей всех входов и выходов. Можно рассматривать множество неисправностей, отнесенных к входам и выходам конструктивных элементов. В этом случае тест строится только для данного множества неисправностей, а его построение чаще всего требует меньше времени и имеет меньшее количество тестовых наборов.

Для построения тестов функционального контроля наибольшее распространение получили алгоритм случайного поиска и D-алгоритм [3].

Алгоритм случайного поиска предполагает выполнение следующих этапов.

1. С помощью генератора псевдослучайных чисел формируется входной набор и подается на вход логической модели.
2. Моделируется исправное состояние схемы и $N - N_{\text{обн}}$ неисправных состояний схемы, здесь N – общее число всех неисправностей, а $N_{\text{обн}}$ – количество неисправностей, обнаруженных тестом. На первом шаге $N_{\text{обн}} = 0$, поэтому моделируются все неисправности. Если состояние хотя бы одного выхода исправной схемы отличается от состояния схемы с заданной неисправностью, то эта неисправность считается обнаруженной. Все обнаруженные неисправности заносятся в специальный список.

3. Проверяется эффективность тестового набора \mathcal{E}_i . Если $\mathcal{E}_i \geq B$, где B – заданное количество обнаруженных неисправностей для включения тестового набора в тест, то набор включается в тест, при этом изменяются списки обнаруженных и необнаруженных неисправностей и осуществляется переход к п. 4 алгоритма. В противном случае, т.е. при $\mathcal{E}_i \leq B$, производится запись номера тестового набора в таблицу не включенных в тест наборов и осуществляется возврат на п. 1.

4. Производится проверка эффективности последних K тестовых наборов (здесь K – константа), для чего сравнивают их номера в таблице не включенных в тест тестовых наборов. Если номера идут подряд, т.е. последние K тестовых наборов были неэффективны, то переходят к п. 5; иначе – к п. 6.

5. Осуществляется изменение процесса генерации входных наборов (изменение начальной установки генератора, принципа генерации и т.д.).

6. Производится проверка обнаружения всех неисправностей ($N = N_{\text{обн}}$).

7. Выполняется проверка временного критерия. Если время работы алгоритма $T \leq T_1$, где T_1 – заданный временной интервал работы алгоритма случайного поиска, то осуществляется возврат к п. 1, если нет, то работа алгоритма завершается.

Таким образом, результатом работы алгоритма случайного поиска является тест функционального контроля и список необнаруженных неисправностей.

Дальнейшее построение тестовых наборов при наличии такого списка производится при помощи детерминированных алгоритмов. Детерминированные алгоритмы обеспечивают получение тестов с большей полнотой, чем алгоритмы случайного поиска, однако выполняются значительно медленнее. Наиболее широко в качестве таких алгоритмов применяют модификации D-алгоритма.

Математический аппарат, применяемый в D-алгоритме, основанный на понятии логических кубов и правил действий над ними, подробно рассмотрен в [3]. Сущность алгоритма заключается в реализации идеи активизации пути, которая состоит в том, что на выходе неисправного элемента должно изменяться значение сигнала как свидетельство наличия неисправности. Этот сигнал должен быть передан по цепочке последовательно соединенных логических элементов, составляющих так называемый активизированный путь, на какой-либо выход схемы; в результате значения сигналов на этом выходе у исправной и неисправной схем будут различными.

С помощью D-алгоритма находят такой входной набор, который для заданной неисправности выявляет в логической схеме активизированный путь и обеспечивает изменение сигналов на входах и выходах элементов по всему активизированному пути от исправного элемента до выхода схемы.

Следует заметить, что целесообразно совместное использование алгоритма случайного поиска и детерминированных алгоритмов. В этом случае на начальном этапе построения теста используется случайный поиск, а после снижения его эффективности применяется детерминированный алгоритм.

4.5. ТЕСТЫ ПАРАМЕТРИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА

Необходимость параметрического контроля качества ЭС обусловлена рядом причин. Основными из них являются следующие [3].

1. При производстве ЭС нано- и пикосекундного диапазона, в которых задержки распространения сигналов в связях становятся соизмеримыми с задержками распространения на элементах, а иногда и превышают их, предъявляются повышенные требования к точности технологического процесса. Малейшие отклонения от норм приводят к недопустимым изменениям электрических и динамических характеристик ЭС. Во-первых, увеличению доли физических дефектов, которые не могут адекватно моделироваться классами постоянных логических неисправностей. Во-вторых, обнаружение дефектов, связанных с качеством технологии производства, предъявляет свои требования к процессу генерации тестов и не может быть сведено только к пассивному измерению значений параметров на тестовых последовательностях, ориентированных на другой класс неисправностей.

2. Некоторые виды физических дефектов приводят к появлению неустойчивого логического уровня сигнала (в одних случаях сигнал определяется как логический ноль, а в других – как логическая единица). Естественно, такие дефекты могут быть не обнаружены тестами, ориентированными на класс устойчивых логических неисправностей. Некоторые из такого рода физических дефектов обнаруживаются тестами параметрического контроля. Другими словами, параметрический контроль позволяет расширить область обнаруживаемых неустойчивых неисправностей.

3. Информация о разбросе действительных электрических и динамических характеристик позволяет корректно организовывать некоторые контрольные эксперименты, например, с заданием не нормируемых, а изменяющихся в пределах допуска значений входных сигналов (допусковый контроль).

4. Информация о действительных электрических и динамических характеристиках необходима для оценки качества выпускаемой продукции в текущий момент времени.

Следовательно, современный этап развития технологии производства ЭС требует внедрения не только тестов функционального, но и тестов параметрического контроля.

Для формализации процесса получения тестов параметрического контроля необходима математическая модель. Это может быть, например, динамическая модель в виде системы дифференциальных уравнений, позволяющая детально рассматривать динамику изменения этих параметров. Однако использование такого рода моделей чрезвычайно сложно для указанных выше объектов контроля, а получаемая от них информация является избыточной для поставленных целей.

В этих случаях используются аналитические и структурные модели, построенные на основании различного рода зависимостей, в качестве которых используются, например, зависимости, описывающие величину задержки сигнала, максимальных токов потребления схемы и выходного сигнала, формирования напряжения на выходе устройства и др. [3].

Зависимости, представляющие суммирование токов и ориентированные на проверку помехозащищенности, могут служить для обнаружения коротких замыканий и обрывов входной периферии, а также выявления неисправности элементов входного уровня, работающих непосредственно от входов проверяемого ЭС. Контроль этих параметров полезен при отсутствии тестов, ориентированных на обнаружение неисправностей типа "короткое замыкание связей", "короткое замыкание элементов", так как позволяет обнаружить наиболее вероятные из дефектов технологического процесса.

Тесты для порогового значения входного сигнала, основанные на зависимостях, полученных в предположении существования активизированного пути "j-й вход схемы – i-й выход", позволяют диагностировать дефекты, связанные с потерей стабилизирующих свойств элемента, и дефекты связей, влияющие на уровни напряжения (сопротивления проводников, превышающие значения, определяемые стабилизирующими свойствами элементов).

Необходимо заметить, что выбор моделей должен учитывать поставленные задачи, технологию производства и состав средств моделирования.

Построение измерительных тестов параметрического контроля предъявляет более жесткие требования к алгоритмам генерации тестовых наборов, чем построение тестов для функционального контроля.

Такой алгоритм должен не только удовлетворять всем условиям построения тестов для константных неисправностей, но и также обеспечивать следующие основные требования:

- активизацию любого пути в схеме;
- подачу перепада на входе активизируемого пути (изменение логического значения сигнала на входе с единицы на нуль или с нуля на единицу) при условии постоянного значения сигналов на других входах;
- блокировку параллельного распространения перепада логических значений по путям со сходящимися разветвлениями.

Обеспечение этих требований осуществляется при помощи программ построения тестов параметрического контроля, входящих в состав системы автоматизированного построения тестов.

4.6. ОЦЕНКА ТЕСТОПРИГОДНОСТИ ЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ

Разработка теста для ЭС, как правило, начинается с априорной оценки трудоемкости построения теста для данного электронного средства. Для этого существует целый ряд методов, на основании которых может быть дана такая количественная оценка – тестопригодность, позволяющая обратить внимание разработчика на те составные части ЭС, которые имеют наименьшие показатели тестопригодности с целью внесения изменений в проектируемое средство и, как следствие, упрощения процедуры построения тестов.

Процедура построения тестов состоит из двух основных частей: обеспечения на входах логической схемы ЭС значений, необходимых для обнаружения неисправности, и обеспечения наблюдения реакции схемы с данной неисправностью на ее выходах. Оценка трудоемкости первой части соответствует значению "управляемости", а второй – значению "наблюдаемости" для данного элемента схемы. На основании значений управляемости и наблюдаемости и рассчитывается тестопригодность схемы [3, 6].

Первый показатель тестопригодности – управляемость, может принимать значение от 0 до 1. Максимальное значение имеет вход схемы, где легко установить как логическую 1, так и логический 0. Другое предельное значение управляемости – логический 0, имеет элемент, вход которого не может быть установлен в одно из двух возможных состояний, например заземленный вход. Практически значения управляемости большинства элементов лежат между этими двумя границами.

Если входы логической схемы управляются непосредственно, то управляемость его выходов должна просто отражать меру способности устройства к установке на каждом выходе 0 или 1, что определяется логикой работы схемы. Однако в общем случае управляемость выходов не 100 %-ная. Поэтому управляемость выходов должна учитывать как способность к передаче логических значений через элемент, так и значения управляемости на его входах, и выражение, используемое для вычисления значений управляемости для каждого выхода, имеет вид

$$C_{\text{вых}} = K_c f(C_{\text{вх}}).$$

Здесь K_c – коэффициент передачи управляемости элемента, связанный с этим выходом, а $f(C_{\text{вх}})$ зависит от значений управляемости всех входов, которые управляют рассматриваемым выходом.

Заметим, что коэффициент K_c выхода является мерой, характеризующей степень различия способности элемента генерировать на данном выходе значение логической 1 от способности генерировать значение 0. Этот коэффициент зависит только от логической функции, реализуемой элементом, и не зависит от места его расположения в схеме. Значение функции $f(C_{\text{вх}})$ определяется как среднее арифметическое значение управляемости на входах элемента. Если вход может быть непосредственно установлен в 1, то $f(C_{\text{вх}}) = 1$ и, соответственно, $C_{\text{вых}} = K_c$.

Рассмотрим теперь второй показатель тестопригодности – наблюдаемость. Для элемента логической схемы определяется как мера, характеризующая способность к передаче информации о логическом состоянии данного элемента на один или несколько выходов схемы. Это означает, что наблюдаемость входа схемы равна 1, и это значение уменьшается по мере продвижения сигналов вдоль активизированного пути. Однако в общем случае процесс распространения информации о неисправности зависит как от условия активизации определенного входа, так и от условия установки фиксированных значений на некоторых или всех других входах, позволяющих активизировать путь к определенному выходу. Следовательно, наблюдаемость на выходе

$$V_{\text{вых}} = K_v V_{\text{вх}} f(C_{\text{вх}}),$$

где K_v – коэффициент передачи наблюдаемости.

Коэффициент K_v является количественной мерой, характеризующей уменьшение значения наблюдаемости элемента по мере продвижении к выходу вдоль активизированного пути при условии, что другие элементы схемы управляемы. Этот коэффициент определяет способность схемы передавать изменения логического состояния одного входа на определенный выход. Коэффициент передачи наблюдаемости от входа элемента к его выходу должен быть равен 0, если не существует пути транспортировки неисправности между этими двумя точками. С другой стороны, $K_v = 1$, если транспортировка осуществляется всегда независимо от состояний активизирующих входов. Однако в действительности величина K_v находится между этими двумя предельными значениями.

Определив понятия управляемости и наблюдаемости и способы их определения, рассмотрим меру тестопригодности (Т) элемента и всего ЭС в целом [3]. Для каждого элемента имеем соотношение $T = CV$.

При этом удовлетворяются следующие условия:

$T = 0$, если либо $C = 0$, либо $V = 0$;

$T = 1$, если и $C = 1$, и $V = 1$;

$0 < T < 1$ при $0 < C < 1$ и $0 < V < 1$.

Например, если элемент имеет значение управляемости $C = 0,5$ и наблюдаемости $V = 0,5$, то его тестопригодность можно оценить как $T = 0,25$.

Общий показатель тестопригодности для всей ЭС определяется как мера средней трудоемкости получения теста для каждого элемента, а следовательно, эта мера является средним арифметическим значением тестопригодности всех элементов

ЭС: $T_{ЭС} = \sum_{i=1}^n T_i / N$, где N – количество элементов ЭС.

4.7. АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ ПОСТРОЕНИЯ ТЕСТОВ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ

В настоящее время тесты для различных видов контроля качества ЭС разрабатываются, в основном, с помощью систем автоматизированного проектирования (САПР), в которых имеются специальные независимые подсистемы автоматизированного построения тестов, использующие информацию о логических схемах ЭС и электрических характеристиках элементов ЭС, хранящуюся в базе данных САПР. В состав таких САПР, кроме того, входят программы, с помощью которых возможно определить тестопригодность ЭС.

Блок-схема автоматизированной системы построения тестов, приведенная на рис. 25, является общей для функционального и параметрического контроля качества ЭС. Рассмотрим ее основные элементы [3].

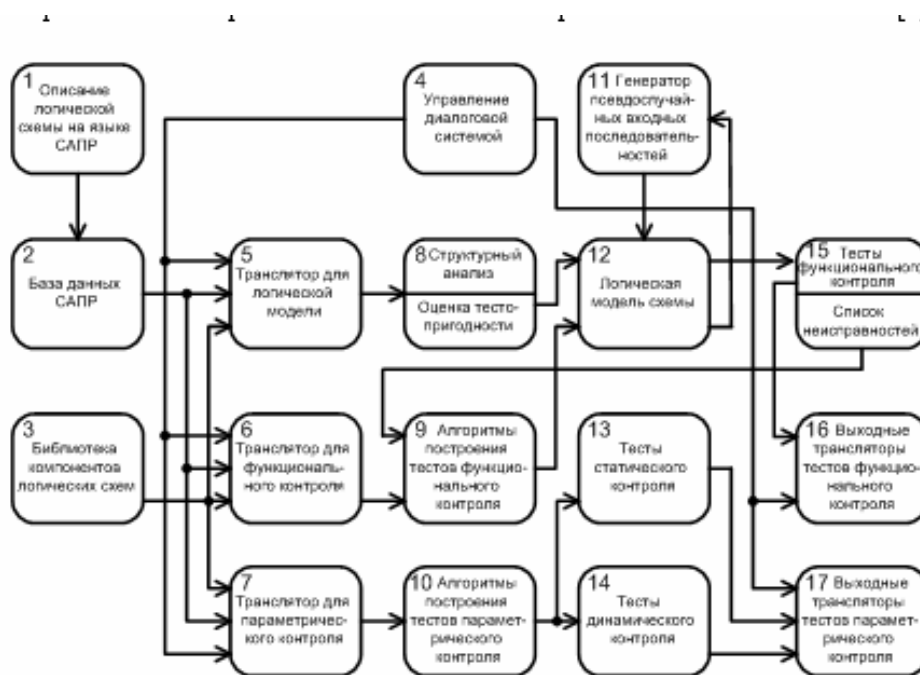


Рис. 25. Структура автоматизированной системы построения тестов

Блок 1 предназначен для трансляции описания логической схемы рассматриваемого ЭС на языке САПР и передачи в базу данных (блок 2), где хранится информация о всех логических схемах ЭС. Блок 3 представляет библиотеку логических элементов, соответствующих разработанным и выпускаемым интегральным микросхемам, типовым элементам замены, модулям и другим элементам с описанием их логических схем и физических характеристик.

Управление (блок 4) осуществляется через диалоговую систему, основным назначением которой являются задание режимов работы системы построения тестов, отображение и анализ информации о результатах работы, ввод исходных данных и анализ проектируемых тестов, а также внесение необходимых изменений в тестируемые ЭС.

Преобразование входной информации о тестируемом ЭС и представление ее в удобной для последующей работы системы форме выполняется тремя трансляторами. Транслятор для логической модели (блок 5) подготавливает информацию для блока 8 структурного анализа логической схемы ЭС. Этот блок на рис. 25 выделен отдельно, но он тесно связан с блоком 12 "логическая модель схемы". Кроме того, информация о структуре ЭС и его элементах может быть использована также для

количественных оценок тестопригодности ЭС. Получение такой информации позволяет разработчику проанализировать и при необходимости изменить принципиальную схему тестируемого ЭС.

Наиболее быстрым методом построения тестов функционального контроля является формирование входных последовательностей генератором псевдослучайных чисел алгоритмом случайного поиска. Такие последовательности подаются на вход логической модели, где проверяется их корректность и их тестовая способность к обнаружению дефектов, имеющих на данном шаге в списке необнаруженных неисправностей (блоки 11, 12), после чего формируется тестовый набор.

Тестовый набор заносится в список тестов функционального контроля, а список необнаруженных неисправностей корректируется – исключаются обнаруженные тестовым набором неисправности (блок 15). Получение тестов с помощью алгоритма случайного поиска прекращается по любому из критериев, введенных в систему построения тестов – времени работы или числу обнаруженных неисправностей на n-м шаге. В дальнейшем, если в списке неисправностей остались необнаруженные дефекты, через управление системой запускаются алгоритмы построения тестов функционального контроля (блок 9, в который из блока 15 передается список необнаруженных неисправностей). В результате формируется для данной неисправности тестовый набор, передаваемый в блок 15.

Для построения тестов параметрического контроля требуется получить специальную информацию из базы данных САПР. Это осуществляется с помощью специального транслятора (блок 7) для программ построения тестов параметрического контроля. Алгоритмы построения тестов параметрического контроля (блок 10) тесно связаны с детерминированными алгоритмами, так как в обоих случаях необходимо иметь так называемый "активизированный путь" от входа до выхода схемы. Результатом работы этих алгоритмов являются тесты статического и тесты динамического контроля (блоки 13 и 14). Построенные тесты подаются на выходные трансляторы (блоки 16 и 17), которые преобразуют их в команды тестеров.

Следует отметить, что для каждого вида контроля необходим тестер со своим набором функций. Общей частью для всех тестеров являются коммутирующее устройство, в которое помещается проверяемое ЭС, и устройство управления.

Динамический контроль, связанный с измерением времени задержек и фронтов, требует применения специальных тестеров. Методы измерения этих параметров отличаются от методов, используемых при статическом контроле. Кроме того, высокие требования предъявляются к коммутирующим устройствам, поэтому тестеры динамического контроля проектируют и производят отдельно от тестеров других видов контроля.

ВОПРОСЫ ДЛЯ КОНТРОЛЯ

1. Для чего проводится операционный контроль качества ЭС?
 2. Что представляет собой тестовая структура и тестовая схема?
 3. Какие основные алгоритмы используются при построении тестов функционального контроля качества?
 4. Чем обусловлена необходимость применения параметрического контроля?
 5. Какой смысл заложен в понятие "тестопригодность ЭС"?
 6. Что представляет собой управляемость и наблюдаемость?
 7. В чем состоит назначение и какова сфера применения автоматизированных систем построения тестов?
5. Международные стандарты В ОБЛАСТИ КАЧЕСТВА

5.1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Разработчик этих стандартов – всемирная федерация национальных органов по стандартизации – комитетов-членов Международной организации по стандартизации (The International Organisation for Standardization – ISO), основанная в 1947 г., членами которой к 1996 г. были 119 национальных организаций. Комитетом-членом ISO от России является Госстандарт РФ [1, 7].

Основная цель ISO – международная координация работ по стандартизации и унификации промышленных стандартов.

В сферу деятельности ISO входят все области стандартизации, за исключением электротехники и электроники, что по соглашению является сферой деятельности Международной электротехнической комиссии (IEC – МЭК). Результаты технической деятельности ISO публикуются в форме международных стандартов.

Разработка стандартов осуществляется техническими комитетами. Проекты стандартов, утвержденные техническими комитетами, рассылаются комитетам-членам на голосование. Для публикации в качестве международного стандарта требуется одобрение не менее 75 % комитетов-членов, принимающих участие в голосовании.

5.2. СТАНДАРТЫ ISO 9000

Разработка стандартов ISO серии 9000 проводилась техническим комитетом ISO/TK 176 "Общее руководство качеством и обеспечение качества".

Разработка стандартов ISO 9000 проводилась с участием специалистов в области качества на основе национальных стандартов по управлению качеством. Эти стандарты использовались сначала в связи с высокими требованиями к качеству военной техники, а затем стали применяться и при изготовлении гражданской продукции.

В Великобритании таким стандартом был стандарт BS-5750, который лег в основу стандартов ISO 9000. Эти стандарты были выпущены совместно со стандартом ISO 8402 – "Качество". После выхода в свет стандарты ISO 9000 были приняты как Европейские нормы EN 29000, а также как национальные стандарты во многих странах для использования при создании и оценке систем качества на предприятиях.

По результатам практического применения этих стандартов была организована их ревизия, и в 1994 г. Международной организацией по стандартизации было выпущено второе издание стандартов. Была пересмотрена и терминология ISO 8402.

В результате ревизии серия ISO 9000 расширилась за счет распространения ее требований на четыре категории продукции: технические и программные средства, перерабатываемые материалы и услуги. В них было включено изложение основ современных систем качества, а также более подробно изложена роль стандартов при оценке систем качества.

В новую версию стандартов включены также четыре ключевых аспекта качества, обусловленных:

- определением спроса на продукцию;
- проектированием продукции;
- соответствием продукции проекту;
- материально-техническим обеспечением продукции на протяжении ее жизненного цикла.

В настоящее время ISO 9000 вместе с ISO серии 10000 и ISO 8402 называют "семейством" стандартов ISO серии 9000.

Основное содержание ISO 9000 составляют рекомендации, содержащие виды деятельности (функции, элементы системы качества), которые целесообразно внедрить на предприятиях, чтобы организовать эффективную работу по качеству [1, 7].

Новая серия ISO 9000 включает в себя стандарт под общим названием "Общее руководство качеством и стандарты по обеспечению качества", состоящий из четырех частей, представляющих собой руководящие указания по выбору и применению других стандартов, а именно:

- ISO 9000-1 "Руководящие указания по выбору и применению";
- ISO 9000-2 "Общие руководящие указания по применению стандартов ISO 9001, ISO 9002 и ISO 9003";
- ISO 9000-3 "Руководящие указания по применению ISO 9001 при разработке, поставке и обслуживании программного обеспечения";
- ISO 9000-4 "Руководство по управлению программой обеспечения надежности";
- ISO 9001:1994 "Модель для обеспечения качества при проектировании, разработке, производстве, монтаже и обслуживании";
- ISO 9002:1994 "Модель для обеспечения качества при производстве, монтаже и обслуживании";
- ISO 9003:1994 "Модель для обеспечения качества при контроле и испытаниях готовой продукции";
- ISO 9004-1 "Руководящие указания";
- ISO 9004-2 "Руководящие указания по услугам";
- ISO 9004-3 "Руководящие указания по перерабатываемым материалам";
- ISO 9004-4 "Руководящие указания по улучшению качества";
- ISO 9004-5 "Руководящие указания по программам качества";
- ISO 9004-6 "Руководящие указания по обеспечению качества руководства проектами";
- ISO 9004-7 "Руководящие указания по управлению конфигурацией";
- ISO 9004-8 "Руководящие указания по принципам управления качеством и их применению в системе административного управления".

В таблицу к стандарту ISO 9000-1 включены следующие элементы.

1. Ответственность руководства, предусматривающая обязанность руководства предприятия определять политику и цели в области качества, а также обязанность создавать, внедрять и руководить системой качества.
2. Система качества, представляющая собой разработанное поставщиком, документально оформленное и поддерживаемое в рабочем состоянии средство для обеспечения соответствия продукции установленным требованиям.
3. Анализ контракта, обязывающий поставщика до заключения контракта оценить свою способность выполнить его, а в процессе выполнения регулярно проверять и документально подтверждать достижение требуемых контрактом характеристик.
4. Управление проектированием, устанавливающее и подтверждающее в проекте уровень качества продукции, соответствующий запросам потребителей и требованиям законодательства по безопасности и защите окружающей среды.
5. Управление документацией и данными, регламентирующее порядок разработки, утверждения, выпуска и изменения всех необходимых документов.
6. Закупки – элемент, определяющий квалификацию субподрядчиков и входной контроль качества покупных изделий и материалов.
7. Управление продукцией, поставляемой потребителем – проверка условий хранения и технического обслуживания продукции при ее использовании потребителем.
8. Идентификация продукции, подтверждающая наличие сопроводительных документов и необходимой маркировки на изготавливаемые детали и узлы для установления их принадлежности к тому или иному изделию.
9. Управление процессами, обеспечивающее соблюдение требований конструкторской документации.
10. Контроль и проведение испытаний – входной контроль материалов и покупных изделий, контроль и испытания в процессе производства и окончательный контроль и испытания с оформлением соответствующих протоколов.
11. Управление контрольным, измерительным и испытательным оборудованием: установление необходимых измерений и их точность; идентификация, калибровка и поверка оборудования, а также обеспечение требуемых условий его сохранности.
12. Статус контроля и испытаний: проведение контроля и испытаний аттестованным оборудованием, подготовленными специалистами с помощью проверенных и откалиброванных средств измерений.
13. Управление несоответствующей продукцией, устанавливающее правила использования изделий с отступлениями от документации или порядок изоляции окончательно забракованных изделий.
14. Корректирующие и предупреждающие действия – устранение дефектов и предупреждение их повторения путем устранения причин их появления.
15. Погрузочно-разгрузочные работы – контроль за качеством упаковки, консервации и т.п.
16. Управление регистрацией данных о качестве: сбор, систематизация, хранение и предоставление потребителю данных о качестве.
17. Внутренние проверки качества: регулярный контроль за функционированием системы качества. При этом должны составляться планы независимых проверок и протоколироваться их результаты.
18. Подготовка кадров – обеспечение производства персоналом требуемой квалификации.

19. Техническое обслуживание, определяемое в зависимости от установленных требований.

20. Статистические методы. Поставщик должен определить потребности в статистических методах, применяемых при разработке, управлении процессами и оценке характеристик продукции.

Необходимо заметить, что в стандарте ISO 9000-1 технические условия, содержащие требования заказчика к качеству, сами по себе не могут служить гарантией выполнения этих требований из-за возможных недостатков в организации работ. Поэтому важно, чтобы технические условия дополнялись наличием у поставщика системы качества, соответствующей стандартам ISO 9000 и дающей уверенность в стабильности качества продукции.

С принятием стандартов ISO 9000 стало возможным устанавливать уровень организации работ, позволяющий обеспечивать эффективное управление качеством и дающий заказчикам дополнительную гарантию стабильности качества продукции у поставщиков за счет внедрения четкой системы в работе по качеству, основанной на комплексном подходе к управлению качеством [1, 7].

5.3. СИСТЕМА QS-9000

В 1993–1994 гг. фирмами Форд, Крайслер и Дженерал Моторс с участием пяти производителей грузовиков на базе требований стандарта

ISO 9000 была разработана система QS-9000 как единый комплекс требований к своим поставщикам. Система включает в себя [7, 8]:

- промышленный стандарт QS-9000 "Требования к системам качества";
- процедуру PPAP "Процесс согласования производства комплектующих изделий";
- документ QSA "Оценка систем качества";
- руководства: SPS "Статистическое управление процессами"; MSA "Анализ измерительных систем"; APQP "Планирование качества перспективной продукции" и FMEA "Анализ видов последствий отказов".

Основным документом системы является стандарт QS-9000 "Требования к системам качества", состоящий из трех групп требований:

- требования, основанные на ISO 9000;
- отраслевые требования;
- специфические требования фирм-разработчиков системы QS-9000.

В процедуре PPAP приведен перечень из 14 документов, которые представляются поставщиками со своей продукцией во всех ситуациях, когда требуется предварительное согласование поставок с потребителем. При этом потребитель может учитывать соответствие поставщика требованиям QS-9000 и опыт предыдущих поставок, а также другие факторы. В результате потребитель либо принимает, либо отклоняет продукцию поставщика.

Документ QSA "Оценка систем качества" используется как для самооценки поставщиком своей системы качества, так и для ее оценки второй стороной (заказчиком) или третьей стороной (органом по сертификации).

Руководство SPS "Статистическое управление процессами" направлено на предупреждение несоответствий путем выявления и анализа причин их появления и на непрерывное совершенствование процессов с применением статистических методов.

Руководство MSA "Анализ измерительных систем" содержит подробное изложение проблемы обеспечения достоверности данных, используемых при оценке продукции и процессов. Вводится понятие "Качество результатов измерений", а получение измерений рассматривается и анализируется как процесс.

Руководство APQP "Планирование качества перспективной продукции" интересно тем, что оно дает возможность поставщикам планировать качество своей продукции на перспективу так, чтобы его уровень соответствовал будущим требованиям заказчика.

Руководство FMEA "Анализ видов и последствий отказов" применяется на этапах проектирования и разработки технологии и содержит набор необходимых форм для выполнения и оформления этой работы.

Следует отметить, что комплект документов QS-9000 представляет собой строгую и вместе с тем доброжелательную систему требований потребителей, подкрепленную практическими пособиями, руководствами, справочниками и примерами для поддержки поставщиков в выполнении этих требований.

Требования системы QS-9000 введены с 1997 г. При этом отношения поставщиков и заказчиков строятся так же, как и при применении стандартов ISO 9000 – на основе проверок систем качества и производственных процессов на соответствие требованиям системы QS-9000.

5.4. СТАНДАРТЫ ISO 14000

Одной из значительных международных природоохранных инициатив явилось решение Международной организации по стандартизации об образовании технического комитета ISO/TK 207 по направлению "Экологическое управление" и о разработке комплекса стандартов по управлению охраной окружающей среды [7, 9]. В 1996 г. появилась система стандартов ISO серии 14000, ориентированная не на количественные параметры (объем выбросов, концентрации вредных веществ и пр.) и не на технологии (требование использовать ту или иную технику), а на систему экологического менеджмента (СЭМ). Требования этой системы направлены на то, чтобы в каждой организации были введены определенные экологические процедуры с осуществлением мер по их строгому соблюдению, подготовлены пакеты необходимых документов и назначены лица, ответственные за определенные области экологической деятельности.

Система ISO 14000 разработана с учетом уже зарекомендовавшего себя семейства стандартов ISO серии 9000. Новая система стандартов должна обеспечивать уменьшение неблагоприятных воздействий на окружающую среду на трех уровнях:

- организационном (улучшение отношения к экологии производителей);
- национальном (создание государственной экологической политики);
- международном (стимулирование международной торговли).

Документы системы условно разделяют на три основные группы:

- 1) принципы создания и использования систем экологического мониторинга;
- 2) инструменты экологического контроля и оценки;
- 3) стандарты, ориентированные на продукцию.

В состав этих трех групп вошли следующие основные документы:

- ISO 14001 "Системы экологического менеджмента. Спецификации и руководство по использованию";
- ISO 14004 "Системы экологического менеджмента. Общие руководства по принципам, системам и методам";
- ISO 14010 "Руководство по экологическому аудиту. Общие принципы экологического аудита";
- ISO 14011/1 "Руководство по экологическому аудиту. Процедуры аудита. Аудит систем экологического менеджмента";
- ISO 14012 "Руководство по экологическому аудиту. Критерии квалификации экологических аудиторов";
- ISO 14040 (Серия документов) "Методология "оценки жизненного цикла". Оценки экологического воздействия, связанного с продукцией, на всех стадиях ее жизненного цикла".

Ключевым понятием серии ISO 14000 является СЭМ в организации. Поэтому центральным документом серии считается ISO 14001 "СЭМ. Спецификации и руководство по использованию", в котором предполагается, что соответствие или несоответствие требованиям стандарта конкретной организации может быть установлено с высокой степенью определенности. Именно соответствие стандарту ISO 14001 и является предметом формальной сертификации.

Все остальные документы рассматриваются как вспомогательные. Например, стандарт 14004 содержит развернутое руководство по созданию СЭМ, серия документов 14010 определяет принципы аудита, а 14040 содержит методологию оценки экологических воздействий в процессе производства продукции.

Международные стандарты ISO 14000 предназначены для обеспечения организаций элементами эффективной системы управления окружающей средой, которые могут быть объединены с другими элементами административного управления с целью достижения экологических и экономических целей. Следует заметить, что под системой управления окружающей средой понимают часть общей системы административного управления, включающей организационную структуру, планирование, ответственность, методы, процедуры, процессы и ресурсы, необходимые для разработки, внедрения, реализации, анализа и поддержания экологической политики [9].

Стандарт ISO 14001 устанавливает требования к системе управления окружающей средой. Он разработан так, чтобы его можно было применить к организациям всех типов и масштабов, желающих:

- внедрить, поддержать и улучшить систему управления окружающей средой;
- удостовериться в соответствии собственной экологической политики;
- продемонстрировать это соответствие другим;
- добиться сертификации сторонней организацией своей системы управления окружающей средой;
- самостоятельно определить соответствие такой системы стандарту ISO 14001 и заявить об этом соответствии.

Успех системы управления окружающей средой зависит от обязательств, взятых на себя на всех уровнях и всеми подразделениями организации, особенно высшим руководством. Система дает организации возможность формировать ее экологическую политику, добиться соответствия производственной деятельности этой политике и продемонстрировать это соответствие другим.

ISO 14001 не устанавливает абсолютных требований к экологической эффективности, помимо содержащихся в сформулированной политике обязательств соответствовать применяемым законодательным актам и регламентам и постоянно улучшать систему. Необходимо заметить, что принятие стандарта само по себе не гарантирует положительного экологического эффекта. Чтобы достичь целевых экологических показателей, система управления окружающей средой должна стимулировать предприятия рассматривать вопрос о внедрении наилучшей существующей технологии там, где это целесообразно и экономически приемлемо.

Все требования стандарта ISO 14001 могут быть включены в любую систему управления окружающей средой, а степень их применимости будет зависеть от таких факторов, как экологическая политика организации, характер ее деятельности и условия, в которых она функционирует.

Официально стандарты ISO 14000 являются добровольными. Они не заменяют законодательных требований, а обеспечивают систему определения того, каким образом производитель влияет на окружающую среду и как выполняются требования законодательства. Организация может использовать стандарты, во-первых, для внутренних нужд, например, как инструмент управления совокупностью своих воздействий на окружающую среду, и приводить свою деятельность в соответствие с разнообразными требованиями. Во-вторых, стандарты могут использоваться и для удовлетворения внешних нужд, чтобы продемонстрировать общественности и любому клиенту соответствие СЭМ современным требованиям. В-третьих, фирма может получить формальную сертификацию от независимой стороны и документально обосновать заявление о выпуске "экологически чистой" продукции.

Несмотря на добровольность стандартов, по словам председателя комитета ISO/TK 207, в ближайшие годы до 100 % больших компаний будут сертифицированы в соответствии с ISO 14000, т.е. получают свидетельство "третьей стороны" о том, что экологические аспекты их деятельности соответствуют этим стандартам. Предприятия захотят получить такую сертификацию потому, что она будет являться одним из непереносимых условий маркетинга продукции на международных рынках. Например, недавно ЕС объявило о своем намерении допускать на рынок стран Содружества только сертифицированные по ISO 14000 фирмы [9].

Госстандартом России на базе ISO 14001 введен стандарт "Системы управления качеством окружающей среды. Общие требования и рекомендации по использованию", развивающий требования ГОСТ Р 1.0–92 и ГОСТ Р 1.5–95, в которых указано, что в государственные стандарты на продукцию необходимо включать обязательные требования к качеству продукции, работ и услуг, обеспечивающие охрану окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов.

ВОПРОСЫ ДЛЯ КОНТРОЛЯ

1. В чем состоит сущность стандартов и стандартизации?
2. Какие общие причины возникновения необходимости разработки стандартов на выпускаемую продукцию?
3. Как связаны между собой понятия "качество" и "стандарты"?
4. Перечислите конкретные исторические предпосылки разработки международных стандартов ISO 9000, ISO 14000 и системы QS-9000.
5. Каков состав стандартов ISO 9000 и документов системы QS-9000?
6. Дайте характеристику стандартов ISO 9000 и системы QS-9000.
7. Какие основные документы включены в стандарт ISO 14000?
8. Что понимают под системой экологического менеджмента?

6. Системы управления качеством

6.1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Согласно ISO 9004–87, основной задачей каждого предприятия или организации является качество производимой продукции и предоставляемых услуг [9]. Успешная деятельность компании должна обеспечиваться производством продукции или услуг, которые:

- отвечают определенным потребностям и назначению;
- удовлетворяют требованиям потребителя;
- соответствуют применяемым стандартам и техническим условиям;
- отвечают действующему законодательству и другим требованиям (законодательным актам, охране окружающей среды, факторам здоровья и безопасности людей, экономии ресурсов и т.п.).

Сложность решения задачи качества продукции состоит в том, что качество конечной продукции обеспечивает ряд предприятий различных отраслей промышленности. Качество нельзя улучшить за счет внедрения локальных мероприятий, каким бы эффективным ни было каждое из них в отдельности. Необходим системный подход к управлению качеством, который охватил бы все отрасли народного хозяйства и этапы полного жизненного цикла продукции: исследование, проектирование, конструирование, технологию, производство, эксплуатацию и утилизацию после физического или морального устаревания продукции. Это требование диктует разработку специфических систем управления качеством.

Они занимают особое место среди всех существующих систем управления, представляя собой одно из последних достижений в области решения проблем качества любого предприятия или организации.

В соответствии с ISO 8402:1986 "Качество. Словарь", система качества (СК) – это совокупность организационной структуры, ответственности, процедур, процессов и ресурсов, обеспечивающая осуществление общего руководства качеством.

Необходимость разработки СК определяется соглашениями между производителями и заказчиками продукции или межотраслевыми документами, предусматривающими обязательность наличия подобных систем (при сертификации продукции, создании совместных предприятий, аттестации производства и т.п.). Система, отвечающая требованиям международных стандартов, призвана обеспечить качество конкретной продукции, поэтому на одном и том же предприятии, выпускающем различные виды продукции, СК предприятия может включать подсистемы качества по определенным видам изделий. Так, компания "Nokia" (Финляндия), выпускающая бытовую технику, электрические кабели, бумагу и другую продукцию, имеет несколько автономных СК: "Бытовая электроника", "Кабели" и пр. [9].

СК создается и внедряется на предприятии как средство, обеспечивающее проведение определенной политики достижения поставленных целей в области качества.

6.2. СОЗДАНИЕ СИСТЕМ КАЧЕСТВА

Под созданием систем управления качеством понимается их разработка и внедрение в деятельность предприятия.

Разработка СК в основном заключается в том, чтобы сначала определить, какие структуры следует включить в систему качества и какие функции они должны выполнять, чтобы обеспечить требуемое качество продукции.

Оценка СК после ее создания осуществляется путем сертификации, проводимой независимым органом с целью подтверждения соответствия системе ISO 9000. Создание СК предусматривает разработку плана-графика, включающего следующие работы [7, 9]:

- разработку политики в области качества;
- определение функций и задач СК;
- определение состава подразделений и их функций в системе управления качеством;
- разработку структурной и функциональной схем СК;
- разработку документации СК;
- разработку новых и корректировка действующих нормативных документов;
- проведение внутренних проверок СК в процессе ее внедрения и доработка системы по результатам проверок.

На стадии определения функций и задач СК нужно провести анализ процесса создания продукции и представить его в виде подробного перечня этапов работ; его основу составляют стадии жизненного цикла продукции, процесс создания которой включает в себя следующие работы.

1. Определение потребностей рынка или анализ контракта.

2. Научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы.
3. Разработка технологических процессов и оснастки.
4. Подготовка производства, в том числе подготовка персонала, обеспечение производства комплектом необходимой документации, снабжение материалами и комплектующими изделиями, подготовка технологического оборудования, инструмента, приспособлений и оснастки, подготовка средств измерений и испытательного оборудования.
5. Изготовление продукции, операционный контроль качества и авторский надзор.
6. Испытания и приемка готовых изделий.
7. Упаковка и хранение продукции на предприятии.
8. Транспортировка и хранение продукции на объектах.
9. Монтаж и отладка.
10. Испытания и сдача в эксплуатацию.
11. Гарантийное и послегарантийное обслуживание и ремонт.

Затем определяется перечень функций и задач системы управления качеством. Этот перечень может включать дополнительные элементы, рекомендованные указанными стандартами, так как СК предприятий отличаются друг от друга.

После определения этапов создания продукции и элементов системы управления качеством нужно определить структурные подразделения, которые будут выполнять эти функции. Для этого необходимо проанализировать функции существующих подразделений и сравнить их с перечнем функций, принятым для создаваемой СК с учетом рекомендаций ISO 9000 [7]. В результате устанавливаются исполнители, которым их новые функции включаются в обязанности.

После определения исполнителей и их функций СК обретает конкретное очертание, представляемое структурной и функциональной схемами.

Структурная схема СК строится на основе структурной схемы предприятия и дает возможность показать состав и взаимосвязь всех структурных подразделений, и управляющее ядро – службу качества.

Построение функциональной схемы позволяет наглядно представить работу СК – процесс управления качеством.

При разработке функциональной схемы необходимо учитывать политику и планирование качества, организацию работ, обучение и мотивацию персонала, контроль качества, информацию, разработку мероприятий, принятие решений и внедрение их в производство, а также взаимодействие с внешней средой. При этом для каждой функции на схеме целесообразно указать структурные подразделения, которые будут их выполнять на всех этапах производства.

Далее определяется состав документации по системе управления качеством. Для этого отделу управления качеством совместно со службой стандартизации необходимо рассмотреть состав всей имеющейся на предприятии нормативной документации и определить те документы, которые служат для выполнения функций системы.

Для окончательного формирования документации СК разрабатывается обобщающий документ с общим описанием системы и изложением политики в области качества. Такое описание предусматривается стандартом ISO 10013 в виде "Руководства по качеству" [9]. В основном разделе Руководства должно быть представлено содержание, отражающее все требования выбранной модели СК. В приложении к Руководству рекомендуется привести:

- перечень стандартов по СК в привязке к элементам и требованиям системы;
- схему организационной структуры системы управления предприятием;
- матрицу распределения ответственности должностных лиц предприятия в системе управления качеством;
- схему организационной структуры службы качества предприятия;
- матрицу функциональных связей службы качества с другими подразделениями предприятия;
- укрупненную схему производственных процессов.

В результате документация по СК приобретает вид, представленный на рис. 26 [7].



Рис. 26. Иерархия структуры нормативной документации системы качества

Комплект документов должен охватывать все элементы в соответствии с выбранной моделью СК. Все документы должны быть утверждены руководством предприятия и согласованы с заказчиком [9].

Каждый документ должен включать в себя:

- цель в соответствии с выработанной политикой в области качества, область применения, объекты управления;
- связь данного документа с другими документами СК, международными и государственными стандартами;
- перечень лиц, ответственных за выполнение работ; их права и обязанности; требования к квалификации;
- состав выполняемых работ по каждому объекту управления, подразделению и службе;
- порядок взаимодействия подразделений и служб, участвующих в выполнении работ;
- сроки выполнения работ, перечень этапов и последовательность их выполнения;

- методику и средства для выполнения каждого элемента работ, требования к работам на каждом этапе, ожидаемые результаты и корректирующие воздействия в "сбойных" ситуациях;
- гарантии выполнения требований, методы и критерии проверки их выполнения, действия при невыполнении требований, мотивацию проведения работ;
- требования к ресурсам, необходимым для выполнения работ, порядок их получения и использования;
- порядок управления документом и перечень рассылки (указывается должностное лицо, ответственное за управление, порядок его ведения, регистрация изменений, рассылка и т.п.).

Правильно созданная СК должна функционировать таким образом, чтобы обеспечивать уверенность в том, что система управления качеством является эффективной, удовлетворяющей требованиям потребителя к продукции или услуге и ориентирована на предупреждение проблем, а не выявление их после возникновения.

6.3. ОБЕСПЕЧЕНИЕ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ И ПРОВЕРКИ СИСТЕМ КАЧЕСТВА

После создания новой или доработки существующей СК необходимо проверить ее функционирование. Под функционированием СК понимают выполнение руководством и всеми структурными подразделениями организации своих документально закрепленных функций и задач.

В связи с этим возникает необходимость выполнения "обслуживания" самой СК, включающего проведение внутренних проверок системы, координацию и методическое обеспечение работ подразделений в системе управления качеством, организацию кружков качества, а также сертификацию СК [7, 9].

В соответствии с рекомендациями стандартов ISO 9000 возглавлять систему управления качеством и отвечать за ее эффективное функционирование должен представитель руководства предприятия. Как правило, ему непосредственно подчиняется служба качества, являющаяся центральной частью системы качества и объединяющая отдел управления качеством, отдел технического контроля, метрологическую службу, центральную заводскую лабораторию и службу стандартизации.

В обязанности службы качества входит как выполнение содержательных функций, так и вспомогательных задач. К основным задачам службы качества относятся:

- разработка и совершенствование СК;
- формирование политики и планирование качества;
- контроль качества разработки, изготовления и испытаний готовой продукции;
- метрологическое обеспечение производства;
- проведение работ по стандартизации и нормоконтролю;
- подготовка мероприятий и документов в области контроля качества;
- проверка функционирования СК;
- организация работ по сертификации продукции и самой СК;
- обучение персонала вопросам качества;
- методическое обеспечение и координация работ подразделений;
- организация деятельности "кружков качества".

Проверки функционирования СК могут проводиться самим производителем (внутренние проверки), его заказчиками (второй стороной) или независимыми органами (третьей стороной) [7]. Методические указания по проверке СК изложены в Международном стандарте ISO 10011 и состоят из трех частей:

- ISO 10011-1:1990 "Общие руководящие указания по проверке систем качества, часть 1: Проверка";
- ISO 10011-2:1991 "Руководящие указания по проверке систем качества, часть 2: Квалификационные критерии для инспекторов";
- ISO 10011-3:1991 "Руководящие указания по проверке систем качества, часть 3: Руководство программой проверок".

Внутренние проверки необходимы для того, чтобы постоянно оценивать эффективность СК и принимать меры по ее совершенствованию. Для этого разрабатывается нормативно-методический документ и план проведения проверок. Для каждой проверки предусматривается инспекционная группа под руководством работника службы качества. Для объективности проверок к ним привлекаются специалисты, непосредственно не занятые в проверяемой деятельности. Комиссия может проверять как выполнение функций СК, так и отдельных нормативных документов.

В России для организации внутренних проверок СК используются Рекомендации ВНИИС Госстандарта РФ Р 50-601-29-92 "Внутренняя проверка системы качества на предприятии".

Проверки СК второй стороной проводятся представителями заказчиков, как правило, перед заключением контрактов. Назначение этих проверок состоит в том, чтобы заказчик получил дополнительную гарантию стабильности качества продукции, убедившись, что у поставщика есть система управления качеством, отвечающая требованиям стандартов ISO 9000. В процессе проверки особое внимание обращается на следующие вопросы:

- качество выпускаемой продукции;
- внедрение СК, наличие и оформление "Руководства по качеству", наличия сертификатов на соответствие СК стандартам ISO 9000;
- организация и контроль проектирования;
- характеристика субподрядчиков и входного контроля материалов;
- уровень технологического и метрологического обеспечения производства;
- наличие в цехах необходимой нормативной и конструкторско-технологической документации;
- качество операционного контроля производства, испытания и приемки готовой продукции;
- отбраковка некондиционной продукции;
- хранение материалов, покупных и готовых изделий.

Кроме того, оцениваются общие условия труда.

В процессе проверки заказчик может потребовать, чтобы на его изделия были разработаны программы обеспечения качества, а также оговорить особые условия контроля, испытаний и приемки продукции. После проверки заказчик представляет отчет, в котором дается оценка СК на соответствие стандартам ISO 9000 и приводятся предложения по улучшению организации работ.

Проверки СК "третьей стороной" проводятся либо с целью выдачи поставщику сертификата на продукцию или СК, либо для подтверждения ранее выданного сертификата. При наличии у поставщика сертификата, выданного независимым органом, объем проверок обычно сокращается.

6.4. СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМ КАЧЕСТВА И УПРАВЛЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВОМ

На совершенствование систем качества и реорганизации управления производством направлен ряд мероприятий, которые в совокупности могут рассматриваться как некие системы, обладающие специфическими особенностями как в смысле стоящих перед ними целей, так и средств их достижения [10]. Среди этих систем необходимо выделить следующие:

- Total Quality Management (TQM) – всеобщее управление качеством;
- Continuous Process Improvement (CPI) – непрерывное совершенствование процессов;
- Business Process Reengineering (BPR) – реинжиниринг бизнес-процессов.

Реорганизация производства с точки зрения TQM состоит в оптимизации выполнения производственных операций, совершенствовании технологических процессов с целью роста выпуска продукции, насыщению ею рынка и увеличения прибыли за счет повышения объемов продаж.

Второй методологический подход (CPI) основан на непрерывном совершенствовании процессов при реорганизации повышения качества производимой продукции или услуг. При этом особое внимание уделяется запросам потребителя, т.е. продукт или услуга адаптируется под его требования. Решение проблем, поиск потенциальных недостатков в организации производства выполняются с привлечением "кружков качества".

Третья методология (BPR) заключается в реинжиниринге бизнес-процессов для достижения коренных улучшений в основных показателях деятельности предприятия: стоимость, качество, услуги и темпы.

В мире эта область активно развивается и именуется технологиями анализа и реинжиниринга (перепроектирования) бизнес-процессов. Сам термин "бизнес-процесс" является обобщающим по отношению к процессам разного типа (технологическим, организационно-деловым, управленческим и т.п.).

Анализ и моделирование бизнес-процессов являются важным инструментом повышения эффективности работы предприятия. Представление о работе предприятия как о выполнении совокупности бизнес-процессов позволяет руководителю по-новому взглянуть на процесс функционирования подчиненной ему структуры, рядовым сотрудникам осознать свое место и круг обязанностей в ней, а модель бизнес-процессов предприятия служит источником объективной информации о выполняемых функциях и связях между ними [10].

Современный рынок предъявляет высокие требования к обоснованности и скорости принимаемых управленческих решений в сфере производственных и финансовых процессов, поэтому на первый план выдвигается необходимость использования современных информационных технологий, включающих программные системы управления коммерческой, административной и хозяйственной деятельностью предприятия.

Наличие на предприятиях подобных систем управления, учитывающих отраслевую специфику, позволяет повысить экономическую эффективность производства, предоставляет возможность оперативного получения производственно-экономических данных для успешного планирования и управления производством.

Идеологией, обобщающей рассмотренные системы, является так называемая CALS-технология.

CALS (Continuous Acquisition and Life-cycle Support – непрерывная информационная поддержка жизненного цикла продукта) представляет стратегию систематического повышения эффективности, производительности и рентабельности процессов хозяйственной деятельности предприятия за счет внедрения современных методов информационного взаимодействия участников жизненного цикла продукта.

Прикладные средства CALS включают в себя программные решения в таких сферах производственной деятельности, как проектно-конструкторские работы, производство, обслуживание и управление данными [10].

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

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

Внедрение CALS – сложный процесс, связанный с различными аспектами деятельности организации, поэтому для его осуществления должны существовать определенные предпосылки, а именно наличие:

- нормативной и методической документации разного уровня – федерального, отраслевого, корпоративного, предприятия;
- рынка апробированных и сертифицированных решений и услуг в области CALS-технологий;
- системы подготовки и переподготовки кадров;
- опыта и результатов научно-исследовательских работ (НИОКР) и пилотных проектов, направленных на изучение и разработку решений в области CALS-технологий;
- информационных источников, направленных на информирование научно-технической общественности о существующих решениях и ведущихся работах в области CALS.

Создание таких предпосылок является важнейшей задачей федеральных органов власти, заинтересованных организаций, научной и инженерной общественности. Решение этой задачи на федеральном уровне предусматривается путем реализации ряда межведомственных программ.

ВОПРОСЫ ДЛЯ КОНТРОЛЯ

1. Что представляет собой система управления качеством?
2. Каково назначение СК на производстве?
3. Какие руководящие документы используются для создания СК?
4. В чем заключаются требования к составу документации СК?
5. Что понимают под функционированием СК?
6. Как обеспечивается функционирование СК на предприятии?
7. Назовите виды и назначение проверок СК, и дайте их краткие характеристики.
8. Какие основные методологии используются при совершенствовании СК?

7. Сертификация и правовые аспекты в области качества

7.1. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Термин "сертификация" произошел от латинских слов *certum* (верно) и *facere* (делать). Согласно руководству ISO/IEC 2 "Сертификация соответствия – действие третьей стороны, доказывающее, что обеспечивается необходимая уверенность в том, что должным образом идентифицированная продукция, процесс или услуга соответствуют конкретному стандарту или другому нормативному документу" [7].

Современный потребитель желает, чтобы не производитель и не рынок, а кто-то третий подтвердил, что приобретаемый продукт сделан верно, а его качество подтверждено бумагой, выданной "третьей стороной". В настоящее время сертификация рассматривается как некая гарантия определенного уровня качества. Сертификация документирует факт соответствия данного продукта или услуги имеющимся образцам, нормам, или заявленным качествам, как по состоянию самого продукта (услуги), так и условий его производства, хранения и распространения [7, 10].

В законе Российской Федерации о сертификации продукции и услуг сказано: "Сертификация – это деятельность по подтверждению соответствия продукции установленным требованиям". Законом предусматривается обязательная и добровольная сертификация. Обязательная осуществляется для проверки соответствия продукции требованиям стандартов, к которым относятся требования по обеспечению безопасности для жизни и здоровья населения, охране окружающей среды и требования по совместимости и взаимозаменяемости [7].

Для оценки и рекламы достигнутого уровня качества предприятие по собственной инициативе может проводить добровольную сертификацию, позволяющей предприятию укрепить свои позиции на рынках сбыта, подтвердив сертификатом высокое качество своей продукции.

Номенклатура товаров и услуг, подлежащих обязательной сертификации, утверждается Правительством РФ и периодически обновляется. В номенклатуру включаются товары, документация которых содержит характеристики, относящиеся к обязательным требованиям стандартов и для сертификации которых имеются аккредитованные лаборатории и органы по сертификации.

Процедуры и порядок сертификации продукции и систем качества установлены рядом отечественных и международных нормативных документов [7, 9, 10]. К отечественным документам относятся:

- Закон Российской Федерации о сертификации продукции и услуг;
- Правила по проведению сертификации в Российской Федерации;
- ГОСТ Р 40.001–95 "Правила по проведению сертификации систем качества в Российской Федерации";
- ГОСТ Р 40.003–96 "Порядок проведения сертификации систем качества";
- ГОСТ Р 40.004–96 "Порядок проведения сертификации производств";
- ГОСТ Р 40.005–96 "Инспекционный контроль за сертифицированными системами качества и производствами";
- ГОСТ Р 1.9–95 "Порядок маркирования продукции и услуг знаком соответствия государственным стандартам";
- ГОСТ Р 50460–92 "Знак соответствия при обязательной сертификации. Форма, размеры и технические требования".

Из международных документов основными являются документы Международной организации по стандартизации (ISO) и Международной электротехнической комиссии (IEC), в том числе:

- Руководство ISO/IEC 16 "Свод правил по системе сертификации третьей стороной на основе соответствующих стандартов";
- Руководство ISO/IEC 28 "Общие правила для модели системы сертификации продукции третьей стороной";
- Руководство ISO/IEC 48 "Руководящие положения по оценке и регистрации системы качества поставщика третьей стороной".

Создание единого европейского рынка привело к возникновению глобального подхода к испытаниям и сертификации. Его сущность состоит в обеспечении доверия к изготовителям, испытательным лабораториям и органам по сертификации, подтверждающим качество продукции независимо от того, в какой стране она произведена и сертифицирована. Необходимость принятия такого решения была обусловлена снятием в 1993 г. таможенных барьеров для свободного перемещения товаров внутри Европейского сообщества [7].

Для обеспечения доверия в Европе была создана сеть независимых испытательных лабораторий и сертификационных центров и разработана серия европейских стандартов (Евро-Нормы) EN 45000. Эти стандарты стали едиными критериями оценки компетентности лабораторий и органов по сертификации, что обеспечило возможность взаимного признания сертификатов в странах ЕС.

Дополнительной гарантией качества служит наличие на предприятии системы управления качеством. В этом случае для поставщика создаются благоприятные условия при заключении контракта. Критерием оценки систем качества стали Европейские стандарты EN 29000, идентичные международным стандартам.

7.2. СЕРТИФИКАЦИЯ ПРОДУКЦИИ И СИСТЕМ КАЧЕСТВА

Порядок сертификации продукции предусматривает ряд следующих этапов: подачи заявки на сертификацию, принятия решения и выбора схемы сертификации, отбора образцов и их испытания, оценки производства или системы качества, анализа полученных результатов и принятия решения о выдаче сертификата, выдачи сертификата и лицензии на применение знака соответствия, осуществления инспекционного контроля над сертифицированной продукцией, проведения корректирующих мероприятий при нарушениях [7].

Основой сертификации продукции является проведение испытаний образцов товара. Для проведения объективной оценки качества продукции, выпускаемой в стране, необходимо иметь широкую сеть независимых испытательных лабораторий и органов по сертификации.

Процедуры сертификации систем качества предусматривают:

- подачу предприятием заявки в орган по сертификации и получение от него анкеты;
- представление предприятием в орган по сертификации заполненной анкеты и "Руководства по качеству";
- предварительную оценку готовности к сертификации системы качества;
- информационное совещание, проводимое органом по сертификации;
- разработку программы работ по сертификации;
- проведение сертификации с выдачей (или отказом в выдаче) сертификата;
- последующее проведение инспекционных проверок для подтверждения выданного сертификата.

Как указано в стандарте EN 45012, сертифицируемые в Европе системы качества должны отвечать требованиям Европейских стандартов EN 29001, 29002 или 29003, которые идентичны Международным стандартам ISO 9001, 9002 и 9003.

Работу по сертификации систем качества в России проводят региональные органы Госстандарта, Всероссийский научно-исследовательский институт сертификации (ВНИИС), Российский Морской Регистр Судоходства и ряд других самостоятельных органов и ассоциаций. В Европе подобными вопросами занимаются соответствующие организации, которые в период с 1990 по 1992 г. объединились в Европейскую сеть EQ Net, которая затем переросла в Международную сеть IQ Net в связи с присоединением к ней органов по сертификации Австралии, Бразилии, Канады, Южной Кореи, Японии и других стран. Кроме перечисленных европейских организаций, сертификацию систем качества осуществляет Американское общество по контролю качества (ASQC), Японское общество проверки, регистрации и аккредитации систем качества (JAB), французское Бюро Веритас (BVQSI) и британское Регистр Ллойд (LRQA), норвежский Дет Норске Веритас (DNV), Американское Бюро Судоходства. (ABS), немецкое Объединение Технического Надзора (TUV) и др.

При выборе органа для проведения сертификации основным критерием должен быть его международный авторитет, чтобы полученный от него сертификат обеспечил широкое признание высокого качества продукции на рынках сбыта.

7.3. ОСНОВНЫЕ ЗАКОНЫ РФ В ОБЛАСТИ КАЧЕСТВА

Одним из важнейших направлений в деятельности предприятий по управлению качеством является отслеживание и выполнение действующего законодательства в области качества. Ответственность за нарушение законодательства обусловлена, прежде всего, наличием общественно значимых обязательных требований по безопасности продукции для населения и окружающей среды, а также узаконенными правилами взаимоотношений между потребителями и поставщиками в области качества.

В России в 1992 г. был принят закон "О защите прав потребителей", переизданный с изменениями в 2004 г. Этот закон требует от продавца (изготовителя), чтобы товар был безопасным и соответствовал обязательным требованиям стандартов и условиям договора. В этом законе предусматривается обязательная сертификация продукции, если на нее установлены требования по безопасности для населения и окружающей среды.

В 1993 г. в России было принято еще три закона: "О стандартизации", "О сертификации продукции и услуг" и "Об обеспечении единства измерений", вместе с законом "О защите прав потребителей" образующие юридические границы, определяющие права, обязанности и ответственность изготовителей, потребителей и государства в области качества [10].

Стандартизация в Законе РФ "О стандартизации" определена как деятельность по установлению норм, правил и характеристик в целях обеспечения безопасности продукции, работ и услуг для окружающей среды, жизни, здоровья и имущества граждан, технической совместимости и взаимозаменяемости продукции, качества продукции, работ и услуг в соответствии с уровнем развития науки, техники и технологии, единства измерений, безопасности хозяйственных объектов и т.д.

Управляет деятельностью по стандартизации Госстандарт России. Различают государственные и отраслевые стандарты, стандарты предприятий, научно-технических обществ и общественных объединений. Общие правила проведения работ по стандартизации установлены в стандартах Государственной системы стандартизации (ГСС): ГОСТ Р 1.0–92 ГСС "Основные положения"; ГОСТ Р 1.2–92 ГСС "Порядок разработки государственных стандартов" и ГОСТ Р 1.4–92 ГСС "Стандарты предприятия".

Требования по безопасности для окружающей среды, жизни, здоровья и имущества граждан, требования по совместимости включаются в стандарты как обязательные требования к продукции. Выполнение этих требований контролируется государством. Включаемые в стандарты потребительские характеристики, методы их контроля, требования к упаковке, хранению и применению не являются обязательными и определяются договорами между поставщиками и потребителями [7, 9].

В Законе РФ "О сертификации продукции и услуг" организация и проведение работ по обязательной сертификации возлагаются на Госстандарт России. В законе установлены обязанности изготовителей, испытательных лабораторий и органов по сертификации. Предусмотрено, что импортируемая продукция, подлежащая обязательной сертификации, должна иметь сертификат качества. Согласно закону запрещается рекламировать продукцию, не имеющую сертификата. Законом предусматривается также государственный контроль и надзор за проведением обязательной сертификации продукции [7, 10].

Закон РФ "Об обеспечении единства измерений" устанавливает порядок, обеспечивающий единство и точность измерений. В законе предусматривается государственное управление единством измерений со стороны Госстандарта России, учреждаются метрологические службы, государственный метрологический контроль и надзор, порядок поверки средств измерений, их калибровка и сертификация [7, 10].

Без организации работ по обязательной сертификации продукции, без знания и выполнения законодательства в области качества, действующего в России и в странах-импортерах выпускаемой продукции, а также международных нормативных актов успешная деятельность предприятия на внутреннем и внешнем рынках невозможна.

ВОПРОСЫ ДЛЯ КОНТРОЛЯ

1. Что такое сертификация?
2. Что такое система сертификации?
3. Каков порядок сертификации продукции?
4. Как производится сертификация систем качества?
5. Какие основные законы действуют в Российской Федерации в области правовых аспектов качества?

8. ПРОВЕРКА СТАТИСТИЧЕСКИХ ГИПОТЕЗ И ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ НАБЛЮДЕНИЙ

8.1. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ТЕОРИИ ПРОВЕРКИ СТАТИСТИЧЕСКИХ ГИПОТЕЗ

При обработке результатов моделирования и особенно вычислительных экспериментов часто требуется проверять значимость связи между различными переменными и явлениями, а также степень различий значений выходных переменных при изменении управляющих и возмущающих воздействий режимов работы системы. Математическим аппаратом решения подобных вопросов являются методы проверки статистических гипотез [12, 13].

Статистические гипотезы, обозначим их H_0, H_1, \dots , представляют собой некоторые предположения относительно генеральных статистических характеристик и генеральных распределений вероятности, которые подлежат проверке. В результате выполнения вычислительного эксперимента исследователь, как правило, располагает лишь выборочными значениями из генеральной совокупности, и статистические гипотезы являются для него высказываниями относительно связей между переменными системы, законов их изменения и т.д.

Различают нулевые H_0 и альтернативные $H_i, i \neq 0$ гипотезы. К нулевым гипотезам относятся предположения о равенстве нулю статистических показателей или отсутствии различия между сравниваемыми параметрами, некоторые же имеющиеся отклонения оценок от нулевых значений объясняются лишь случайными колебаниями в выборках. В этом случае нулевыми будут следующие гипотезы: выборка однородна (нет выбросов), исследуемые показатели распределения случайных величин (средние, дисперсии и др.) равны между собой, коэффициент корреляции между двумя переменными равен нулю и т.д.

Альтернативными гипотезами называются все остальные гипотезы, отличающиеся от нулевой. Например, нулевой гипотезе H_0 о равенстве нулю коэффициента регрессии b можно сопоставить две альтернативные гипотезы $H_1: b > 0$ и $H_2: b < 0$. Если из физической природы связи переменных коэффициент регрессии не может быть отрицательным, то альтернативная гипотеза одна – H_1 .

Процедура обоснованного сопоставления гипотезы с имеющимися выборочными данными осуществляется с помощью какого-либо статистического критерия и называется статистической проверкой гипотез. Для осуществления проверки вводится некоторая случайная величина λ , которая связана с проверяемым параметром (например, b), и закон распределения ее при условии правильности гипотезы H_0 известен, соответствующую условную плотность вероятности обозначим $p(\lambda/H_0)$. Величина λ называется критической статистикой, а статистические критерии носят названия законов распределения λ . Например, проверка значимости коэффициента регрессии, т.е. $H_0(b=0)$ осуществляется с помощью критической статистики, подчиняющейся t-распределению Стьюдента $\left(\lambda = t \right)$, а соответствующий критерий носит название t-критерия или t-критерия Стьюдента [12].

На рис. 27 качественно показаны возможные расположения плотностей распределения: $p(\lambda/H_0)$, $p(\lambda/H_i)$, $i \neq 0$.

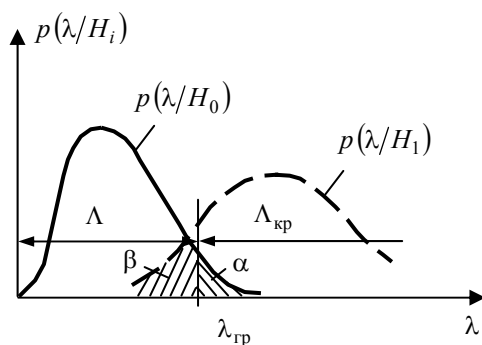
Для формализации процедуры проверки H_0 все пространство значений критической статистики λ делится на две следующие области: допустимую Λ , внутри которой наиболее вероятны значения λ при условии правильности гипотезы H_0 , и критическую $\Lambda_{кр}$, внутри которой появление значений при условии правильности H_0 маловероятно. Эти две области разделяются граничными значениями $\lambda_{гр}$ или $\lambda_{гр}^H$, $\lambda_{гр}^B$, например, для случая, показанного на рис. 27, в $\Lambda = [\lambda_{гр}^H, \lambda_{гр}^B]$.

По результатам экспериментальных данных рассчитывается оценка критической статистики $\hat{\lambda}$. Если $\hat{\lambda} \in \Lambda$, то принимается гипотеза H_0 , и исследуемый показатель считается незначимым, например, коэффициент регрессии. В противном случае, т.е. когда $\hat{\lambda} \in \Lambda_{кр}$ ($\hat{\lambda} \notin \Lambda$), гипотеза H_0 отвергается, а изучаемый показатель считается значимым или существенно отличающимся от нуля.

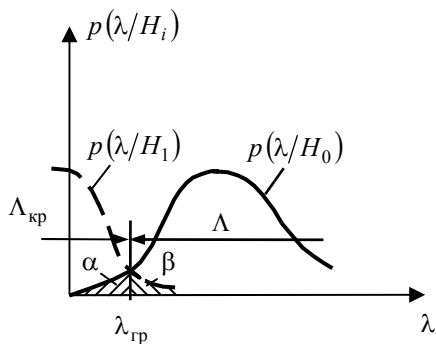
При такой проверке возможны два рода ошибок. Ошибка первого рода возникает, когда при $\hat{\lambda} \in \Lambda_{кр}$ будет отброшена нулевая гипотеза H_0 , которая в действительности справедлива. Максимальное значение вероятности ошибки первого рода α равна площади под кривой $p(\lambda/H_0)$ в критической области $\Lambda_{кр}$ (рис. 27), т.е.

$$\alpha = \int_{\lambda \in \Lambda_{кр}} p(\lambda/H_0) d\lambda.$$

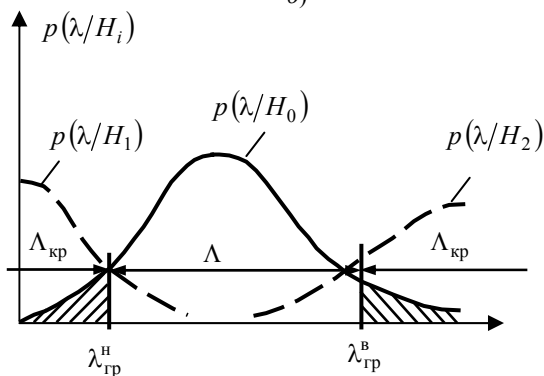
Величина 100 % α называется уровнем значимости.



а)



б)



в)

Рис. 27. Условные плотности распределения критической статистики λ :

а, б – одна альтернативная гипотеза; $\lambda_{гр}$ – граничное значение между допустимой областью Λ и $\Lambda_{кр}$; в – две альтернативные гипотезы; $\lambda_{гр}^н$, $\lambda_{гр}^в$ – нижнее и верхнее граничные значения, соответственно

Ошибка второго рода появляется, когда при $\hat{\lambda} \in \Lambda$ принимается гипотеза H_0 , которая не соответствует действительности, т.е. ошибочно отвергается гипотеза H_i , $i \neq 0$. Наибольшая вероятность ошибки второго рода β равна площади под кривой $p(\lambda/H_1)$ (или двумя кривыми $p(\lambda/H_1)$, $p(\lambda/H_2)$ в допустимой области Λ), т.е.

$$\beta = \frac{1}{2} \left(\int_{\lambda \in \Lambda} p(\lambda/H_1) d\lambda + \int_{\lambda \in \Lambda} p(\lambda/H_2) d\lambda \right).$$

Определение граничного значения $\lambda_{гр}$, а следовательно, и задание областей Λ и $\Lambda_{кр}$ связано с выбором значений α и β . Величина α выбирается из ряда стандартных значений: 0,2; 0,15; 0,1; 0,05; 0,025; 0,01; 0,005; 0,001. При инженерных исследованиях обычно берут $\alpha = 0,05$ или $\alpha = 0,1$.

Граничные значения $\lambda_{гр}$ находятся для выбранного уровня значимости $100\alpha\%$ и объема выборки (числа экспериментальных данных) N по таблицам q-квантилей или 100Q-процентных точек соответствующих распределений λ .

Для случайной величины Y с функцией распределения $F(y)$ q-квантилем называется такое значение аргумента y_q , для которого

$$\text{Вер}(Y < y_q) = F(y_q) = \int_{-\infty}^{y_q} p(y) dy = q.$$

Например, $F(y_{0,5}) = 0,5$, $0,5$ – квантиль $y_{0,5}$ является медианой. Некоторые, часто применяемые квантили носят специальные названия: квантили – $y_{0,25}$, $y_{0,5}$, $y_{0,75}$; децили – $y_{0,1}$; $y_{0,2}$; ...; $y_{0,9}$; проценти – $y_{0,01}$; $y_{0,02}$; ...; $y_{0,09}$.

Значение \bar{y}_Q случайной величины Y называется 100Q-процентной точкой, если

$$\text{Вер}(Y \geq \bar{y}_Q) = \int_{\bar{y}_Q}^{\infty} p(y) dy = 1 - F(\bar{y}_Q) = Q.$$

Нетрудно заметить, что между квантилями и процентными точками существует простая связь $y_q = \bar{y}_{1-q}$; $\bar{y}_Q = y_{1-Q}$.

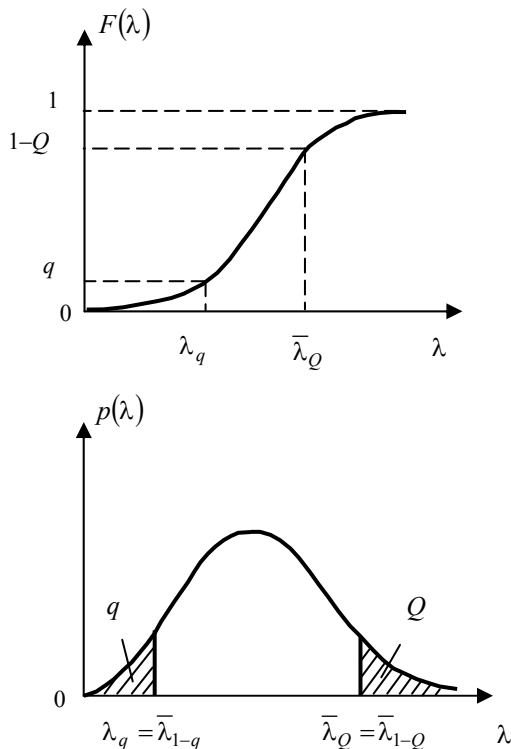


Рис. 28. Квантили и процентные точки:

λ_q, λ_{1-Q} – q-квантиль и $(1-Q)$ -квантиль, соответственно;

$\bar{\lambda}_{1-q}, \bar{\lambda}_Q$ – $100(1-q)$ -процентная точка и 100Q-процентная точка, соответственно

На рис. 28 показаны расположения q-квантиля и 100Q-процентной точки для критической статистики λ .

Таким образом, граничное значение λ на рис. 27, а при выбранном уровне значимости $\alpha = 0,1$ является 0,9-квантилем или 10% точкой случайной величины λ , т.е. $\lambda_{гр} = \lambda_{0,9} = \bar{\lambda}_{0,1}$. Численные значения $\lambda_{гр}$ находятся по таблицам $1-\alpha$ -квантилей или 100α -процентных точек.

В табл. 2 приведены квантили x_q нормального распределения со средним $m_x = 0$ и дисперсией $D_x = 1$. Например, для $q = 0,05$ $x_{0,05} = -1,645$. Если $q > 0,5$, то в качестве квантиля берется значение $-x_{1-q}$. Например, $q = 0,6$, в этом случае $x_{0,6} = -x_{1-0,6} = -x_{0,4} = 0,253$.

2. Квантили x_q нормального распределения и процентные точки \bar{x}_{1-q}

q	$x_q = \bar{x}_{1-q}$	q	$x_q = \bar{x}_{1-q}$	q	$x_q = \bar{x}_{1-q}$
0,001	-3,090	0,11	-1,227	0,31	-0,496
0,002	-2,652	0,12	-1,175	0,32	-0,468
0,003	-2,748	0,13	-1,126	0,33	-0,440
0,004	-2,652	0,14	-1,080	0,34	-0,413
0,005	-2,575	0,15	-1,036	0,35	-0,385
0,006	-2,512	0,16	-0,994	0,36	-0,359
0,007	-2,454	0,17	-0,954	0,37	-0,332
0,008	-2,409	0,18	-0,915	0,38	-0,306
0,009	-2,366	0,19	-0,878	0,39	-0,279
0,010	-2,326	0,20	-0,842	0,40	-0,253
0,020	-2,054	0,21	-0,806	0,41	-0,228
0,025	-1,960	0,22	-0,772	0,42	-0,202
0,030	-1,881	0,23	-0,739	0,43	-0,176
0,040	-1,751	0,24	-0,706	0,44	-0,151
0,050	-1,645	0,25	-0,675	0,45	-0,126
0,060	-1,555	0,26	-0,643	0,46	-0,1004
0,070	-1,476	0,27	-0,613	0,47	-0,0753
0,080	-1,405	0,28	-0,583	0,48	-0,0502
0,090	-1,341	0,29	-0,553	0,49	-0,0251
0,100	-1,282	0,30	-0,524	0,50	-0,0000
$1-q$	$-x_q = \bar{x}_{1-q}$	$1-q$	$-x_q = \bar{x}_{1-q}$	$1-q$	$-x_q = \bar{x}_{1-q}$

Одним из параметров распределения критической статистики является число степеней свободы ν , т.е. число свободно варьируемых данных, по которым рассчитывается показатель. Число степеней свободы определяется по формуле

$$\nu = N - s,$$

где N – объем выборки; s – число наложенных связей.

Например, при оценке дисперсии используется одна связь, обусловленная расчетом математического ожидания, поэтому $\nu = N - 1$.

В общем случае проверка статистических гипотез производится в следующей последовательности.

1. Выдвигается нулевая H_0 и альтернативная (одна или две) H_i гипотезы.
2. Выбирается критическая статистика λ .
3. Назначается уровень значимости $100\alpha\%$ (обычно 5 или 10 %) и находится число степеней свободы ν , зависящее от объема выборки N .
4. По таблице квантилей или процентных точек находится граничное значение $\lambda_{гр}$ или $(\lambda_{гр}^H, \lambda_{гр}^B)$. Входами в таблицу являются значение α и число степеней свободы ν , т.е. $\lambda_{гр} = \lambda^T(\alpha, \nu)$.
5. По данным вычислительного эксперимента находится оценка $\hat{\lambda}$.
6. Принимается или отвергается гипотеза H_0 путем сравнения оценки $\hat{\lambda}$ с граничными значениями $\lambda_{гр}$. Делаются выводы о значимости проверяемых параметров.

В зависимости от вида расположения допустимой (или критической) области (рис. 27) пункт 6 выполняется следующим образом.

- а) Допустимая область Λ расположена слева (рис. 27, а), т.е. значения $\lambda < \lambda_{гр}$ являются "естественными", а значения $\lambda \geq \lambda_{гр}$ – "неправдоподобно большими". В этом случае $\lambda_{гр}$ находится как $(1-\alpha)$ -квантиль, т.е. $\lambda_{гр} = \lambda_{1-\alpha} = \bar{\lambda}_\alpha$. Если

$\hat{\lambda} < \lambda_{гр} = \lambda_{1-\alpha}$, то принимается гипотеза H_0 , в противном случае, т.е. если $\hat{\lambda} \geq \lambda_{гр} = \lambda_{1-\alpha}$, гипотеза H_0 отвергается, и принимается гипотеза H_1 .

б) Допустимая область Λ находится справа (рис. 27, б), т.е. значения $\lambda \leq \lambda_{гр}$ являются "неправдоподобно малыми", а $\lambda > \lambda_{гр}$ – допустимыми, возможными. Тогда $\lambda_{гр}$ находится как α -квантиль или 100(1- α)-процент-точка, т.е. $\lambda_{гр} = \lambda_{\alpha} = \bar{\lambda}_{1-\alpha}$. И если $\hat{\lambda} > \lambda_{гр} = \lambda_{\alpha}$, то гипотеза H_0 принимается, в противном случае ($\hat{\lambda} \leq \lambda_{гр} = \lambda_{\alpha}$) гипотеза H_0 отвергается.

в) Имеют место две альтернативные гипотезы (рис. 27, в), т.е. вся область возможных значений λ разбивается на три части: "неправдоподобно малых" ($\lambda \leq \lambda_{гр}^H$), "неправдоподобно больших" ($\lambda > \lambda_{гр}^B$) и "естественных" ($\lambda_{гр}^H < \lambda < \lambda_{гр}^B$) значений. В этом случае границы допустимой области находятся как $\lambda_{гр}^H = \lambda_{\alpha/2} = \bar{\lambda}_{1-\alpha/2}$, $\lambda_{гр}^B = \lambda_{1-\alpha/2} = \bar{\lambda}_{\alpha/2}$ и, если $\lambda_{\alpha/2} < \hat{\lambda} = \lambda_{1-\alpha/2}$, то гипотеза H_0 принимается, в противном случае $\hat{\lambda} \leq \lambda_{\alpha/2}$, $\hat{\lambda} \geq \lambda_{1-\alpha/2}$ нулевая гипотеза отвергается, а принимается одна из альтернативных гипотез.

Возможен также другой порядок выбора правильной гипотезы, когда расчетное значение критической статистики $\hat{\lambda}$ рассматривается как значение q -квантиля и по таблице квантилей находят соответствующее численное значение q . Величина q сопоставляется с выбранным уровнем значимости α , и в зависимости от их сравнения принимается или отвергается гипотеза H_0 . Здесь также возможны три случая.

а) Допустимая область Λ расположена слева (рис. 27, а), тогда $\hat{\lambda}$ рассматривается как квантиль λ_{1-q} или процентная точка $\bar{\lambda}_q$, т.е. $\hat{\lambda} = \lambda_{1-q} = \bar{\lambda}_q$ и $q = \text{Вер}(\lambda \geq \hat{\lambda})$. При $q > \alpha$ или $q \leq \alpha$ гипотеза H_0 соответственно подтверждается или отвергается.

б) Допустимая область Λ расположена справа (рис. 27, б). В этом случае $\hat{\lambda} = \lambda_q = \bar{\lambda}_{1-q}$, $q = \text{Вер}(\lambda < \hat{\lambda})$. При $q < \alpha$ или $q \geq \alpha$ гипотеза H_0 соответственно принимается или отвергается.

в) Имеют место две альтернативные гипотезы (рис. 27, в). В этом случае при $\hat{\lambda} = \lambda_q = \bar{\lambda}_{1-q}$ и $\frac{\alpha}{2} < q < 1 - \frac{\alpha}{2}$ принимается гипотеза H_0 , в противном случае ($q \leq \frac{\alpha}{2}$ или $q \geq 1 - \frac{\alpha}{2}$) гипотеза H_0 отвергается.

Рассмотренные два способа принятия решений представлены в табл. 3. Достоинством второго способа принятия решения относительно гипотезы H_0 является то, что табличное значение q показывает при каком уровне значимости гипотезу H_0 можно принять или отвергнуть, а показатель считать значимым или незначимым.

Например, проверяется гипотеза H_0 о том, что коэффициент регрессии $b_1 = 0$ и назначено $\alpha = 0,01$. Известно, что коэффициент b_1 не может быть отрицательным, т.е. используется односторонний критерий (верхняя строка табл. 3). Пусть найденное табличное значение составляет $q = 0,015$. Принимается решение, что верна гипотеза H_0 и коэффициент регрессии незначим, однако при $\alpha = 0,02$ гипотезу H_0 следует отвергнуть и b_1 , считать значимым.

При исследовании технических систем для проверки статистических гипотез следует пользоваться данными, приведенными в табл. 3.

Расположение доверительной области	Первый способ		Второй способ		
	Нулевая гипотеза H_0 , показатель незначим	Альтернативная гипотеза H_1 , показатель значим	Определяемая вероятность $q = P_T$	Принимаемое решение	
				гипотеза H_0 , показатель незначим	гипотеза H_1 , показатель значим
	$\hat{\lambda} < \lambda_{гр} = \lambda_{1-\alpha, v} = \bar{\lambda}_{\alpha, v}$	$\hat{\lambda} \geq \lambda_{гр} = \lambda_{1-\alpha, v} = \bar{\lambda}_{\alpha, v}$	$P_T = (\hat{\lambda} = \lambda_{1-p}, \bar{\lambda}_q, v) = \text{Вер}(\lambda \geq \hat{\lambda})$	$P_T > \alpha$	$P_T \leq \alpha$
	$\hat{\lambda} > \lambda_{гр} = \lambda_{\alpha, v} = \bar{\lambda}_{1-\alpha, v}$	$\hat{\lambda} \leq \lambda_{гр} = \lambda_{\alpha, v} = \bar{\lambda}_{1-\alpha, v}$	$P_T = (\hat{\lambda} = \lambda_q = \bar{\lambda}_{1-q}, v) = \text{Вер}(\lambda < \hat{\lambda})$	$P_T < \alpha$	$P_T > \alpha$
	$\lambda_{гр}^H = \lambda_{\alpha/2, v} = \bar{\lambda}_{1-\alpha/2, v} < \hat{\lambda} < \lambda_{гр}^B = \lambda_{1-\alpha/2, v} = \bar{\lambda}_{\alpha/2, v}$	$\hat{\lambda} \leq \lambda_{гр}^H = \lambda_{\alpha/2, v} = \bar{\lambda}_{1-\alpha/2, v}$ или $\hat{\lambda} \geq \lambda_{гр}^B = \lambda_{1-\alpha/2, v} = \bar{\lambda}_{\alpha/2, v}$	$P_T = p(\hat{\lambda}_p, v) = p(\hat{\lambda}_{1-p}, v) = \text{Вер}[\lambda < \hat{\lambda}]$	$\frac{\alpha}{2} < P_T < 1 - \frac{\alpha}{2}$	$P_T \leq \frac{\alpha}{2}$ или $P_T \geq 1 - \frac{\alpha}{2}$

8.2. ОБРАБОТКА И АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ МОДЕЛИРОВАНИЯ СИСТЕМ

После того как спланирован вычислительный эксперимент, необходимо предусмотреть меры по организации его эффективной обработки и представления результатов. При выборе методов обработки существенную роль играют три особенности эксперимента с моделью системы.

1. Возможность получать при моделировании системы на ЭВМ большие выборки позволяет количественно оценить характеристики процесса функционирования системы, но превращает в серьезную проблему хранение промежуточных результатов моделирования. Эту проблему можно решить, используя рекуррентные алгоритмы обработки, когда оценки вычисляются по ходу моделирования, причем большой объем выборки дает возможность пользоваться при этом достаточно простыми для расчетов на ЭВМ асимптотическими формулами.

2. Сложность исследуемой системы при ее моделировании на ЭВМ часто приводит к тому, что априорное суждение о характеристиках процесса функционирования системы, например о типе ожидаемого распределения выходных переменных, является невозможным. Поэтому при моделировании систем широко используются непараметрические оценки и оценки моментов распределения.

3. Блочность конструкции компьютерной модели и раздельное исследование блоков.

Рассмотрим наиболее удобные для программной реализации методы оценки распределений и некоторых их моментов при достаточно большом объеме выборки (числе реализаций N). Математическое ожидание и дисперсия случайной величины X соответственно имеют вид:

$$\begin{aligned} \mu_X = M\{X\} &= \int_{-\infty}^{+\infty} x \cdot f(x) dx; \quad \sigma_X^2 = D\{X\} = M\{(x - \mu_X)^2\} = \\ &= \int_{-\infty}^{+\infty} (x - \mu_X)^2 f(x) dx, \end{aligned}$$

где $f(x)$ – плотность распределения случайной величины X , принимающей значения x .

При проведении имитационного эксперимента со стохастической моделью системы определить эти моменты нельзя, так как плотность распределения, как правило, неизвестна. Поэтому при обработке результатов моделирования приходится довольствоваться лишь некоторыми оценками моментов, полученными на конечном числе реализаций N . При независимых наблюдениях значений случайной величины X в качестве таких оценок используются

$$\bar{x} = \tilde{\mu}_X = \frac{\sum_{i=1}^N x_i}{N}; \quad S_b^2 = \tilde{\sigma}_X^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}{N},$$

где \bar{x} и S_b^2 – выборочное среднее и выборочная дисперсия, соответственно. Знак \sim над буквами означает, что эти выборочные моменты используются в качестве оценок математического ожидания $\tilde{\mu}_X$ и дисперсии $\tilde{\sigma}_X^2$.

К качеству оценок, полученных в результате статистической обработки результатов моделирования, предъявляются следующие требования:

1) несмещенность оценки, т.е. равенство математического ожидания оценки определяемому параметру $M\{\tilde{a}\} = a$, где \tilde{a} – оценка переменной (параметра) a ;

2) эффективность оценки, т.е. минимальность среднего квадрата ошибки оценки: $M\{(\tilde{a}_1 - a)^2\} \leq M\{(\tilde{a}_i - a)^2\}$, где \tilde{a}_1 – рассматриваемая оценка; \tilde{a}_i – любая другая оценка;

3) состоятельность оценки, т.е. сходимость по вероятности при $N \rightarrow \infty$ к оцениваемому параметру $\lim_{N \rightarrow \infty} M\{|\tilde{a} - a| \geq \varepsilon\} = 0$, $\varepsilon > 0$, либо, учитывая неравенство Чебышева, достаточное условие выполнения этого неравенства заключается в том, чтобы $\lim_{N \rightarrow \infty} M\{(\tilde{a} - a)^2\} = 0$.

Можно показать, что оценка $\bar{x} = \tilde{\mu}_X$ является несмещенной, эффективной и состоятельной, в то время как оценка $S_b^2 = \tilde{\sigma}_X^2$ является смещенной, эффективной и состоятельной.

Несмещенную оценку дисперсии $\tilde{\sigma}_X^2$ можно получить, вычисляя выборочную дисперсию вида

$$S_b^2 = \tilde{\sigma}_X^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}{N-1}.$$

Эта оценка также удовлетворяет условиям эффективности и состоятельности.

Если при моделировании процесса функционирования конкретной системы учитываются случайные факторы, то и среди результатов моделирования присутствуют случайные величины. В качестве оценок для искомых характеристик рассчитывают средние значения, дисперсии, корреляционные моменты и т.д.

Для оценки среднего значения случайной величины Y накапливается сумма возможных значений случайной величины y_k , $k = \overline{1, N}$, которые она принимает при различных реализациях. При этом ввиду несмещенности и состоятельности оценки имеем:

$$M\{\bar{y}\} = M\{Y\} = \mu_y; \quad D\{\bar{y}\} = D\{Y\} / N = \sigma_y^2 / N.$$

Для оценки дисперсии рационально организовать фиксацию результатов моделирования и использовать следующую формулу

$$\tilde{\sigma}_Y^2 = \frac{1}{N-1} \left[\sum_{k=1}^N y_k^2 - \left(\sum_{k=1}^N y_k \right)^2 / N \right].$$

В этом случае достаточно накапливать две суммы: значений y_k и их квадратов y_k^2 .

При обработке результатов вычислительного эксперимента наиболее часто возникают следующие задачи: определение эмпирического закона распределения случайной величины; проверка однородности распределений; сравнение средних значений и дисперсий переменных, полученных в результате моделирования, и т.д.

Задача определения эмпирического закона распределения случайной величины является наиболее общей из перечисленных, для ее решения требуется большое число реализаций N . В этом случае по результатам вычислительного эксперимента находят значения выборочного закона распределения $F_3(y)$ (или функции плотности $f_3(y)$) и выдвигают нулевую гипотезу H_0 о том, что полученное эмпирическое распределение согласуется с каким-либо теоретическим. Гипотезу H_0 проверяют с помощью статистических критериев согласия Колмогорова, Пирсона, Смирнова и других, причем необходимую в этом случае статистическую обработку результатов ведут по возможности в процессе моделирования системы на ЭВМ.

Для принятия или опровержения гипотезы выбирают некоторую случайную величину ε , характеризующую степень расхождения теоретического и эмпирического распределения, связанную с недостаточностью статистического материала и другими случайными причинами. Закон распределения этой случайной величины зависит от закона распределения случайной величины y и числа реализаций N при статистическом моделировании системы. Если вероятность расхождения теоретического и эмпирического распределений $P\{\varepsilon_T \geq \varepsilon\}$ велика в понятиях применяемого критерия согласия, то проверяемая гипотеза о виде распределения H_0 не опровергается. Выбор вида теоретического распределения $F(y)$ (или $f(y)$) проводится по графикам (гистограммам) $F_3(y)$ (или $f_3(y)$).

Критерий согласия Колмогорова основан на выборе в качестве меры расхождения ϵ величины $D = \max [F_3(y) - F(y)]$.

Из теоремы Колмогорова следует, что $\delta = D\sqrt{N}$ при $N \rightarrow \infty$ имеет функцию распределения

$$F(z) = P\{\delta < z\} = \sum_{k=-\infty}^{\infty} (-1)^k \cdot e^{-2 \cdot k^2 \cdot z^2}, \quad z > 0.$$

Если вычисленное на основе экспериментальных данных значение δ меньше, чем табличное значение при выбранном уровне значимости α , то гипотезу H_0 принимают, в противном случае расхождение между $F_3(y)$ и $F(y)$ считается неслучайным, и гипотеза H_0 отвергается.

Критерий Колмогорова целесообразно применять в тех случаях, когда известны все параметры теоретической функции распределения $F(y)$.

Критерий согласия Пирсона основан на определении в качестве меры расхождения ϵ величины

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^d (m_i - Np_i) / (Np_i),$$

где m_i – количество значений случайной величины y , попавших в i -й подынтервал; p_i – вероятность попадания случайной величины y в i -й подынтервал; d – количество подынтервалов, на которые разбивается интервал измерения в вычислительном эксперименте.

При $N \rightarrow \infty$ закон распределения величины ϵ зависит только от числа подынтервалов и приближается к закону распределения χ^2 (хи-квадрат) с $(d-r-1)$ степенями свободы, где r – число параметров теоретического закона распределения.

Из теоремы Пирсона следует, что, какова бы ни была функция распределения $F(y)$ случайной величины y , при $N \rightarrow \infty$ распределение величины χ^2 имеет вид

$$F_k(z) = P\{\chi^2 < z\} = 1 / [2^{k/2} \Gamma(k/2)] \int_0^z e^{-t/2} t^{(k/2-1)} dt, \quad z > 0,$$

где $\Gamma(k/2)$ – гамма-функция; z – значение случайной величины χ^2 ; $k = d - r - 1$ – число степеней свободы; функции распределения $F_k(z)$ табулированы.

По вычисленному значению $U = \chi^2$ и числу степеней свободы k с помощью таблиц находится вероятность $P\{\chi^2_T \geq \chi^2\}$. Если эта вероятность превышает некоторый уровень значимости α , то считается, что гипотеза H_0 о виде распределения не опровергается результатами вычислительного эксперимента.

Критерий согласия Смирнова. При оценке адекватности компьютерной модели реальной системы возникает необходимость проверки гипотезы H_0 , заключающейся в том, что две выборки принадлежат той же генеральной совокупности. Если выборки независимы и законы распределения совокупностей $F(u)$ и $F(z)$, из которых извлечены выборки, являются непрерывными функциями своих аргументов, то для проверки гипотезы H_0 можно использовать критерий согласия Смирнова. По имеющимся результатам вычисляют эмпирические функции распределения $F_3(X)$ и $F_3(Y)$ и определяют $D = \max |F_3(X) - F_3(Y)|$. Затем при заданном уровне значимости α находят допустимое отклонение

$$D_\alpha = \sqrt{\ln \alpha \cdot (1/N_1 + 1/N_2) / 2},$$

где N_1 и N_2 – объемы сравниваемых выборок для $F_3(X)$ и $F_3(Y)$, и проводят сравнение значений D и D_α : если $D > D_\alpha$, то нулевую гипотезу H_0 о тождественности законов распределения $F(X)$ и $F(Y)$ с доверительной вероятностью $1 - \alpha$ отвергают.

Критерий согласия Стьюдента. Сравнение средних значений двух независимых выборок, взятых из нормальных совокупностей с неизвестными, но равными дисперсиями $D[x] = D[y]$, сводится к проверке нулевой гипотезы H_0 : $\Delta = X - Y = 0$ на основании критерия согласия Стьюдента (t-критерия). Проверка по этому критерию сводится к выполнению следующих действий. Вычисляют оценку

$$t = \left[(\bar{X} - \bar{Y}) / \sqrt{(N_1 - 1)\tilde{\sigma}_x^2 + (N_2 - 1)\tilde{\sigma}_y^2} \right] / \sqrt{N_1 N_2 (N_1 + N_2 - 2) / (N_1 + N_2)},$$

где N_1 и N_2 – объемы выборок для оценок \bar{X} и \bar{Y} , соответственно; $\tilde{\sigma}_x^2$ и $\tilde{\sigma}_y^2$ – оценки дисперсий соответствующих выборок.

Затем определяют число степеней свободы $k = N_1 + N_2 - 2$, выбирают уровень значимости α и по таблице находят значение t_α . Расчетное значение t сравнивается с табличным t_α , и если $|t| < t_\alpha$, то гипотеза H_0 не опровергается результатами численного эксперимента.

Критерий согласия Фишера. Задача сравнения дисперсий сводится к проверке нулевой гипотезы H_0 , заключающейся в принадлежности двух выборок к одной и той же генеральной совокупности. Пусть необходимо сравнить две дисперсии $\tilde{\sigma}_1^2$ и $\tilde{\sigma}_2^2$, полученные при обработке результатов моделирования и имеющие k_1 и k_2 степеней свободы, соответственно, причем $\tilde{\sigma}_1^2 > \tilde{\sigma}_2^2$. Для того чтобы опровергнуть нулевую гипотезу $H_0: \tilde{\sigma}_1^2 = \tilde{\sigma}_2^2$, необходимо при уровне значимости α указать значимость расхождения между $\tilde{\sigma}_1^2$ и $\tilde{\sigma}_2^2$. При условии независимости выборок, взятых из нормальных совокупностей, в качестве критерия значимости используется распределение Фишера (F-критерий) $F = \tilde{\sigma}_1^2 / \tilde{\sigma}_2^2$, которое зависит только от числа степеней свободы $k_1 = N_1 - 1$, $k_2 = N_2 - 1$, где N_1 и N_2 – объемы выборок для оценок $\tilde{\sigma}_1^2$ и $\tilde{\sigma}_2^2$, соответственно.

Алгоритм применения критерия Фишера следующий:

- 1) вычисляется выборочное отношение $F = \tilde{\sigma}_1^2 / \tilde{\sigma}_2^2$;
- 2) определяется число степеней свободы $k_1 = N_1 - 1$, $k_2 = N_2 - 1$;
- 3) при выбранном уровне значимости α по таблицам F-распределения находят значения границ критической области $F_1 = 1 / [F_{1-\alpha/2}(k_1, k_2)]$; $F_2 = F_{\alpha/2}(k_1, k_2)$;
- 4) проверяется неравенство $F_1 \leq 1 \leq F_2$; если это неравенство выполняется, то с доверительной вероятностью $1 - \alpha$ нулевая гипотеза $H_0: \tilde{\sigma}_1^2 = \tilde{\sigma}_2^2$ может быть принята.

Хотя рассмотренные оценки искомых характеристик процесса функционирования системы, полученные в результате вычислительного эксперимента, являются простейшими, но охватывают большинство случаев, встречающихся в практике обработки результатов моделирования системы для целей ее исследования и проектирования.

Возможность фиксации при моделировании системы на ЭВМ значений переменных и их статистическая обработка для получения интересующих экспериментатора характеристик позволяют провести объективный анализ связей между этими величинами. Особенно существенно, когда одна из величин X является входом, а другая Y – выходом исследуемой системы. Связь между случайными величинами в этом случае определяет искомую характеристику системы. Такая связь носит вероятностный характер, т.е., зная конкретное значение $X = x_0$, можно предсказать лишь плотность распределения Y , которая в этом случае называется условной плотностью распределения $P(Y|X = x_0)$.

Корреляционный анализ результатов моделирования сводится к оценке разброса значений Y относительно среднего значения \bar{y} , т.е. к оценке силы корреляционной связи. Существование этих связей и их тесноту (силу) для схемы корреляционного анализа можно выразить с помощью коэффициента корреляции

$$r_{XY} = M\{X - M\{X\}\}M\{Y - M\{Y\}\} / \sqrt{D\{X\}D\{Y\}} =$$

$$= M\{X - \mu_X\}M\{Y - \mu_Y\} / (\sigma_X \sigma_Y),$$

т.е. второй смешанный центральный момент делится на произведение средних квадратичных отклонений, чтобы иметь безразмерную величину, инвариантную относительно единиц измерения рассматриваемых случайных переменных. Пусть результаты моделирования получены при N реализациях, а оценка коэффициента корреляции

$$\tilde{r}_{XY} = \frac{\sum_{k=1}^N (x_k - \bar{x})(y_k - \bar{y})}{\left[\sum_{k=1}^N (x_k - \bar{x})^2 \sum_{k=1}^N (y_k - \bar{y})^2 \right]^{1/2}} = \frac{\sum_{k=1}^N x_k y_k - N \bar{x} \bar{y}}{\left[\left(\sum_{k=1}^N x_k^2 - N \bar{x}^2 \right) \left(\sum_{k=1}^N y_k^2 - N \bar{y}^2 \right) \right]^{1/2}}.$$

Очевидно, что данное соотношение требует минимальных затрат машинной памяти на обработку результатов моделирования. Рассчитываемый при этом коэффициент корреляции $|\tilde{r}_{XY}| \leq 1$. Величина $\tilde{r}_{XY} = 0$ свидетельствует о взаимной независимости случайных переменных X и Y , исследуемых при моделировании.

При $\tilde{r}_{XY} = 1$ имеет место функциональная (детерминированная) зависимость. Случай $0 < \tilde{r}_{XY} < 1$ соответствует либо наличию линейной корреляции с рассеянием, либо наличию нелинейной связи между переменными.

Из-за влияния числа реализаций N при моделировании на оценку коэффициента корреляции необходимо убедиться в том, что $0 < \tilde{r}_{XY} < 1$ действительно отражает наличие статистически значимой корреляционной зависимости между исследуемыми переменными модели. Для этого необходимо проверить гипотезу $H_0: \tilde{r}_{XY} = 0$. Если гипотеза H_0 при анализе отвергается, то корреляционную зависимость признают статистически значимой.

Для проверки того, насколько отлична оценка коэффициента корреляции \tilde{r}_{XY} от его истинного значения, используют следующий подход. Фишер предложил такое нелинейное преобразование величины \tilde{r}_{XY} , при котором закон распределения

этой оценки, вообще говоря, довольно сложный, практически приближается к нормальному. Это преобразование производят по формуле

$$\hat{z} = \frac{1}{2} \ln \frac{1 + |\tilde{r}_{XY}|}{1 - |\tilde{r}_{XY}|}.$$

Среднеквадратичное отклонение случайной величины \hat{z} зависит только от числа опытов $\sigma_z = 1/\sqrt{N-3}$. Следовательно, область принятия гипотезы H_0 определяется неравенством

$$-\hat{z}_{\alpha/2} \leq \sqrt{N-3} \cdot \frac{1}{2} \ln \frac{1 + |\tilde{r}_{XY}|}{1 - |\tilde{r}_{XY}|} \leq \hat{z}_{\alpha/2},$$

где $\hat{z}_{\alpha/2}$ подчиняется нормированному гауссовскому распределению.

При анализе результатов моделирования системы важно отметить то обстоятельство, что даже если удалось установить тесную зависимость между двумя переменными, то отсюда еще непосредственно не следует их причинно-следственная взаимообусловленность. Возможна ситуация, когда случайные величины X и Y стохастически зависимы, хотя причинно они являются для системы независимыми. При статистическом моделировании наличие такой зависимости может иметь место, например, из-за коррелированности последовательностей псевдослучайных чисел, используемых для имитации событий, положенных в основу вычисления значений x и y .

Таким образом, корреляционный анализ устанавливает связь между исследуемыми случайными переменными компьютерной модели и оценивает тесноту этой связи. Однако в дополнение к этому желательно располагать моделью зависимости, полученной после обработки результатов моделирования.

Если при моделировании системы искомыми характеристиками являются оценки математического ожидания и корреляционной функции случайного процесса $y(t)$ на интервале моделирования $[0, T]$, то для нахождения этих оценок указанный интервал разбивают на отрезки с постоянным шагом Δt и накапливают значения процесса $y_k(t)$ для фиксированных моментов времени $t = t_m = m\Delta t$.

При обработке результатов моделирования оценки математического ожидания и корреляционной функции будем вычислять по формулам:

$$\bar{y}(t_m) = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N y_k(t_m);$$

$$\tilde{R}(\tau_1, \tau_2) = \frac{1}{N-1} \left[\sum_{k=1}^N y_k(\tau_1) y_k(\tau_2) - \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N y_k \sum_{k=1}^N y_k \right],$$

где τ_1, τ_2 – пробегают все значения t_m .

Для стационарных случайных процессов $y(t)$, обладающих эргодическим свойством (среднее по времени равно среднему по множеству) при обработке результатов моделирования для получения оценок \bar{y} и $\tilde{R}(\tau)$ можно рекомендовать следующие приближенные формулы

$$\bar{y} = \frac{\Delta t}{T} \sum_{m=1}^{T/\Delta t} y(t_m);$$

$$\tilde{R}(\tau) = \frac{\Delta t}{T-\tau} \sum_{m=1}^{(T-\tau)/\Delta t} y(t_m) y(t_m + \tau) - \bar{y}^2.$$

Для случая исследования сложных систем при большом числе реализаций N в результате моделирования на ЭВМ получается значительный объем информации о состояниях процесса функционирования системы. Поэтому необходимо так организовать в процессе вычислений фиксацию и обработку результатов моделирования, чтобы оценки для искомых характеристик формировались постепенно по ходу моделирования, т.е. без запоминания всей информации о состояниях процесса функционирования системы на всем интервале моделирования.

8.3. ИССЛЕДОВАНИЕ ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ

Решение задач прогнозирования должно носить системный характер. Необходимость системного подхода в прогнозировании вытекает из особенностей развития науки и техники, рост количества элементов, объектов различной природы, усложнение связей между ними и поведения объекта во внешней среде привели к созданию больших технических и производственных (организационно-экономических) систем.

Методом прогнозирования называется способ исследования объекта прогнозирования, направленный на разработку прогнозов. Методы прогнозирования могут быть разделены на три большие группы: статистические, причинно-следственные и комбинированные.

Классификация прогнозов осуществляется, как правило, по двум признакам – временному и функциональному. Как показывает практика, в задачах прогнозирования спроса наиболее широкое применение получили методы анализа временных рядов [12, 13]. В зависимости от периода времени различают краткосрочный (до трех месяцев), среднесрочный (до двух лет) и долгосрочный (более двух лет) прогнозы.

Модель прогнозирования представляет собой модель исследуемого объекта, записанную в математической форме. Можно выделить три основных класса моделей, которые применяются для анализа и /или прогноза: модели временных рядов, регрессионные модели с одним уравнением и системы одновременных уравнений.

Применительно к использованию методов, основанных на анализе временных рядов, задача прогнозирования обычно заключается в следующем. Для прогнозируемого показателя x собираются исходные данные в виде дискретного временного ряда

$$x(\tau_1), x(\tau_2), \dots, x(\tau_i), \dots, x(\tau_N);$$

здесь $\tau_i, i = \overline{1, N}$ – моменты времени наблюдения значений x . Наблюдение должно производиться через фиксированный временной интервал $\Delta\tau$, т.е.

$$\tau_1 = \tau_0 + \Delta\tau, \tau_2 = \tau_0 + 2\Delta\tau, \dots, \tau_N = \tau_0 + N \Delta\tau.$$

Временной ряд может быть получен двумя способами: в виде выборки из непрерывного временного ряда (случайного процесса) или накоплением значений x в течение интервала времени $\Delta\tau$.

Широкое распространение получили следующие модели временных рядов:

- тренда $y(t) = T(t) + \varepsilon_t$;
- сезонности $y(t) = S(t) + \varepsilon_t$;
- тренда и сезонности $y(t) = T(t) + \varepsilon_t + S(t) + \varepsilon_t$ (аддитивная) или $y(t) = T(t)S(t) + \varepsilon_t$ (мультипликативная);

здесь $T(t)$ – временной тренд заданного параметрического вида, например, линейный $T(t) = a + b(t)$; $S(t)$ – периодическая (сезонная) компонента; ε_t – случайная (стохастическая) компонента.

К моделям временных рядов относится множество более сложных моделей, таких как модели адаптивного прогноза, модели авторегрессии и скользящего среднего (ARIMA) и др. Их общей чертой является то, что они объясняют поведение временного ряда, исходя только из его предыдущих значений. Такие модели могут применяться, например, для изучения и прогнозирования объема продаж авиабилетов, спроса на мороженое, краткосрочного прогноза процентных ставок и т.п.

В регрессионных моделях с одним уравнением зависимая (объясняемая) переменная y представляется в виде функции $f(x, \beta) = f(x_1, \dots, x_k, \beta_1, \dots, \beta_p)$, где x_1, \dots, x_k – независимые (объясняющие переменные), а β_1, \dots, β_p – параметры.

Модели в виде системы одновременных уравнений могут состоять из тождеств и регрессионных уравнений, каждое из которых может, кроме объясняющих переменных, включать в себя также объясняемые переменные из других уравнений системы. Таким образом, системы одновременных уравнений содержат набор объясняемых переменных, связанных через уравнения системы.

При выборе метода для решения задачи прогнозирования необходимо учитывать: временной горизонт прогнозирования; используемые исходные данные; требуемую точность прогнозирования; ресурсы, выделяемые для разработки прогноза; уровень квалификации персонала; последствия плохого прогноза (уровень риска).

В большинстве случаев при исследовании спроса на услуги и товары рассматривают следующие факторы: средний спрос за определенный период; тренд; сезонные колебания; циклические колебания; случайные выбросы; автокорреляция.

Ряд значений, взятых за временной период, называется временным рядом. Отличительной чертой временных данных является то, что они естественным образом упорядочены во времени, кроме того, наблюдения в близкие моменты времени часто бывают зависимыми. Обычно временные ряды состоят из следующих элементов: тренда (показывает общий тип изменений данных), циклических колебаний, случайных колебаний. Это непредсказуемые случайные колебания, присутствующие в большинстве реальных временных рядов. Анализ таких колебаний можно использовать для вычисления вероятных ошибок и оценки надежности применений модели прогнозирования.

В общем случае задача прогнозирования может быть сформулирована следующим образом.

З а д а н ы: временной интервал (горизонт) прогнозирования; сведения о предшествующих значениях временного ряда (ВР)

$$z_1, z_2, \dots, z_N,$$

(обычно для последующей оценки автокорреляционной функции берут $N \geq 50$); требования к точности прогноза; группа методов построения моделей прогноза.

Т р е б у е т с я: выбрать метод (модель) прогнозирования, т.е. решить задачу идентификации класса модели; рассчитать параметры модели прогнозирования; оценить погрешность прогнозирования с использованием полученной модели.

Приведенный временной ряд является дискретным, его наблюдение делается через фиксированный временной интервал h .

Дискретные временные ряды могут появляться двумя путями.

1) выборкой из непрерывных временных рядов, здесь значения ряда считываются через некоторый фиксированный интервал h ;

2) накоплением переменной z в течение некоторого периода времени; в качестве такого периода могут рассматриваться день, месяц, год, а также выход партии продукта.

Таким образом, когда имеется N последовательных значений дискретного временного ряда, доступных для анализа, эти значения записываются $z_1, z_2, \dots, z_t, \dots, z_N$; они обозначают наблюдения, сделанные в равностоящие моменты времени $\tau_0 + h, \tau_0 + 2h, \dots, \tau_0 + th, \dots, \tau_0 + Nh$. Если за начало отсчета принимаются τ_0 и h за единицу времени, то z_t рассматривается как наблюдение в момент времени t .

Под идентификацией понимается использование статистических данных, в частности, значений ВР и любой другой информации с целью отыскания класса и варианта модели, удовлетворяющей требованиям адекватности. Задача идентификации решается в сочетании с задачей оценивания значений параметров исследуемого варианта модели.

При идентификации класса модели основными инструментами являются автокорреляционная функция (АКФ) и частная АКФ (ЧАКФ).

Значения ЧАКФ ϕ_{kk} задержки k находятся последовательным решением уравнения Юла-Уокера:

$$\begin{pmatrix} 1 & \rho_1 & \rho_2 & \dots & \rho_{k-1} \\ \rho_1 & 1 & \rho_1 & \dots & \rho_{k-2} \\ & & \dots & & \\ & & \dots & & \\ & & \dots & & \\ \rho_{k-1} & \rho_{k-2} & \rho_{k-3} & \dots & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \phi_{k1} \\ \phi_{k2} \\ \cdot \\ \cdot \\ \phi_{kk} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \rho_1 \\ \rho_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ \rho_k \end{pmatrix}$$

для $k = 1, 2, 3$ и т.д., т.е.

$$\phi_{11} = \rho_1,$$

$$\phi_{22} = \frac{\begin{vmatrix} 1 & \rho_1 \\ \rho_1 & \rho_2 \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} 1 & \rho_1 \\ \rho_1 & 1 \end{vmatrix}} = \frac{\rho_2 - \rho_1^2}{1 - \rho_1^2},$$

$$\phi_{33} = \frac{\begin{vmatrix} 1 & \rho_1 & \rho_1 \\ \rho_1 & 1 & \rho_2 \\ \rho_2 & \rho_1 & \rho_2 \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} 1 & \rho_1 & \rho_2 \\ \rho_1 & 1 & \rho_1 \\ \rho_2 & \rho_1 & 1 \end{vmatrix}}, \dots$$

Здесь ρ_j – значения АКФ; ϕ_{kj} – j -й коэффициент процесса авторегрессии порядка k .

При выборе наиболее целесообразного метода прогнозирования учитываются ошибки прогноза. В качестве показателей точности наиболее широкое распространение получили среднее абсолютное отклонение, стандартное отклонение, дисперсия и трекинг.

Среднее абсолютное отклонение (Mean Absolute Deviation – MAD) вычисляется как разность между действительным z и прогнозируемым z^{np} значениями временного ряда, например, ценой, без учета знака по формуле

$$m_a = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |z - z^{np}|,$$

где n – общее количество периодов.

В случае нормального распределения ошибок прогноза между стандартным отклонением s и m_a имеют место соотношения

$$s = \sqrt{\frac{\pi}{2}} m_a \approx 1,25 m_a, \quad m_a \approx 0,8s.$$

Если контрольные границы для ошибок устанавливаются $\pm 3s$ или $3,75m_a$, то 99,7 % прогнозируемых значений z^{np} будет находиться в этих границах.

Трекинг характеризует насколько точно прогноз "идет в ногу" с фактическими уменьшениями или увеличениями цен. Трекинг T_k вычисляется как отношение арифметической суммы отклонений прогнозов и m_a , т.е.

$$T_k = \frac{1}{m_a} \sum_{i=1}^n (z_i - z_i^{np}).$$

В правильно выбранной модели для прогнозирования значение T_k должно быть близко к нулю, это свидетельствует об отсутствии смещения ошибок в какую-либо сторону.

Важную роль в принятии решения об адекватности модели играют максимальные значения абсолютной

$$dz_{\max} = \max_i \{ |z_i - z_i^{\text{пп}}|; i = N_1 + 1, \dots, N \}$$

и относительной погрешности прогноза

$$\varepsilon_{\max} = \max_i \left\{ \left| \frac{z_i - z_i^{\text{пп}}}{z_i} \right| 100 \% ; i = N_1 + 1, \dots, N \right\},$$

где N_1 – число значений ВР, по которым определяются параметры модели.

Кроме того, могут использоваться средняя относительная погрешность

$$\bar{\varepsilon} = \frac{1}{N - N_1} \sum_{i=N_1+1}^N \frac{|z_i - z_i^{\text{пп}}|}{z_i} 100 \%,$$

и процент прогнозируемых значений с отклонением от действительного значения на некоторую задаваемую величину Δz_g , т.е.

$$p(\Delta z_g) = \frac{m(\Delta z_g)}{N - N_1} 100 \%,$$

где $m(\Delta z_g)$ – число точек с $|z_i - z_i^{\text{пп}}| > \Delta z_g$.

Расчет модели для прогнозирования включает следующие этапы:

- 1) предварительная обработка статистических данных;
- 2) анализ процесса авторегрессии (АР);
- 3) анализ процесса скользящего среднего (СС);
- 4) построение комбинированной модели авторегрессии скользящего среднего АРСС (1,1).

Основная задача данного этапа – получение исходного временного ряда и расчет автокорреляционной функции (АКФ).

Во временном ряде известные значения $z_i, i = \overline{1, N}$ должны следовать через равные промежутки времени (не должно быть пропусков) и среди этих значений не должно быть аномальных, резко выделяющихся, которые могли быть вызваны разного рода ошибками. Наличие аномальных значений проверяется, например, по t -критерию. При необходимости предварительно проводится расчет уравнений линейной или нелинейной регрессии.

Определение АКФ включает следующие операции:

- расчет среднего значения ВР

$$\bar{z} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N z_i,$$

- оценка значений автоковариационной функции

$$\hat{\gamma}_k = \frac{1}{N - k} \sum_{i=1}^{N-k} (z_i - \bar{z})(z_{i+k} - \bar{z}), \quad k = 0, 1, 2, 3, \dots,$$

- оценка значений АКФ

$$\hat{\rho}_k = \frac{\hat{\gamma}_k}{\hat{\gamma}_0}, \quad k = 0, 1, 2, 3, \dots$$

Максимальное число значений АКФ берется не более чем $\frac{N}{4}$.

Для оценки ошибки при расчете значений ρ_k используется критерий Барлетта. Этот критерий позволяет проверить: является ли ρ_k практически нулем для временных задержек $k > q$.

В основе критерия лежит соотношение

$$\text{Var}[\hat{\rho}_k] = \hat{\sigma}_{\rho_k}^2 \approx \frac{1}{N} \left\{ 1 + 2 \sum_{v=1}^q \rho_v^2 \right\}, \quad k > q,$$

здесь $\text{Var}[\hat{\rho}_k]$ характеризует дисперсию ошибки в оценке $\hat{\rho}_k$, $\sqrt{\text{Var}[\hat{\rho}_k]}$ стандартная ошибка σ_{ρ_k} , при этом $\sum_{v=1}^0 \rho_v^2 = 0$.

Например, для $N = 100$ получены значения $\hat{\rho}_1 = 0,5$, $\hat{\rho}_2 = 0,1$.

Сначала проверяем значимость оценки $\hat{\rho}_1$. В этом случае задается $q = 0$, тогда $\sum_{v=1}^0 \rho_v^2 = 0$ и $\text{Var}[\hat{\rho}_1] \approx \frac{1}{N} = 0,01$, т.е.

$$\sigma_{\rho_1} = \sqrt{\text{Var}[\hat{\rho}_1]} = 0,1.$$

Так как $\hat{\rho}_1$ в пять раз больше σ_{ρ_1} , то считается, что $\hat{\rho}_1$ значимо отличается от нуля.

Далее проверяется значимость оценки $\hat{\rho}_2 = 0,1$. Для этого задается $q = 1$. В этом случае

$$\text{Var}[\hat{\rho}_2] \approx \frac{1}{N} \{ 1 + 2\rho_1^2 \} = 0,15 \quad \text{или} \quad \sigma_{\rho_2} = \sqrt{\text{Var}[\hat{\rho}_2]} = 0,12.$$

Таким образом, $\hat{\rho}_2 \approx \sigma_{\rho_2}$ и следует считать незначимым и полагать равным нулю.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящее время Всеобщее Управление Качеством все в большей степени становится идеологией, охватывающей все слои современного общества. Обеспечение качества требует объединения творческого потенциала и практического опыта многих специалистов. Поэтому знание основных принципов ВУК и навыки их практического применения необходимы каждому выпускнику технических специальностей вузов.

Характерной чертой развития промышленности является рост сложности ЭС и оборудования, оказываемых услуг и выполняемых работ, появление производственных систем, объединенных в единые автоматизированные комплексы. Современные ЭС состоят из многих сотен деталей, что создает условия для организации специализированных предприятий по их массовому изготовлению в условиях автоматизации технологических процессов. В результате усложняются производственные связи, что обусловлено специализацией производств, в создании конечного продукта принимают участие множество различных предприятий. Поэтому решать проблему качества можно только на научной основе, на всех уровнях управления в промышленности.

Качество продукции и услуг в нашей стране на протяжении многих лет традиционно было значительно ниже, чем в других развитых странах, однако в последние годы наметилась тенденция к повышению суммарного роста качества отечественной продукции и повышению ее конкурентоспособности. Такая положительная динамика обеспечивается за счет внедрения на предприятиях современных систем управления качеством, методов контроля продукции, а также стремлением производителей выпускать продукцию, соответствующую мировым стандартам в области качества.

Цель пособия – помочь студентам в усвоении теоретических знаний по управлению качеством продукции ЭС и в оценке его комплексных и единичных показателей различными методами, поскольку недооценка значения качества продукции и необходимости систематической и целенаправленной работы по его улучшению приводит к потере позиций российской промышленности во многих ключевых отраслях.

Содержание пособия соответствует стандарту специальности 210201 "Проектирование и технология радиоэлектронных средств" всех форм обучения. Материалы пособия могут быть полезны также для студентов и магистрантов других технических специальностей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Всеобщее управление качеством : учебник для вузов / О.П. Глудкин, Н.М. Горбунов, А.И. Гуров, Ю.В. Зорин ; под ред. О.П. Глудкина. – М. : Радио и связь, 1999. – 600 с.
2. Муромцев, Д.Ю. Управление качеством электронных средств : учебное пособие / Д.Ю. Муромцев, И.В. Тюрин, А.А. Кабанов. – Тамбов : Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2005. – Ч. 1. – 80 с.
3. Управление качеством электронных средств : учебник для вузов / О.П. Глудкин, А.И. Гуров, А.И. Коробов [и др.]. – М. : Высшая школа, 1994. – 412 с.
4. Писаревский, А.Н. Системы технического зрения (принципиальные основы, аппаратное и математическое обеспечение) / А.Н. Писаревский, А.Ф. Чернявский, Г.К. Афанасьев [и др.]. – Л. : Машиностроение, 1988. – 423 с.
5. Власов, В.Е. Системы технологического обеспечения качества компонентов микроэлектронной аппаратуры / В.Е. Власов, В.П. Захаров, А.И. Коробов ; под ред. А.И. Коробова. – М. : Радио и связь, 1987. – 160 с.
6. Беннеттс, Р. Дж. Проектирование тестопригодных логических схем / Р. Дж. Беннеттс. – М. : Радио и связь, 1990. – 177 с.
7. Подгузов, В.А. Управление качеством : учебно-практическое пособие / В.А. Подгузов. – М. : Изд-во Московской финансово-юридической академии, 2001. – 64 с.
8. Гиссин, В.И. Управление качеством продукции : учебное пособие / В.И. Гиссин. – Ростов н/Д. : Феникс, 2000. – 256 с.
9. Спицнадель, В.Н. Системы качества (в соответствии с международными стандартами ISO семейства 9000) : учебное пособие / В.Н. Спицнадель. – СПб. : Издательский дом "Бизнес-пресса", 2000. – 336 с.
10. Фомин, В.Н. Квалиметрия. Управление качеством. Сертификация : курс лекций / В.Н. Фомин. – М. : Ассоциация авторов и издателей "Тандем", Изд-во "ЭКМОС", 2000. – 320 с.
11. Мищенко, С.В. История метрологии, стандартизации, сертификации и управления качеством : учебное пособие / С.В. Мищенко, С.В. Пономарев, Е.С. Пономарева [и др.]. – Тамбов : Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2004.
12. Леман, Э. Проверка статистических гипотез / Э. Леман. – М. : Наука, 1964.
13. Уилкс, С. Математическая статистика / С. Уилкс. – М. : Наука, 1967.

Оглавление

ВВЕДЕНИЕ	3
1. ОСНОВНЫЕ ИНСТРУМЕНТЫ УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ	4
1.1. Основные положения	4
1.2. Диаграмма сродства	5
1.3. Диаграмма связей	6
1.4. Древоидная диаграмма	9
1.5. Матричная диаграмма	11
1.6. Стрелочная диаграмма	13
1.7. Диаграмма процесса	15
1.8. Матрица приоритетов	16
Вопросы для контроля	17
2. РАЗВЕРТЫВАНИЕ ТРЕБОВАНИЙ ПОТРЕБИТЕЛЯ И КОНЦЕПЦИЯ ДОМА КАЧЕСТВА	18
2.1. Развертывание Функции Качества	18
2.2. Элементы и инструменты Функции Качества	20
2.3. Дом Качества и этапы отслеживания требований потребителя ..	21
2.4. Взаимосвязь инструментов контроля и управления качеством ..	24
Вопросы для контроля	27
3. ЭЛЕМЕНТЫ АНАЛИЗА КАЧЕСТВА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПРОИЗВОДСТВА ЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ	27
3.1. Выбор показателей качества	27
3.2. Контроль качества технологических процессов	29
3.3. Анализ качества технологических процессов по критериям точности и стабильности	31
Вопросы для контроля	33
4. ОПЕРАЦИОННЫЙ, ФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ И ПАРАМЕТРИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ	33
4.1. Общие сведения об операционном контроле	33
4.2. Применение тестовых структур при операционном контроле ...	35
4.3. Общие сведения о функциональном и параметрическом контроле	37
4.4. Тесты функционального контроля качества	38
4.5. Тесты параметрического контроля качества	40
4.6. Оценка тестопригодности электронных средств	42
4.7. Автоматизированные системы построения тестов контроля качества электронных средств	44
Вопросы для контроля	46
5. МЕЖДУНАРОДНЫЕ СТАНДАРТЫ В ОБЛАСТИ КАЧЕСТВА ...	--
5.1. Общие сведения	
5.2. Стандарты ISO 9000	47
5.3. Система QS-9000	51
5.4. Стандарты ISO 14000	52
Вопросы для контроля	55
6. СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ	55
6.1. Общие сведения	55
6.2. Создание систем качества	56
6.3. Обеспечение функционирования и проверки систем качества ...	59
6.4. Совершенствование систем качества и управления производством	61
Вопросы для контроля	63
7. СЕРТИФИКАЦИЯ И ПРАВОВЫЕ АСПЕКТЫ В ОБЛАСТИ КАЧЕСТВА	64
7.1. Основные положения	64
7.2. Сертификация продукции и систем качества	66
7.3. Основные законы РФ в области качества	67
Вопросы для контроля	68

8. ПРОВЕРКА СТАТИСТИЧЕСКИХ ГИПОТЕЗ И ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ НАБЛЮДЕНИЙ	69
8.1. Основные положения теории проверки статистических гипотез	69
8.2. Обработка и анализ результатов моделирования систем	78
8.3. Исследование временных рядов	86
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	93
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	94