

С. Я. Гродзенский

УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ

3-е издание

**ЭВОЛЮЦИЯ МЕТОДОВ УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ
КАЧЕСТВО, ПОКАЗАТЕЛИ КАЧЕСТВА, УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ
ПРИНЦИПЫ ВСЕОБЩЕГО УПРАВЛЕНИЯ НА ОСНОВЕ КАЧЕСТВА
ИНСТРУМЕНТЫ СТАТИСТИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА
МЕТОДЫ УМЕНЬШЕНИЯ ВАРИАБЕЛЬНОСТИ
ЭЛЕМЕНТЫ ТЕОРИИ НАДЕЖНОСТИ**



• ПРОСПЕКТ •

С. Я. Гродзенский

УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ

У Ч Е Б Н И К

Издание третье,
переработанное и дополненное



Электронные версии книг на сайте
www.prospekt.org



• ПРОСПЕКТ •

Москва
2021

УДК 005.6(075.8)
ББК 65.2/4-80я73
Г86

Электронные версии книг
на сайте www.prospekt.org

Автор:

Гродзенский С. Я., доктор технических наук, профессор, действительный член Академии проблем качества.

Г86 **Гродзенский С. Я.** Управление качеством : учебник. — 3-е изд., перераб. и доп. — Москва : Проспект, 2021. — 368 с.

ISBN 978-5-392-32587-0

В учебнике согласно требованиям государственных образовательных стандартов рассматриваются вопросы метрологии, стандартизации и сертификации как составляющих качество продукции. Исследуются вопросы статистического контроля и управления, разбирается вероятностный, статистический и физический смысл показателей надежности, анализируются модели отказов на основе предложенного автором статистико-физического подхода. Материал, составивший содержание учебника, соответствует программам курсов «Менеджмент качества», «Статистические методы контроля и управления», «Всеобщее управление качеством», «Стандартизация и сертификация», «Надежность изделий радиоэлектроники», читаемых студентам и магистрантам.

Учебник предназначен для студентов, обучающихся по техническим и экономическим специальностям и направлениям, преподавателей технических вузов, менеджеров, экономистов и инженеров. Может быть использован при подготовке кадров, а также при повышении квалификации специалистов.

УДК 005.6(075.8)
ББК 65.2/4-80я73

Учебное издание

ГРОДЗЕНСКИЙ СЕРГЕЙ ЯКОВЛЕВИЧ
УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ

Учебник

Подписано в печать 17.08.2020. Формат 60·90 ¹/₁₆.

Печать цифровая. Печ. л. 23,0. Тираж 1000 (1-й завод 200) экз.

ООО «Проспект»

111020, г. Москва, ул. Боровая, д. 7, стр. 4.

ISBN 978-5-392-32587-0

© Гродзенский С. Я., 2016
© Гродзенский С. Я., 2020, с изменениями
© ООО «Проспект», 2020

Author:

Grodzenskiy S. Y., Doctor of Engineering Science, Professor, the member of the Academy of Quality Problems.

Grodzenskiy S. Y.

Quality Control : Textbook. – 3rd ed., rev. and exp. – Moscow :
Prospekt, 2021. – 368 p.

ISBN 978-5-392-32587-0

In the textbook, in accordance with the requirements of state educational standards, issues of metrology, standardization and certification are considered as components of product quality. The issues of statistical control and management are investigated, the probabilistic, statistical and physical meaning of reliability indicators are analyzed, failure models are analyzed based on the statistical-physical approach proposed by the author. The material that made up the content of the textbook corresponds to the programs of the courses “Quality Management”, “Statistical Methods of Control and Management”, “Total Quality Management”, “Standardization and Certification”, “Reliability of Radio Electronics” read to students and undergraduates.

The textbook is intended for students studying in technical and economic specialties and directions, teachers of technical universities, managers, economists and engineers. It can be used for personnel training, as well as for professional development of specialists.

© Grodzenskiy S. Y., 2016
© Grodzenskiy S. Y., 2020, with changes
© Prospekt LLC, 2020

ISBN 978-5-392-32587-0

ПРЕДИСЛОВИЕ К ТРЕТЬЕМУ ИЗДАНИЮ

Эффективное управление качеством невозможно без квалифицированных кадров. В конце 1980-х гг. в нашей стране была открыта специальность «Метрология, стандартизация и управление качеством», позднее разделившаяся на «Метрологию и метрологическое обеспечение» и «Стандартизацию и сертификацию», а в 1988 г. была открыта специальность «Управление качеством».

Понятие «качество» многозначно и, по нашему мнению, учебник по управлению качеством должен содержать сведения по истории систем качества, философии качества, стандартизации, сертификации, прикладной теории надежности и другим предметам, являющимся частями весьма широкой дисциплины «управление качеством».

В третьем издании учебника пятнадцать глав. Его структура позволяет изучать отдельные части в наиболее удобном для пользователя порядке. Согласно Болонской декларации, есть две ступени образования: магистр и бакалавр. Бакалавриат — это первая ступень образования. Диплом бакалавра чаще всего имеет прикладной характер и направлен на практическую деятельность. Магистратура — вторая ступень. Магистратура предполагает глубокое изучение теоретической программы и последующую научную или руководящую деятельность.

Первые главы настоящего учебника носят общий характер и подходят в первую очередь для подготовки магистрантов, последующие, описывающие конкретные инструменты контроля и управления качеством, ближе к программе бакалавриата.

Вспоминаю встречи с выдающимся математиком Б. В. Гнеденко. Беседа с Борисом Владимировичем, я мог оценить его дар рассказчика. О чем бы он ни повествовал, его хотелось слушать не прерывая. А говорил он на самые разные темы. Например, что с аспирантской поры имеет интерес к истории науки.

Мне пришлось по душе его мысль о необходимости в каждом учебнике исторического очерка соответствующей дисциплины, «чтобы читатель мог познакомиться с основными этапами ее (соответствующей отрасли науки. — С. Г.) развития, с последовательным совершенствованием ее понятий и постепенным наращиванием результатов, — го-

ворил Гнеденко, и продолжал, рассуждая об истории теории вероятностей: — Представляете, как было бы интересно выяснить, кто же самым первым поставил вопрос о количественном измерения возможности появления случайного события. Кто первым считал отношение числа благоприятных исходов к общему числу произведенных опытов? Это могли быть Галилей, Паскаль, Ферма, или, может быть, Гюйгенс».

Следуя совету Б. В. Гнеденко, в начале каждого раздела настоящего учебника даются сведения по истории вопроса, рассматриваемого ниже, — краткий исторический очерк на тему «с чего все началось».

Сократ говорил: «Я не могу никого ничему научить, я только могу заставить думать». Мне кажется, предназначение учителя не «заставлять», а вызывать естественное добровольное желание думать. С надеждой, что настоящий учебник вызовет такое желание, предлагаю его читателю.

ПРЕДИСЛОВИЕ КО ВТОРОМУ ИЗДАНИЮ

Выпуск второго издания учебника «Управление качеством» вслед за первым обусловлен двумя причинами. Во-первых, тираж первого издания полностью разошелся за несколько месяцев, во-вторых, наука о качестве развивается настолько стремительно, что у любого учебного пособия по этой дисциплине первые «признаки старения» начинают проявляться сразу после выхода в свет. Если в математике, физике, химии и некоторых других фундаментальных науках основы остаются незыблемыми на протяжении десятилетий, а иногда и веков, в прикладных исследованиях все подчас меняется стремительно и почти нет «истин в последней инстанции».

Инструментами обеспечения качества продукции и услуг признаются стандартизация, метрология и сертификация. Одной из важнейших характеристик качества продукции является надежность. Метрология — широкая отрасль знаний и заслуживает отдельного учебника. Во второе издание добавлены главы об основах сертификации и элементах теории надежности и значительно расширен раздел, посвященный стандартизации.

После выхода первого издания автору часто задается вопрос, как правильно назвать учебную дисциплину — «Управление качеством» или «Менеджмент качества»? Вопрос непростой несмотря на то, что любой англо-русский словарь трактует *management* как управление. «Управление» и «менеджмент» — понятия схожие, но есть между ними и различия, касающиеся применения в конкретной ситуации.

«Управление» — понятие более емкое, поскольку «менеджмент» относится лишь к части управленческих механизмов. Управление в первую очередь опирается на практику, в то время как менеджмент — на теорию. Иногда управление противопоставляется менеджменту как система устаревших инструментов, например, если проект функционирует успешно, то говорят о хорошо отлаженном менеджменте, а когда происходит сбой, то возникает необходимость «ручного управления».

Главный критерий эффективности управления — достижение цели. Если речь идет о менеджменте, то учитывается эффективность распре-

деления ресурсов, т. е. достижение цели при минимальных затратах. Менеджмент — это наука, управление — это ряд наук, каждая со своим предметом и методами.

В международном стандарте ИСО 9000: 2015 «Системы менеджмента качества. Основные положения и словарь» (в РФ действует идентичный аналог) даются следующие определения.

Менеджмент качества (*quality management*) — скоординированная деятельность по руководству и управлению организацией применительно к качеству включает все функции общего руководства по разработке политики в области качества, установления целей, полномочий и ответственности, а также процессы планирования, контроля и обеспечения качества, с помощью которых в рамках системы качества происходит реализация указанных функций.

Управление качеством (*quality control*) — составная часть менеджмента качества, направленная на выполнение требований к качеству. Управление качеством представляет собой методы и виды деятельности оперативного характера, используемые для удовлетворения требований к качеству и ориентированные на устранение недостатков на всех стадиях «петли качества».

Таким образом, понятие «управление» в определенном смысле более широкое, чем «менеджмент». Высказывалось мнение, что в будущем «менеджмент» исчезнет, а останется «управление». Однако в настоящее время «менеджмент качества» представляет собой систему, в которой «управление качеством» — элемент, хотя и очень важный. Из этих соображений мы уверенно называем настоящий учебник «Управление качеством».

XX век в действительности был веком производительности. Я думаю, мы с уверенностью можем сказать, что приближаемся к веку качества.

Дж. Джуран

ВВЕДЕНИЕ

Разработанные в США в первой половине XX в. приемы менеджмента (от англ. *management* — управление, организация) качества, основанные на статистических методах, были затем применены в Японии и, получив там развитие, помогли Стране восходящего солнца осуществить «экономическое чудо», которое затем произошло во многих странах, но, к сожалению, до сих пор не наблюдается в России.

И все-таки хочется верить, что пророчески звучат слова русского философа Ивана Ильина (1883–1954), высланного из России в 1922 г. в числе других русских интеллектуалов, писавшего в 1928 г. в издаваемом им в Берлине журнале «Русский колокол»: «Верим и знаем: придет час, и Россия восстанет из распада и унижения и начнет эпоху нового расцвета и нового величия. Но возродится она и расцветет лишь после того, как русские люди поймут, что спасение надо искать в качестве! Всмотритесь в пути и судьбы России, вдумайтесь в ее крушение и унижение. И вы увидите, что все основные затруднения ее были от объема и количества... Количественные пути исхожены, выстраданы и разоблачены, и количественные иллюзии на наших глазах изживаются до конца. Надо творчески развязать качественные силы России» [Русский колокол. 1928. № 4. С. 3–7].

Возникает вопрос, как правильно назвать учебную дисциплину — «Управление качеством» или «Менеджмент качества»? Вопрос непростой несмотря на то, что любой англо-русский словарь трактует *management*, как управление. «Управление» и «менеджмент» — понятия схожие, при определенных условиях их можно считать синонимами, но есть между ними и различия, касающиеся применения в конкретной ситуации.

Глагол «управлять» в «Толковом словаре живого великорусского языка» В. Даля трактуется как «править, давая ход, направление; распорядиться, заведывать, быть хозяином распорядителем...». В России до 1917 г. слово «управа» применялось для названия учреждений, ве-

давших определенными административными делами: городские, земские, врачебные и другие управы. В русском языке термин «управление» имеет более широкое толкование, чем «менеджмент», поскольку управляют автомобилем, проектом, базой данных, отдельным человеком, коллективом людей и т. д.

Слово «менеджмент» вошло в наш словарный обиход с начала 1990-х гг., когда возникла необходимость в принципиально новой системе управления на всех уровнях. «Менеджмент» происходит от староанглийского *management*, означавшего «искусство объезжать лошадей». Это слово было введено в оборот в Англии в период промышленной революции XVIII–XIX вв. В широком толковании менеджер — «тот, кто маневрирует действиями».

В англоязычных странах оно употребляется в различных значениях, но всегда применительно к управлению хозяйственной деятельностью, при этом иногда добавляется слово *business* (*business management*). Израильский и американский специалист по эффективности менеджмента Ицхак Адизес (р. 1937) определяет менеджмент как «процесс построения отношений между людьми, с тем чтобы их организация была эффективной и результативной в краткосрочной и долгосрочной перспективе».

Главный критерий эффективности управления — решение поставленной задачи. Если речь идет о менеджменте, то учитывается достижение цели при минимальных затратах и получение при этом максимальной прибыли. Менеджмент — это наука, управление — это ряд наук, каждая со своим предметом и методами.

В международном стандарте ИСО 9000: 2015 «Системы менеджмента качества. Основные положения и словарь» (в РФ действует идентичный аналог) даются следующие определения.

Менеджмент качества (*quality management*) — скоординированная деятельность по руководству и управлению организацией применительно к качеству включает все функции общего руководства по разработке политики в области качества, установления целей, полномочий и ответственности, а также процессы планирования, контроля и обеспечения качества, с помощью которых в рамках системы качества происходит реализация указанных функций.

Управление качеством (*quality control*) — составная часть менеджмента качества, направленная на выполнение требований к качеству. Управление качеством представляет собой методы и виды деятельности оперативного характера, используемые для удовлетворения требований к качеству и ориентированные на устранение недостатков на всех стадиях «петли качества».

Таким образом, понятие «управление» в определенном смысле более широкое, чем «менеджмент». Однако применительно к качеству «менеджмент качества» представляет собой систему, в которой

«управление качеством» — элемент, хотя и очень важный. Из этих соображений мы называем настоящий учебник «Управление качеством».

Управление качеством — часть общей науки управления, включающей знания из других областей, и в частности, науки о человеческом поведении. Основные функции управления были сформулированы в 1920-е гг. французским экономистом Анри Файолом (*Henri Fayol*, 1841–1925): «Управлять — значит прогнозировать и планировать, организовывать, руководить командой, координировать и контролировать». На современном этапе управление качеством представляет собой триаду, включающую планирование требуемого качества, контроль показателей качества в процессе производства и повышение качества с целью сокращения потерь.

Во многих западноевропейских языках слово «качество» (англ. *quality*, франц. *qualité*, итал. *qualità*, нем. *Qualität*, португ. *qualidade*) происходит от латинского *quails*, что означает — какой, или из чего сделан продукт. Поэтому наука о качестве получила название «квалитология» и состоит из трех основных частей: теории качества, управления качеством и квалитметрии. Предметом теории качества является изучение экономических, социальных, информационных и других аспектов качества продукции при ее производстве и применении. Управление качеством — наука, занимающаяся разработкой научных основ и методов обеспечения и управления качеством. Современная квалитметрия (от «квалис» и древнегреческого «метрео» — измерять) изучает методы количественного и качественного оценивания объектов различной природы, измерения свойств продукции и оценки ее качества.

Основной признак технической науки — наличие определенной конкретной проблемы, т. е. расхождение между идеальным (*status idea*) и реальным состояниями (*status quo*). Цель науки — найти способы и методы разрешения проблемы. В научных исследованиях постоянно используются термины «метод», «методология», «методика». Если идти от общего к частному, то правильной будет следующая иерархия:

Методология, 1) в узком смысле слова — совокупность процедур приемов и методов науки, объединенных в единую конструктивную программу и служащих средствами для постижения того или иного объекта научного знания; 2) в широком смысле слова — совокупность методов, используемых в той или иной области деятельности для реализации определенных целей [Большая Российская энциклопедия. М., 2012. Т. 20. С. 135].

Иными словами, это общие принципы, на которые мы опираемся, проводя исследования. Методология — это теоретическое изучение этих методов, наука о них.

Метод (от греч. μέθοδος — путь познания, теория) — систематизированная совокупность шагов, которые необходимо предпринять,

чтобы выполнить определенную задачу, способ достижения конкретного результата в практической деятельности, предполагающий определенную последовательность действий на основе имеющегося (составленного) плана. Если методология — система методов, то метод — это отдельный элемент методологии.

Методика — набор конкретных инструкций, регламентирующих действия человека в определенной ситуации, алгоритм, способ или путь теоретического исследования. Методика — это, как правило, некий готовый «рецепт». Метод направлен на решение широкого круга задач, методика — на решение конкретной задачи.

Наука об управлении качеством сформировалась в условиях коренной перестройки производства, начавшейся в середине XX в., на основе трансформации *индустриального общества в постиндустриальное*, когда для решения многоплановой проблемы качества уже не годились традиционные подходы. Управление качеством продукции приобретает все большее значение, поскольку более качественный товар повышает шансы в конкурентной борьбе за рынки сбыта. Высокое качество при низкой цене — стратегия производителей для выживания в бизнесе, означающая, что качество никогда не бывает слишком высоким, а издержки производства — достаточно низкими.

Контроль и управление качеством основаны на выводах *математической статистики* — раздела математики, посвященного математическим методам систематизации, обработки и использования статистических данных для научных и практических выводов [Большая Российская энциклопедия: Т. 19. М., 2012. С. 349]. Статистические методы — самостоятельный элемент системы качества предприятия. Их условно делят на три группы.

1. Статистические методы анализа (изучение причин дефектов, оценка эффективности принимаемых мер), которые необходимы для сертификации и аттестации продукции. При этом изучается вид плотности распределения контролируемого параметра и с помощью специальных средств сопоставляется значение достигнутого уровня качества с требованиями технических условий.

2. Статистическое регулирование технологических процессов (раньше оно называлось в специальной литературе «промежуточным контролем»), дающее возможность своевременно выявлять нарушения в производстве и тем самым уменьшать вероятность выпуска дефектной продукции.

3. Статистический приемочный контроль (контроль готовых партий продукции, принятие решения о приемке либо браковке), в частности, при проведении приемо-сдаточных испытаний готовой продукции. Грамотно спланированный выборочный приемочный контроль позволяет защищать интересы как поставщика, так и потребителя.

Важнейшей составляющей качества продукции является ее надежность. Поэтому в учебник включен раздел, посвященный элементам теории надежности.

В результате изучения настоящего курса слушатель должен:

- знать терминологию в области управления качеством и теории надежности, основные методы контроля и статистического регулирования технологических процессов;
- знать основные принципы *TQM* («Всеобщего управления на основе качества»);
- уметь планировать контрольные испытания на надежность, в том числе с использованием математического моделирования;
- иметь представление о методах обеспечения качества промышленных изделий;
- понимать вероятностный, статистический и физический смысл показателей надежности;
- строить модели отказов с использованием статистико-физического подхода;
- уметь проводить элементарный расчет надежности систем.

Одна из целей изучения дисциплины «Управление качеством» — привить слушателям статистическое мышление, которое не сводится только к использованию специальных методов, а является точкой зрения, помогающей принимать эффективные решения возникающий проблем благодаря системному подходу. Задача данного учебника стимулировать с одной стороны развитие системного мышления обучающихся, что позволит им лучше понять идеи стандартов серии ИСО 9000, с другой — способствовать преодолению так называемого «когнитивного искажения», обусловленного субъективными убеждениями, эмоциональными причинами, сбоями в обработке и анализе информации.

При изучении любого курса хорошо помнить одно из изречений Конфуция: «Учиться и не размышлять — напрасно тратить время, размышлять и не учиться — губительно». «Я прекрасно знаю, что у меня нет никакого особого таланта. Любопытство, сосредоточенность и элементарное упрямство — вот что привело меня к моим результатам», — говорил А. Эйнштейн. Хочется пожелать изучающим основы управления качеством любопытства, сосредоточенности и упрямства.

Понятие «качество» многогранно и необозримо широко. Поэтому к настоящему учебнику следует отнести, как к пособию по введению в науку об управлении качеством продукции и услуг. При этом настоящая работа в какой-то мере является обобщением и развитием материалов [32, 34, 35, 38, 41, 42, 70].

1. ЭВОЛЮЦИЯ МЕТОДОВ УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ

Почему люди так любят изучать свое прошлое, свою историю? Вероятно, потому же, почему человек, споткнувшись с разбега, любит, поднявшись, оглянуться на место своего падения.

В. О. Ключевский

Древняя латинская пословица гласит: *Historia est magistra vitae* («История — учитель жизни»). Подобно тому, как знание основ всемирной истории всегда считалось показателем образованности человека, в наши дни становится общепризнанным, что культурный человек должен знать историю области знания, которой занимается профессионально. Эту мысль в разные эпохи высказывали выдающиеся ученые: древнекитайский философ Конфуций («Изучай прошлое, если желаешь предугадать будущее»), английский физик, математик и механик Д. С. Максвелл («Изучающему любой предмет в высшей степени полезно читать оригинальные мемуары, относящиеся до этого предмета, потому что знание усваивается в полной мере только тогда, когда видишь процесс его зарождения»), русский ученый-энциклопедист Д. И. Менделеев («Знание истории предмета необходимо для правильного движения вперед»).

Трудно представить себе современного физика, никогда не слышавшего о Ньюtone и Эйнштейне, химика, не имеющего понятия, кто такой Менделеев, математика, не знающего о Пифагоре. Точно так же специалистам по качеству, стандартизации и сертификации, исследователям в смежных областях надо знать классиков «квалитологии», добившихся выдающихся результатов задолго до того, как эта наука обрела современное название. В работах [18, 31, 63] исследуются проблемы, связанные с качеством, стоявшие перед людьми в разные эпохи с древних времен и до наших дней.

Начало понимания человеком значения качества относится к далекому прошлому, в 1750 г. до н.э. представитель I Вавилонской династии царь Хаммурапи (ок. 1792 — ок. 1750 до н.э.) составил законодательный кодекс — Законы Хаммурапи, один из которых касается ответственности за качество продукции: «строителя, если тот построит дом и сделает свою работу непрочно, из-за чего построенный дом обвалится и причинит смерть хозяину жилища, должно убить; если из-за плохого качества дома будет травмирован сын хозяина дома, должно соответственно травмировать сына строителя; если погибнет достояние, строитель должен возместить все, что погубил».

Проблема качества возникла в период ломки натурального хозяйства и становления товарного производства. В 1549 г. в университете г. Падуа (Италия) учреждается первая в мире кафедра товароведения (итал. *merceologia*), объектом научных исследований которой было качество, изучение товаров с точки зрения их потребительской стоимости.

Первую математическую постановку задачи, связанную с контролем качества, предпринял английский математик Томас Симпсон (Simpson, 1710–1761), вошедший в историю науки как один из основоположников теории приближенных вычислений. В наиболее известной его работе, датированной 1743 г., он вывел формулу приближенного интегрирования — известную как «формула парабол». В книге «Природа и законы случая» (1740 г.) Симпсон формулирует следующую задачу: имеется данное число вещей различного сорта — n_1 вещей первого сорта, n_2 вещей второго и т. д. Наудачу берутся m вещей. Найти вероятность того, что при этом будет взято m_1 вещей первого сорта, m_2 второго и т. д.

В середине XIX в. к аналогичной задаче обратился выдающийся математик и механик академик М. В. Остроградский (1801–1862), который в молодости был профессором офицерских классов Морского кадетского корпуса, а позднее Главного артиллерийского училища. Возможно, что задача, связанная со статистическим методом контроля, возникла у него, потому что, находясь в среде военных, понимал необходимость сокращения времени на контроль принимаемой продукции.

В 1846 г. М. В. Остроградский доложил свою работу «Об одном вопросе, касающемся вероятности», которая была опубликована в 1848 г. Задача, решенная Остроградским: в урне содержатся белые и черные шары, общее число которых известно. Из урны наудачу вынимается некоторое число шаров и фиксируется, сколько среди них того и другого цвета. Спрашивается: чему равна вероятность того или иного состава урны?

М. В. Остроградский приводит расчеты, замечая при этом: «...перед армейскими поставщиками часто стоят такие задачи. Для них шары, содержащиеся в сосуде, представляют получаемые предметы, белые,

например, предметы приемлемые, как удовлетворяющие определенным условиям, а черные — неприемлемые. Таким образом, если бы вопрос, который мы перед собой поставили, был решен, поставщик мог бы воспользоваться этим, чтобы свести приблизительно к двадцатой доле очень утомительную работу, как, например, проверку большого количества мешков муки и кусков сукна».

С этой работы М. В. Остроградского и берет свое начало задача выборочного статистического контроля качества продукции. Во второй половине XIX в. стали появляться первые предприятия по массовому производству, возникла проблема обеспечения конкурентоспособной продукции и в частности, контроля ее качества. На рубеже XIX и XX вв. Д. И. Менделеев одним из первых понял необходимость развития стандартизации и метрологии для решения вопросов, связанных с качеством. Он подготовил текст закона о мерах и весах, который положил начало организации государственной поверочной службы, охватившей все отрасли промышленности. Первые пять поверочных палаток были организованы в 1900 г.

С начала XX в. и до настоящего времени можно выделить пять основных этапов развития методов управления качеством, которые привели к появлению системы менеджмента качества и новейших инструментов в XXI в.

1.1. Система Тейлора. Качество продукции как соответствие стандартам

1 этап. 1905 г. В 1870-е гг. на оружейном заводе изобретателя револьвера Сэмюэля Кольта (*Colt*, 1814–1862) родилась идея собирать изделия не из подогнанных друг к другу деталей, а из случайно выбранных из партии. Перед сборкой эти детали проверялись с помощью калибров и негодные отбраковывались. В 1908 г. основатель фирмы «Кадиллак» Генри Мартин Лиланд (*Leland*) впервые применил этот метод в автомобилестроении, проведя следующий эксперимент.

Эксперты отобрали случайным образом три экземпляра автомобиля «Кадиллак» и разобрали их до последнего винтика. Все детали свалили в кучу, а затем кое-какие из нее изъяли и заменили запчастями, приобретенными в местном агентстве по обслуживанию автомобилей «Кадиллак». После этого механики с помощью отверток и гаечных ключей собрали машины заново, которые завелись. После удачной обкатки этих машин по автодрому Британский автомобильный клуб выдал фирме диплом и серебряный кубок с надписью «За стандартизацию». С этого времени на автомобилях «Кадиллак» появилась надпись *Standard of the world* — «образец для подражания для всего мира».

Выдающийся американский изобретатель в области автомобилестроения Генри Форд (*Ford*, 1863–1947) стал первым использовать

сборочный конвейер для поточного производства автомобилей. На заводах Форда вместо контроля комплектующих изделий перед сборкой повсеместно внедрили выходной контроль при их производстве, чтобы на сборку поступали кондиционные детали и узлы. Научным обобщением опыта, накопленного Фордом, стали работы его соратника Фредерика Тейлора (*F. W. Taylor, 1856–1915*), который еще в 1905 г. предложил концепцию научного управления, известную как система Тейлора.



Ф. Тейлор

В работе *The Principles of Scientific Management (1911)*, в русском переводе вышедшей под названием «Научные основы организации промышленных предприятий» [Левенстерн Л. А. Санкт-Петербург, 1912. XII. 119 с.] писал, что «принципиальной целью управления должно было бы быть обеспечение максимального процветания нанимателя вместе с максимальным процветанием каждого нанятого работника». По Тейлору существует три причины недостаточной эффективности менеджмента:

- 1) ошибочное убеждение рабочих, что любое увеличение производительности труда неизбежно приведет к безработице;
- 2) системы управления, вынуждающие рабочих ограничивать производительность с целью защиты своих интересов;
- 3) кустарные методы работы, основанные на «здравом смысле».

Тейлор сформулировал четыре «великих основополагающих принципа управления».

1. Замена устаревших методов, основанных на практическом опыте, новыми, связанными с научным исследованием каждого вида

трудовой деятельности для установления законов и формул их эффективного исполнения.

2. Подбор сотрудников всех уровней от рабочих до менеджеров на основе научных критериев и их профессиональное обучение с целью повышения квалификации, а также увольнение тех, кто оказывается неспособен понять научные методы управления.

3. Сотрудничество администрации с рабочими в деле практического внедрения научной организации труда (НОТ) — сближение науки с производством.

4. Справедливое распределение ответственности между рабочими и менеджерами: первые отвечают за качество и количество конечного продукта, вторые — за выработку рекомендаций по совершенствованию организации труда.

Все принципы Тейлора представляют собой систему. Кстати, слово *σύστημα* (*system*) переводится с древнегреческого как целое составленное из частей. Тейлор фактически первым описал известный цикл *PDCA*, назвав его «циклом управления». В соответствии с его концепцией этап планирования (*Plan*) состоял в установлении инженерами требований к качеству деталей либо при помощи границ полей допусков (интервалов, устанавливающих допустимые пределы отклонений параметров в виде нижних и верхних границ), либо с помощью двух типов калибров — проходных и непроходных, предложенных его однофамильцем — Уильямом Тейлором (1865–1937). [*Розенталь Р. Уильям Тейлор — достойный однофамилец // Стандарты и качество. 2010. № 2. С. 58–60*]. Выполнение (*Do*) требований входило в обязанность рабочего под руководством цехового мастера, для функции проверки (*Check*) была введена должность инспектора, а действия (*Action*) были прерогативой администрации и не отличались разнообразием — либо поощрить, либо наказать рабочего.

Противоречивость системы обуславливалась тем, что чем больший допуск задан, тем меньше доля брака, который может быть выявлен при контроле готовой продукции. При этом исполнители отдельных стадий цикла *PDCA* независимы друг от друга и это приводило к конфликтам между конструкторами, для которых ужесточение допуска обеспечивало повышение качества продукции, рабочими, у которых возникали сложности с обеспечением требуемых значений вариабельности процесса, контролерами, осуществляющими проверку, и наконец, администрацией, действующей с «оргвыводами». Кроме того, при наличии допуска у изготовителей не было необходимости удерживать параметры изделия максимально близко к номинальному значению.

Такой подход вел к интригам и, как мы бы сейчас сказали к «тройному стандарту»: «думаем одно (определение требований к качеству), пишем второе (задание требований к качеству), делаем третье (вы-

полнение требований по качеству)». «Тройной стандарт» делает «де факто» систему Тейлора неспособной реально обеспечить качество.

Рационализация производства в тейлоризме основана на эффективном использовании техники, законов логистики (рационального размещения оборудования и рабочих мест, оптимальных путей перемещения материалов и т. п.), жесткой дисциплине, на отношении к работнику как к ресурсу достижения целей. Внедрение системы Тейлора позволило повысить производительность труда, но оказало негативное влияние на качество продукции. Система доминировала в управлении производством в первой половине XX в., но постепенно становились очевидными ее недостатки. Это проявилось в 1950-е гг. в США, где получило распространение движение за бездефектное производство, однако, уже в середине 1960-х гг. пришлось признать его неудачу.

Одна из причин этого в том, что вместо научного обоснования «бездефектности», например, на основе выводов математической статистики, чрезмерное внимание уделялось внешней, «парадной» стороне дела. Другая причина, в стремлении строго соблюдать стандарты, которые также порой не имели научного обоснования. Вспоминаются, что и в СССР на многих предприятиях имелась система бездефектного изготовления продукции, в цехах вывешивались таблицы, показывающие очень высокий процент (иногда 100%) сдачи продукции с первого предъявления, а потребитель жаловался на низкое качество изделий.

Неоднозначным было отношение к Ф. Тейлору в Советском Союзе: с одной стороны, он — враг рабочего человека, с другой — основоположник научного менеджмента. В. И. Ленин называл систему Тейлора «научной системой выжимания пота» [Ленин В. И. Полное собрание сочинений. 5-е изд. Т. 23. С. 18] и «системой порабощения человека машиной» [Ленин В. И. Полное собрание сочинений, 5-е изд. Т. 24. С. 369], но вместе с тем отмечал, «...в системе Тейлора заключается громадный прогресс науки, систематически анализирующий процесс производства и открывающий пути к громадному повышению производительности человеческого труда» [Ленин В. И. Полное собрание сочинений. 5-е изд. Т. 36. С. 140]. Хорошо известна формула В. И. Ленина «Социализм есть Советская власть плюс электрификация всей страны», но ему принадлежит и такое высказывание: «Социализм плюс тейлоризм равняется коммунизму».

Теперь по прошествии времени можно констатировать, что, по крайней мере, три положения системы Тейлора используются в новейших инструментах управления качеством.

1. В управлении и принятии решений используй все тебе доступное. Теперь это называется *benchmarking*.

2. Анализируй рабочие операции подробнейшим образом. Теперь это называется *Process Re-design* и служит основой нормирования труда.

3. Освобождайся от всего, что мешает работе. Теперь это называется японским словосочетанием «кайдзен».

Сформулированные Тейлором принципы управления используются при разработке современной концепции *TQM*, например, один из принципов «потогонной системы»: напряженность труда рабочего должна быть такой, чтобы желание выйти завтра на работу у него не пропадало. По мысли Ф. Тейлора «обе стороны должны отвести глаза от деления урожая как важной для всех вещи и вместе обратить свое внимание на увеличение размеров урожая». [Пью Д. С., Хиксон Д. Дж. Исследователи об организациях: Хрестоматия / пер. с англ. Жуковской: Международный ин-т менеджмента «Линк», 1997. 240 с.].

Ф. Тейлор произвел революцию в менеджменте, показав, что нужно подходить к вопросу управления с научной точки зрения, оптимизируя процессы производства, обучая сотрудников и снижая издержки. Именно с системы Ф. Тейлора начинается история менеджмента качества. Вместе с тем недостатки этой системы затрудняют ее использование в наукоемком производстве и инновационных компаниях.

1.2. Система Шухарта.

Качество продукции как стабильность процессов

2 этап. 1924 г. Система Ф. Тейлора позволила разработать механизм контроля отдельно взятого изделия (детали, сборочной единицы), однако производство — это процесс, которым надо управлять. При производстве любой продукции существует много источников вариации: инструменты изнашиваются, вибрация оборудования сбивает настройку, колебание силы тока приводит к изменению мощности и т. п. Увеличению разброса способствует и человеческий фактор. Отклонение, появившееся из отдельного источника, выглядит случайным, но их совместное проявление может быть стабильным и предсказуемым.

В 1924 г. в *Bell Telephone Laboratories* (в лаборатории изобретателя телефона А. Белла) сотрудник лаборатории Уолтер (Вальтер) Шухарт (*W. Shewhart*, 1891–1967; фамилия произносится «Шьюарт», но мы используем написание, принятое в русскоязычной литературе) разработал концепцию статистического управления процессами и заложил основы статистического контроля качества (*Statistical Quality Control — SQC*).

В 1925 г. в журнале Американской ассоциации статистиков Шухарт опубликовал статью, в которой ввел понятие «процесс, находящийся в управляемом состоянии» (*In-control process*); «Процесс находится в состоянии статистического контроля, если на основании предыдущего опыта можно предсказать, по крайней мере в пределе определенных границ, как этот процесс будет изменяться в будущем» [*Shewhart*

W. A. Economic Control of Quality of Manufactured Product. ASQC, 1931, 1980]. Знаменательны слова Э. Деминга по этому поводу: «Метод измерения не существует, если только результаты не демонстрируют состояние статистической управляемости» [46].

Разброс наблюдаемых результатов можно объяснить наличием постоянной системы случайных причин, которые представляют естественную часть процесса и называются общими причинами отклонений (*common causes of variation*). Шухарт не делал допущений о виде закона распределения, кроме того, что он существует. Если с течением времени распределение меняется существенно и непредсказуемо, то процесс вышел из-под контроля, стал неуправляемым (*Out-of-control process*). В этом случае отклонение параметров вызывается особыми причинами (*special causes of variation*), которые порождают внешние источники.

Вот что писал Шухарт в 1939 г.: «Специальная причина вариаций в том смысле, как этот термин использовался в работах по контролю качества, эта такая причина, которую можно экспериментально обнаружить с затратами, не превышающими те потери, из-за которых ее стоит искать... Любой тест на статистическую значимость — это дедуктивный вывод, основанный на некоторых фундаментальных допущениях, напротив, когда наблюдаемая нами статистика находится за контрольными пределами, то подразумевается индуктивный вывод о том, что присутствует специальная причина» [Shewhart W. A. Statistical Method from the Viewpoint of Quality Control. N.-Y.: Dover Publications, Inc., 1939. 163 p. P. 30–31]. Комментируя это высказывание Шухарта, напомним определение индукции и дедукции.

Индукция (от лат. *inductio* — наведение) — это логический прием построения общего вывода на основе частных посылок. Данные опыта «наводят» на общее, или индуцируют общее, поэтому полученные обобщения обычно рассматривают как опытные (эмпирические) истины.

Дедукция (от лат. *deductio* — выведение) — это прием, обеспечивающий переход от общего к частному, когда из общих посылок с необходимостью следует заключение частного характера.

Индукция и дедукция взаимосвязаны, как анализ и синтез. Основой индукции являются опыты, в ходе которых накапливаются факты. Их изучение и анализ приводит к установлению сходных, повторяющихся признаков, что позволяет построить умозаключение, суждение общего характера. Обоснование знаний, полученных с помощью индукции, предполагает их проверку через движение от обобщений к частному случаю. Такое движение представляет собой дедуктивное умозаключение. Его цель заключается в том, чтобы индуктивное знание сделать более достоверным. Можно сказать, что теория вероятностей основана на дедукции, а математическая статистика — на индукции.

Для определения текущего положения Шухарт разработал контрольные карты с границами, обозначающими поле, внутри которого должны находиться значения параметров процесса, находящегося в управляемом состоянии. Выход за границы означал, что процесс стал неуправляем под воздействием особых причин, которые надо выявить и устранить. Если главная цель в системе Тейлора — попасть в допуск, то в системе Шухарта — обеспечить стабильность процесса и стремиться к уменьшению вариации. Больше внимания стали уделять не выявлению дефектов, а их предупреждению, в программы профессионального обучения добавилось изучение статистических методов.



В. Шухарт

В цитируемой выше книге «Статистические методы с точки зрения управления качеством» (1939 г.) Шухарт предложил свою концепцию цикла *PDCA* — цикла непрерывного улучшения качества за счет уменьшения вариаций и исключения причин нестабильности процессов, где планирование предусматривало улучшение процессов, а за выполнение этих планов несли ответственность и инженеры (конструкторы, технологи), и рабочие. При этом выделял три стадии в процессе контроля качества, подчеркнув, что они не могут быть независимы друг от друга.

1. Разработка технического задания, установление допусков на параметры («спецификация»).
2. Производство продукции, удовлетворяющей техническому заданию.
3. Контроль произведенной продукции для оценки ее соответствия техническому заданию.

Идеи В. Шухарта носили революционный характер. В предисловии к его книге «Статистические методы с точки зрения контроля качества». Э. Деминг писал: «Возможно, еще полстолетия пройдут прежде, чем весь спектр идей д-ра Шухарта будет усвоен наукой, промышленностью и системой либерального образования». Возможно, Великая депрессия 1930-х гг., а затем Вторая мировая война помешали США внедрить прогрессивные методы и первыми осуществить экономическое чудо, которое произошло на другом конце света вскоре после окончания войны.

1.3. Система Фейгенбаума. Комплексный контроль качества

3 этап. 1951 г. Термин «Комплексный контроль качества» (*Total Quality Control — TQC*) был введен в 1951 г. тогдашним ответственным за качество на фирме *General Electric* Арманом Фейгенбаумом (*Armand Feigenbaum, 1922–2014*), определившим его как «эффективную систему, объединяющая деятельность различных подразделений организации, ответственных за разработку параметров качества, поддержание достигнутого уровня качества и его повышение, при обеспечении конструирования, производства и эксплуатации изделия на самом экономичном уровне, при полном удовлетворении требований потребителя» [80, с. 33].

А. Фейгенбаум, вводя этот термин, подчеркивал, что контроль качества не сосредоточен только на этапе производства и требует участия всех подразделений, контроль качества продукции необходим на всех жизненных циклах, начиная с прогнозирования возможных несоответствий на момент конструкторской разработки и заканчивая сервисным обслуживанием. Опасаясь, как бы качество из заботы каждого не превратилось в дело, которому никто не служит, Фейгенбаум предложил организовать подразделение, специализирующееся на анализе и контроле качества продукции.

Концепция Фейгенбаума основана на контроле и может быть представлена в виде пирамиды, вершина которой увенчана комплексным контролем качества *TQC* (рис. 1). При этом контроль качества рассматривается как вмешательство во все стадии жизненного цикла продукции — от формулировки требований потребителя, через проектирование, производство узлов и деталей, сборку, до доставки продукта по назначению.

Реализация системы Комплексного контроля качества (*TQC*) возможна при наличии четырех условий.

1. Исполнение требований потребителей.
2. Поддержка высшего руководства.
3. Принятие системы *TQC* всеми сотрудниками.
4. Тщательный контроль затрат на качество.

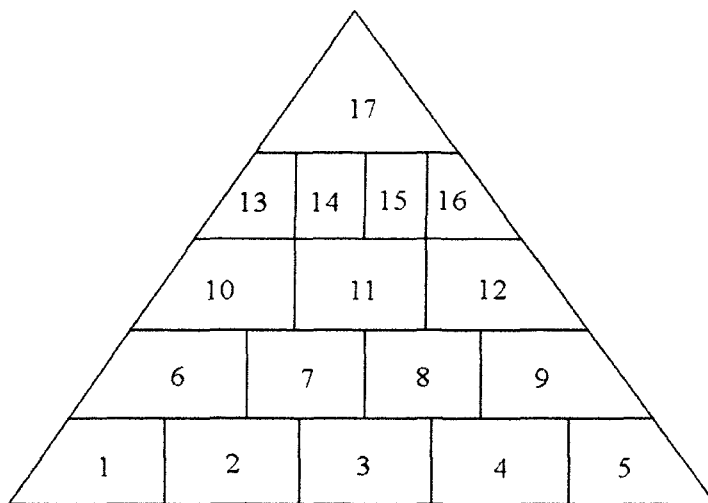


Рис. 1. *Пирамида Фейгенбаума:*

- 1 – выбор методов контроля; 2 – оценка поставщика; 3 – разработка планов приемки материалов и оборудования; 4 – контроль измерительных приборов; 5 – оптимизация стоимости качества; 6 – организация системы обеспечения качества; 7 – испытание прототипов изделий, определение их надежности; 8 – исследование эффективности различных методов контроля; 9 – анализ затрат на качество; 10 – разработка технологии контроля качества; 11 – обратная связь и контроль качества; 12 – разработка системы сбора информации о качестве; 13 – контроль новых проектов; 14 – входной контроль материалов; 15 – контроль производственных процессов и изделий; 16 – анализ производственных процессов; 17 – комплексный контроль качества

Фейгенбаум сформулировал четыре «смертных греха» в подходах к качеству.

1. Поощрение программ, основывающихся на лозунгах.
2. Выбор программ, ориентированных на рабочих («синие воротнички») и не учитывающих важности инженерных служб («белые воротнички»).
3. Нежелание признать, что постоянного уровня качества не существует — оно должно непрерывно повышаться.
4. Самый страшный «смертный грех» — заблуждение, касающееся автоматизации, которая сама по себе не способствует повышению качества.

Важным в данной системе является учет затрат на качество, которые согласно А. Фейгенбауму складываются из:

- 1) расходов на разработку и планирование программ по улучшению качества и предупреждению дефектов (несоответствий);

2) затрат на оценку качества, на проведение технического контроля и испытаний на всех этапах производства продукции (или процесса оказания услуг) с целью установления соответствия достигнутых показателей предъявляемым требованиям;

3) потерь от брака (несоответствий), которые делятся на внутренние и внешние. Внутренние потери возникают в процессе производства (или в процессе оказания услуг), внешние — при эксплуатации.

Классификация Фейгенбаума была принята Американским обществом управления качеством (*ASQC*) и Британским институтом стандартов (*BSI*). [Адлер Ю. П., Щенетова С. Е. От затрат на качество — к управлению затратами // Методы менеджмента качества. 2002. № 4. С. 12–17]. В Японии в 1970-х гг. были сформулированы организационные подходы к управлению качеством на уровне фирмы: *CWQC* (*Company-wide quality control* — управление качеством в рамках всей компании). При этом затраты на качество включают два вида: расходы на превентивные действия и издержки, связанные с браком.



А. Фейгенбаум с дипломом лауреата премии ВОК, 2008 г.

Система комплексного контроля качества связана с определенной гуманизацией производства, главными словами по отношению

к людям стали «вовлеченность», «соучастие», «преданность». Во взаимоотношении сотрудников происходит отказ от командно-административной структуры взаимоотношений начальник — подчиненный, с подтекстом «Я — начальник, ты — дурак, ты — начальник, я — дурак». Становится актуальным лозунг хорошо знакомый с советских времен: «Кадры решают все». Главными мотивами качественного труда стали работа в коллективе, признание достижений коллегами и руководством, забота фирмы о будущем работника. Системы взаимоотношений поставщик — потребитель начинают предусматривать сертификацию продукции третьей стороной.

Заслуги Арманда Фейгенбаума получили оценку в Российской Федерации. В ноябре 2008 г. на ежегодном всероссийском форуме «Лучший опыт для лучшей жизни!», посвященном Всемирному дню качества и Европейской неделе качества, Арманд Фейгенбаум был награжден почетной медалью И. А. Ильина в номинации «За выдающиеся достижения в области качества».

1.4. Система Джурана.

Всеобщее управление на основе качества

4 этап. 1987 г. В последней четверти XX в. пришло понимание универсального характера основных принципов управления качеством и для различных отраслей, и для разных стран. Появилась концепция управления с позиций науки о поведении (культуры управления (1980-е гг.). Получила развитие концепция универсального менеджмента качества (*Universal Quality Management, UQM*), инвариантного к изменению ассортимента товаров и услуг. В этот период возникло понятие *Total Quality Management (TQM)*, которое после дискуссии стали переводить на русский язык как «Всеобщее управление на основе качества». Начало этапа датируем 1987 г. — утверждением первой редакции стандартов ИСО серии 9000.

Если *TQC* — это управление качеством, ориентированное, прежде всего, на производство с целью выполнения установленных требований, то *TQM* — это еще и управление самими требованиями. В *TQM* мотивация достигает состояния, когда люди настолько увлечены работой, что задерживаются на работе, продолжают работать дома. Появляется новый тип работников — трудоголики. Основоположником концепции *TQM* признают Джозефа Джурана (*J. M. Juran, 1904–2008*), который сформировал концепцию «триады качества», объединяющей планирование, контроль, улучшение. При этом основная роль отводилась планированию.

Важнейшее значение для управления качеством имеет разработка Джураном модели системы качества, получившей название «спираль качества» — «спираль формирования и улучшения качества, в кото-

рой формирование и непрерывное улучшение качества происходит не по замкнутому кругу (имеется в виду цикл Шухарта–Деминга. — С. Г.), а по восходящей спирали», что позволяет изучать меняющийся спрос на рынке и поведение изделий в эксплуатации. Как видно из рис. 2, система охватывает все стадии жизненного цикла продукции и представляет процесс непрерывного улучшения ее качества на каждом новом витке спирали.

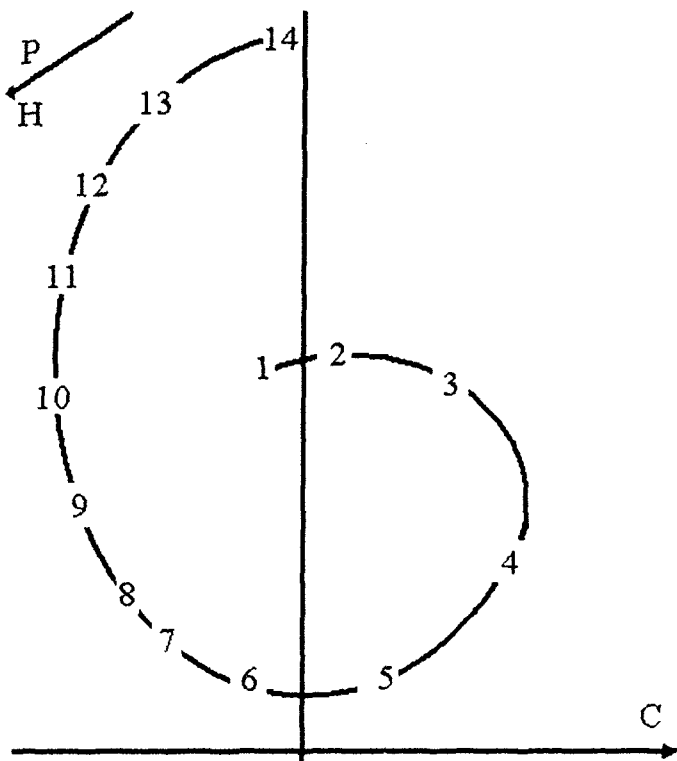


Рис. 2. *Спираль качества Джурана*

- 1 – исследование рынка; 2 – составление проектного задания;
 3 – проектно-конструкторские работы; 4 – составление технических условий; 5 – технологическая подготовка производства;
 6 – материально-техническое снабжение; 7 – изготовление инструмента, приспособлений и контрольно-измерительных приборов; 8 – производство; 9 – контроль процесса производства; 10 – контроль готовой продукции; 11 – испытание продукции; 12 – сбыт; 13 – техническое обслуживание в период эксплуатации; 14 – исследование рынка и изучение эксплуатационных показателей качества продукции; С – связь с поставщиками;
 P – реклама и продажа; H – наладка, техническое обслуживание при ремонте и пуске в эксплуатацию

Согласно Джурану, необходимо не только постоянное совершенствование процессов (как считал Деминг), но и «улучшение качества», означающее «организованное создание полезного изменения; достижение небывалого уровня производительности». Синоним понятия «улучшение» для него — прорыв (*Breakthrough*).



Дж. Джуран

В соответствии с концепцией Джурана для повышения качества необходимо пройти десять этапов.

1. Обоснуйте необходимость улучшения качества и создайте для этого возможности.
2. Определите цели для постоянного совершенствования деятельности.
3. Сформируйте команды, которые будут работать для достижения поставленной цели.
4. Предоставьте возможность обучения всем сотрудникам.
5. Выполняйте проекты для решения проблем.
6. Информировуйте сотрудников о достигнутых результатах.
7. Выражайте свое признание сотрудникам, способствовавшим улучшению качества.
8. Информировуйте о результатах.
9. Регистрируйте успехи.
10. Внедряйте достижения, которых вам удалось добиться в течение года, в системы и процессы, тем самым закрепляя их.

Дж. Джуран — автор концепции ежегодного улучшения качества *AQI (Annual Quality Improvement)*, в которой основное внимание уделяется стратегическим решениям, на смену политике стабильности

приходит политика изменений. Он разделял *Big Quality* и *small Quality* («качество с большой буквы» и «качество с маленькой буквы»). «Качество с большой буквы» *Q* — это философия качества, мера отношений между поставщиками, потребителями и характеристика того, насколько поставщики принимают требования и скрытые потребности клиента. Под «качеством с маленькой буквы» *q* подразумевается набор методов и средств обеспечения качества и управления им. Оно характеризуется дефектностью, уровнем несоответствий, количеством брака, потерями и т. п.

«Мои старания повысить качество жизни моих собратьев — главное неоконченное дело», — писал Джуран в мемуарах «Архитектор качества». Он родился в Румынии в еврейской семье, которая, спасаясь от погромов, в 1912 г. эмигрировала в США. В день своего 100-летия на вопрос, как ему удалось прожить столь долгую и продуктивную жизнь, он ответил: «Удача, гены и привычки — именно в таком порядке». Умер Джозеф Джуран в 2008 г. на 104-м году жизни.

1.5. Концепция инновационного подхода и информационных технологий

5 этап. 1996 г. В конце XX в. постоянной заботой общества стала проблема охраны окружающей среды. Это привело к появлению стандартов серии ИСО 14000. Начало современного этапа датируем 1996 г. принятием первой редакции стандартов серии ИСО 14000. В нашей стране стало проявляться стремление к соответствию международным стандартам. Для этого создаются корпоративные системы управления качеством, включающие в себя методы самооценки по моделям премий по качеству, «требования к системам качества» (ИСО 9000).

Тогда же в 1990-е гг. возникла концепция инновационного подхода. Слово «инновация» появилось в русском языке сравнительно недавно, но уже довольно широко используется по разным поводам. Что же это такое? Ни в одной из советских энциклопедий, как «больших», так и «малых» это слово не встречается. Зато в «Большой российской энциклопедии» (соответствующий том вышел в 2008 г.) находим отдельные статьи «инновационный процесс» и «инновации», при этом сам термин «инновация» (лат. *Innovatione* — обновление, новшество, нововведение) трактуется как «конечный результат научно-технического или иного творчества, приводящего к существенному изменению жизнедеятельности человека, общества, природы».

Инновации можно разделить на продуктовые, связанные с получением новых материалов, полуфабрикатов и в конечном счете продукции, и процессные, означающие новые методы организации и управления. Очевидно, как продуктовые, так и процессные инновации могут активно влиять на методы менеджмента качества. В условиях глобали-

зации мировой экономики с начала XXI в. происходит формирование новых концепций — глобального управления качеством (*Global Quality Management — GQM*), делового совершенства (*Excellence*), устойчивого развития (*Sustainability*), глобального управления окружающей средой (*GQEM — Global Quality Environmental Management*).

В информационном обществе формируется концепция информационных технологий. Создается единое информационное пространство. Информационная технология будет проявляться в синергетическом эффекте интеллектуальной базы и обеспечивающей ее технической базы. Те фирмы, которые быстрее освоят и внедрят новейшие информационные технологии как интеллектуальный продукт, сопровождающий процесс создания основного продукта фирмы (товара, работы или услуги), получат приоритет на рынке.

С 1989 г. ежегодно каждый второй четверг ноября отмечается как Всемирный день качества.

1.6. Этапы развития представлений о качестве

Развитие теории и практики управления качеством сопровождалось формированием концепции качества, возникновением философии качества. Сформировавшаяся к 1980-м гг. в Японии «восточная» концепция качества определяет четыре уровня, достижение которых на различных этапах развития компании является приоритетной задачей.

Первый уровень, или «соответствие стандарту». Устанавливаются требования, разрабатываются стандарты и методы контроля, прежде всего, статистические. При этом не учитываются требования потребителя.

Второй уровень, или «соответствие применению». Качество продукции должно быть таким, чтобы она пользовалась спросом на рынке — удовлетворяла требованиям потребителя. Но при этом необходимо учитывать, что более высокое качество приводит к более высоким затратам и, как следствие, к повышению цены на продукцию.

Третий уровень, или «соответствие требованиям потребителя или стоимости» означает высокое качество при низкой цене. Единственным путем достижения этого уровня является бездефектное производство, достигнуть которого можно только при постоянном стремлении к повышению качества со стороны всех сотрудников.

Четвертый уровень, или «соответствие скрытым (неочевидным или латентным) потребностям». В случае выполнения требований, рассмотренных выше трех уровней качества преимущество на рынке, получает продукция, учитывающая скрытые потребности. Потребитель не может сформулировать определенно все требования, но, когда

ему предлагается нечто оригинальное, он уверен, что именно это ему подходит.

Представления о качестве прошли в своей эволюции в XX в. четыре этапа — от инспекции качества (проверки продукции на наличие дефектов по окончании процесса производства) до тотального управления качеством, когда вопросы его обеспечения являются основными для деятельности организации. Сущность этапов развития научных подходов к управлению качеством.

1. Инспекция качества с 1910 г. (*quality inspection*); суть — проверка, тестирование, задача которой не допустить на рынок некачественную продукцию.

2. Контроль качества с 1924 г. (*quality control*); суть — внедрение статистических методов.

3. Комплексный контроль качества с 1951 г. (*Total Quality Control, quality assurance*); суть — вводится всесторонняя система контроля и управления качеством.

4. Всеобщее управление на основе качества с 1986 г. (*Total Quality Management, TQM*); суть — стремление превзойти ожидания клиента.

Первые два этапа основаны на проверке изделий, выявлении брака и поиске виновных. На третьем этапе происходит переход от измерений и корректирующих действий к стремлению предотвратить само появление дефектов; производится оценка затрат на обеспечение качества, которая используется для обоснования предупредительных мер, иными словами, усилия направляются на причины, а не на следствия. *TQM* — философия, согласно которой процесс совершенствования должен быть непрерывным и в него должны быть вовлечены все работники организации.

Отметим следующие особенности:

- контроль качества осуществляется после изготовления продукции;
- управление качеством проводится в процессе и после производства продукции;
- обеспечение качества осуществляется перед производством, в ходе и после производства;
- всеобщее управление на основе качества охватывает все стадии жизненного цикла изделия и отличается системным подходом.

К настоящему времени общепризнана взаимосвязь и единство стандартизации, метрологии, сертификации (оценки соответствия) и качества (рис. 3) [58, с. 23]. Завершая исторический обзор, отметим, что в ходе эволюции все последующие этапы не отбрасывали предшествующие подходы, а как бы «вырастали» из них, сохраняя последние составной частью своей методологии. Так, несмотря на появление большого числа методов менеджмента качества, ни один из них не отказался от проведения контроля готовой продукции. Успех в деле

управления качеством промышленной продукции зависит от того, на каком этапе находится предприятие, иными словами, насколько оно отстает от современных методов.



Рис. 3. Качество и его составляющие

Вопросы для самопроверки

1. Решите задачу Т. Симпсона в предположении, что общее число «вещей» (всех сортов) достаточно велико.
2. Решите задачу, поставленную М.В. Остроградским, в предположении, что производится n независимых опытов, в каждом из которых вероятность появления черного шара равна p .
3. Укажите области применения статистических методов в управлении качеством продукции.
4. Дайте характеристику системе Тейлора, определите ее достоинства и недостатки, в чем ее принципиальное отличие от системы Шухарта.
5. Что значит «процесс, находящийся в управляемом состоянии»?
6. Условия осуществления комплексного контроля качества (TQC) в соответствии с концепцией Фейгенбаума.
7. Что такое «качество с большой буквы» Q и «качество с маленькой буквы» q в концепции Джурана?
8. Охарактеризуйте четыре уровня, соответствующие японской концепции качества.

2. ОСНОВЫ ФИЛОСОФИИ И КОНЦЕПЦИИ КАЧЕСТВА ДЕМИНГА

Вы не обязаны делать все это.
Выживание — дело добровольное.

Э. Деминг

Всеобщее управление на основе качества (*TQM*) стало обобщением ряда похожих, но и имеющих отличия концепций, предложенных выдающимися квалитологами, которых иногда именуют «гуру» (санскритское *guru* — весомый, важный, старший; так в индуизме называют духовного наставника, достигшего истины в личном опыте и своим примером вдохновляющего других). Фейгенбаум предложил концепцию *Total Quality Control* (всеобщий контроль качества), концепция Джурана *Big Quality and small Quality* (качество с большой буквы и качество с маленькой буквы), Деминг видел качество во всем. Синтезом концепций этих гуру и стала теория *Total Quality Management* (Всеобщее управление на основе качества).

2.1. Система Деминга.

Качество как удовлетворение потребностей потребителей и служащих

Вскоре после окончания Второй мировой войны по приглашению генерала Макарура (командующего оккупационными силами в Японии) в Страну восходящего солнца прибыла группа американских специалистов из *Bell Telephone Laboratories*, которая прочитала курс лекций по статистическим методам контроля качества, составленный Эдвардом Демингом (*W. E. Deming*, 1900–1993). В 1950 г. он провел семинар с руководителями ведущих японских компаний [45]. Первые результаты появились быстро, и уже через год Деминга наградили Орденом Благодарного Сокровища — самой высокой наградой для иностранца. Практически одновременно Японским союзом ученых

управления качеством промышленной продукции зависит от того, на каком этапе находится предприятие, иными словами, насколько оно отстает от современных методов.



Рис. 3. Качество и его составляющие

Вопросы для самопроверки

1. Решите задачу Т. Симпсона в предположении, что общее число «вещей» (всех сортов) достаточно велико.
2. Решите задачу, поставленную М.В. Остроградским, в предположении, что производится n независимых опытов, в каждом из которых вероятность появления черного шара равна p .
3. Укажите области применения статистических методов в управлении качеством продукции.
4. Дайте характеристику системе Тейлора, определите ее достоинства и недостатки, в чем ее принципиальное отличие от системы Шухарта.
5. Что значит «процесс, находящийся в управляемом состоянии»?
6. Условия осуществления комплексного контроля качества (ТQC) в соответствии с концепцией Фейгенбаума.
7. Что такое «качество с большой буквы» Q и «качество с маленькой буквы» q в концепции Джурана?
8. Охарактеризуйте четыре уровня, соответствующие японской концепции качества.

2. ОСНОВЫ ФИЛОСОФИИ И КОНЦЕПЦИИ КАЧЕСТВА ДЕМИНГА

Вы не обязаны делать все это.
Выживание — дело добровольное.

Э. Деминг

Всеобщее управление на основе качества (*TQM*) стало обобщением ряда похожих, но и имеющих отличия концепций, предложенных выдающимися квалитологами, которых иногда именуют «гуру» (санскритское *guru* — весомый, важный, старший; так в индуизме называют духовного наставника, достигшего истины в личном опыте и своим примером вдохновляющего других). Фейгенбаум предложил концепцию *Total Quality Control* (всеобщий контроль качества), концепция Джурана *Big Quality and small Quality* (качество с большой буквы и качество с маленькой буквы), Деминг видел качество во всем. Синтезом концепций этих гуру и стала теория *Total Quality Management* (Всеобщее управление на основе качества).

2.1. Система Деминга.

Качество как удовлетворение потребностей потребителей и служащих

Вскоре после окончания Второй мировой войны по приглашению генерала Макарура (командующего оккупационными силами в Японии) в Страну восходящего солнца прибыла группа американских специалистов из *Bell Telephone Laboratories*, которая прочитала курс лекций по статистическим методам контроля качества, составленный Эдвардом Демингом (*W. E. Deming*, 1900–1993). В 1950 г. он провел семинар с руководителями ведущих японских компаний [45]. Первые результаты появились быстро, и уже через год Деминга наградили Орденом Благодатного Сокровища — самой высокой наградой для иностранца. Практически одновременно Японским союзом ученых

и инженеров была учреждена национальная премия в области качества, которая получила имя Деминга.

В Японии идеи Деминга попали на благодатную почву. Местные специалисты не могли решить проблему повышения качества за счет модернизации производства, поскольку средств было крайне мало, а внедрение программы Деминга не требовало больших затрат. «Слушайте меня, и через пять лет вы будете конкурировать с Западом. Продолжайте слушать до тех пор, пока Запад не будет просить защиты от вас» — эти слова, сказанные Э. Демингом в 1950 г. руководителям крупнейших компаний Японии, оказались пророческими. Если четверть века после Второй мировой войны США безусловно удерживали ведущие позиции в производстве промышленной продукции, то с начала 1970-х гг. ситуация начала постепенно изменяться, а качество стало национальной идеей в японском обществе.

В конце 1940-х гг. в США демонстрировался фильм, где характерным был такой эпизод. Американская семья приобрела электробытовую машину, которая вскоре после включения перестала работать. «Так она же японская», — произнес глава семьи и в зале раздался хохот. В 1970 г. японская компания «Тойота» впервые стала ведущим продавцом автомобилей в США. А затем на рынке наукоемкой продукции во всем мире стало происходить то, что ранее невозможно было представить — стало престижным покупать все японское. Начиная с 1970-х гг. японская техника различного назначения признавалась лучшей в мире.

Развивая подход, предложенный У. Шухартом для регулирования процессов производства, Э. Деминг распространил применение этих методов на области продаж, оказания услуг, деятельность административных органов. Эти основополагающие идеи, впервые высказанные Демингом, мы встречаем затем и у других известных исследователей в области контроля и управления качеством, например у авторов концепции «Шесть сигма» и у Гэнити Тагути (*G. Taguchi*, 1924–2012) сформулировавшего в конце 1960-х гг. принципы, главная мысль которых: качество не может рассматриваться просто как мера соответствия требованиям, необходимо постоянно стремиться к уменьшению разброса внутри установленных границ.

Деминг понимал, что в Японии нужно найти способ говорить с первыми лицами, поскольку имел негативный опыт у себя на родине, когда специалисты, изучив статистические методы, при попытке внедрения их на рабочем месте вступали в конфликт с начальством. Как вспоминал Деминг «...“пламя” собственно статистических методов в “атмосфере” менеджмента, не понимающего своей ответственности, вспыхнуло, затрещало и погасло».

Позднее в 1981 г. он писал по этому поводу: «В США курсы (по статистическим методам) были хорошо усвоены инженерами, но руководство не обратило на них внимания. Руководство фирм не пони-

мало, что должно поддерживать процесс повышения уровня качества и делегировать свои полномочия сверху вниз» [46]. Говорилось это о производственных отношениях в США, а автор, много лет проработав в промышленном НИИ и видя реальное производство, вспоминает советские времена — как будто Деминг пишет про нашу страну.



Эдвардс Деминг в Японии, 1980 г.

Деминг стал знаменит у себя на родине в 1980 г. после того, как по популярному американскому телевизионному каналу в прайм-тайм был показан фильм о Деминге с характерным названием: «Если японцы смогли, то почему не можем мы?». Тут же в США началось увлечение идеей совершенствования качества. «В 40-е годы Америка имела военных героев; в 60-е годы образцами для подражания были космонавты. В настоящее время героями следует считать специалистов в области качества, поскольку их вклад в будущее развитие и процветание может быть даже больше, чем выдающихся личностей прошлого», — пишет Дж. Харрингтон в книге «Управление качеством в американских корпорациях» (1990). Эти знаменательные слова сказаны в конце 1980-х гг., до этого же долгое время американские специалисты не воспринимали идеи своего выдающегося соотечественника.

Американский экономист Питер Друкер (*Drucker*, 1909–2005), автор концепции глобального рынка пишет: «Что же сделал Деминг и почему всеобщий контроль качества столь эффективен? Деминг проанализировал и организовал производственный процесс точно так же, как это сделал Ф. Тейлор. Но затем к методике Ф. Тейлора он добавил (примерно в 1940 г.) контроль качества, основанный на статистической теории, которая появилась только спустя десять лет после смерти Ф. Тейлора. Наконец, в 1970-х гг. Э. Деминг заменил секундомер и фотографи-

рование этапов рабочего процесса телевидением и компьютерным моделированием. В остальном специалисты Э. Деминга по контролю качества — точная копия специалистов Ф. Тейлора по научной организации труда, и работают они точно так же» [50, с. 186–187].

Из процитированного следует, что П. Друкер не понимал теории вариабельности. К принципам научной организации труда Тейлора и теории вариабельности Шухарта Деминг добавил систему глубинных знаний, состоящую из четырех взаимосвязанных разделов: системный подход к менеджменту качества, статистическое мышление, учет психологии людей и концепцию непрерывного улучшения, пришедшую на смену господствовавшей идее «оптимального качества».

Было принято считать, что «за качество надо платить», существует «оптимальный» уровень качества — такой, дальнейшее повышение которого экономически нецелесообразно и следует искать компромисс между уровнем качества и ценой, которую потребитель должен за него заплатить. Деминг провозгласил: «Чем выше качество, тем дешевле оно обходится». Деминг сумел избежать наиболее распространенного источника ошибок управленческих решений — попытку найти правильный ответ вместо того, чтобы сформулировать правильный вопрос.

В 1936 г. Деминг прослушал курс лекций по теории математической статистики в Лондонском университете у выдающегося математика Р. Фишера. Впоследствии он изобрел систему управления, в которой статистические методы — лишь инструмент, а самое главное — философия нравственности, основанная на уважении к работнику. Он рассматривал человеческий фактор как решающий в борьбе за качество и ратовал командную работу, приводящую к так называемому синергетическому эффекту — когда целое по своей результативности значительно превосходит сумму отдельных компонент. Деминг трансформировал цикл *PDCA* в форму, наиболее часто встречаемую сегодня, и дал трактовку каждого этапа, обратив внимание на необходимость глубокого анализа полученной на втором этапе информации. В 1993 г. ввел понятие цикла *PDSA*, заменив проверку (*Check*) изучением (*Study*).

Цикл Шухарта — Деминга обычно изображают в виде круга, что символизирует принцип повторения в решении проблемы — совершенствование с использованием знаний, накопленных на предшествующей стадии (рис. 4). На этапе «Планирование» (*P*) устанавливаются цели и определяют приоритеты, поскольку невозможно улучшить все сразу. Кроме того, планирование включает в себя подробное описание того, как планируется добиваться достижения поставленных целей, какие методы будут для этого использовать, кем, в какие сроки, какие ресурсы для этого потребуются. С плана начинаются и достижения, и проблемы. Как говорил Гете: «Кто застегнул неправильно первую пуговицу, тот уже не застегнется как следует». На этапе «Выполне-

ние» (*D*) ведется сбор данных и осуществляется мониторинг (англ. *monitoring* — постоянное наблюдение за каким-либо процессом или объектом с целью выявления его закономерностей либо соответствия желаемому результату) процесса, чтобы определить, стабилен ли он. После проведенных изменений необходимо оценить их результаты.

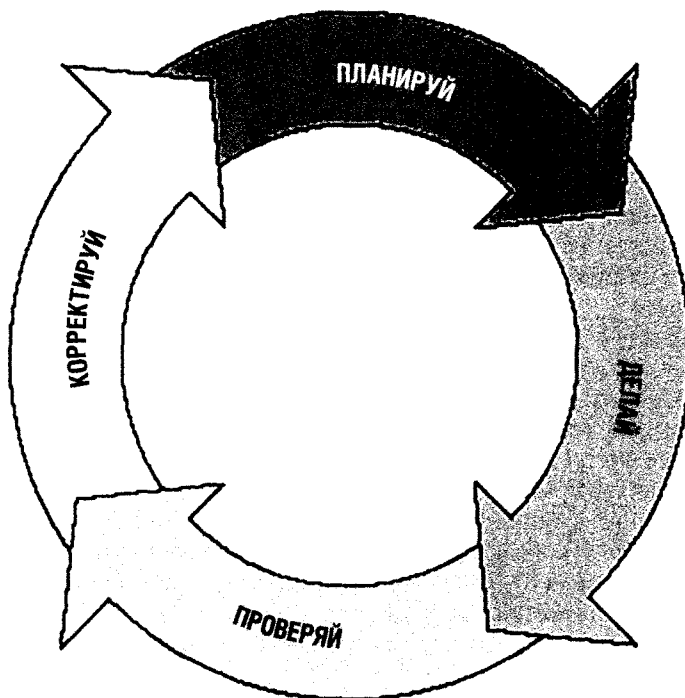


Рис. 4. Цикл Шухарта–Деминга

На этапе «Проверка (*C*) / Изучение (*S*)» проводится диагностика процесса с точки зрения его управляемости и принимается решение о том, надо ли вмешиваться в процесс, кому и с какой целью. На этапе «Корректировка» (*A*) осуществляются необходимые изменения, которые могут относиться как к процессу, так и к параметрам контрольной карты Шухарта, применяемой для мониторинга.

Известна триада (греч. *tries* — нечто, состоящее из трех частей) Гегеля «тезис — антитезис — синтез», характеризующая три стадии развития. Ее можно интерпретировать и приблизительно таким образом: сначала наблюдаем, затем выдвигаем гипотезу (составляем план) *Plan* (планируй измерения, направленные на улучшение), потом действуем *Do* (сделай — попробуй осуществить), *Study* (изучи результаты), *Act* (действуй — скорректируй или отклони план).

Цикл *PDCA* служит основой любой системы управления качеством. После реализации корректирующих мероприятий снова проверяется соответствие получающихся показателей качества запланированным значениям. Повторение цикла *PDCA* может приблизить нас к цели — повышению качества. Цикл служит непрерывному улучшению процессов и является эффективным инструментом для достижения наилучших результатов в различных аспектах деятельности организации, в том числе для улучшения командной работы. Его можно использовать как для стратегического прорыва, так и для небольших последовательных шагов. Модель активно используется на практике и при этом модифицируется, например, на стадии разработки применяется цикл *EDCA*, начинающиеся со стадии исследования (*Explore*).

Разработанная Демингом программа повышения качества труда основана на системном мышлении, которое можно свести к основным принципам.

1. Всякая деятельность — это система взаимосвязанных процессов и потому может быть улучшена.

2. Производство — это система, которая может находиться в стабильном или нестабильном состоянии. В первом случае структура фирмы, ее внутренние связи понятны и приемлемы как сотрудникам фирмы, так и связанным с ней поставщикам и потребителям. В противном случае возникают поводы для всевозможных недоразумений.

3. Высшее руководство должно во всех случаях принимать на себя ответственность за то, чтобы все понимали суть вариабельности и необходимость статистического контроля.

4. Для успешного руководства организацией надо понимать человеческие отношения.

Для концепции качества Деминга характерен перенос ответственности за качество с исполнителя на руководителя. Джуран сформулировал «правило 85/15» — 85% неполадок при производстве продукции возникают из-за дефектов системы, за которую отвечает руководитель, и только в 15% случаев может быть виноват исполнитель. Деминг до конца жизни анализировал это соотношение (всегда в сторону увеличения ответственности руководителей) и незадолго до кончины пришел к таким цифрам: 94/6. Заметим, что некоторые последователи Деминга пошли дальше и указывали на соотношение 98/2!

Деминг как-то заметил: «Если бы мне было необходимо сформулировать суть моего учения в нескольких словах, я бы сказал, что это — снижение вариабельности». На своей визитной карточке он всегда обозначал себя как «специалист-статистик».

В 1980-е гг. были сформулированы 14 принципов Деминга для управляющего, которые помогают разобраться во многих аспектах управления качеством.

2.2. Принципы Деминга для менеджера

1. Добивайтесь постоянства цели — улучшения продукции и услуг.

Поставьте перед собой цель и будьте неизменно твердыми и постоянными в достижении поставленной цели непрерывного улучшения продукции и услуг, распределяя ресурсы таким образом, чтобы обеспечивались долговременные цели и потребности, а не только сиюминутную прибыль, для достижения конкурентоспособности, сохранения предприятия и обеспечения людей работой.

Первый принцип (*Constancy of Purpose* — постоянство целей) является основополагающим. Необходимо последовательное, никогда не заканчивающееся, всеохватывающее движение в направлении непрерывного улучшения всех видов деятельности фирмы. Приверженность руководства постоянным улучшениям — основной фактор для поддержания энтузиазма работников на всех уровнях, стимулирования в них желания внести личный вклад в эти улучшения.

Выпуск качественных изделий и предоставление качественных услуг способствуют увеличению реализации и рентабельности капитала, росту престижа фирмы. Если качество продукции и услуги фирмы общепризнаны, то для привлечения покупателя нее необходимости в трате больших средств на рекламу. Одни и те же показатели качества могут иметь разную степень значимости в конкретной ситуации. Необходимо оценить уровень качества, определить объем затрат, требуемый для его повышения, сопоставить с финансовыми возможностями предприятия.

Чтобы не ограничиваться кратковременными результатами поставленные бизнес-цели должны сопровождаться стремлением к улучшению самой организации. Чтобы персонал не сопротивлялся цели, поставленной перед фирмой, стратегические задачи компании и связанные с ними требования администрации необходимо согласовывать с сотрудниками. Смешивание целей и требований мешает управлению.

Под целью можно понимать стремление к идеалу, например, попытку достичь абсолютного качества. Поставив практически недостижимую цель, на практике можно добиться очень высоких результатов. Приходит на ум один из афоризмов ливанского писателя Амина ибн Фарса Рейха ни (1876—1940): «Пусть твоя цель будет больше твоей возможности; тогда твое сегодняшнее дело будет лучше вчерашнего, а завтрашнее — лучше сегодняшнего».

В некотором смысле цель — это мечта, которая, обычно, не выражается в цифрах. «Любой количественный показатель, как только он становится целью, неизбежно превращается в объект манипулирования. Таким образом, процесс оценки качества эффективности менеджмента, измеряя такие показатели, может дать неверную оценку. Суть в том, что измерение системы обычно нарушает ее. Чем более

точным является измерение и чем короче для него временной отрезок, тем более неопределенным становится результат» (Ю. Адлер).

Основой современного менеджмента стала предложенная П. Друкером концепция «Управление по целям» — метод управления, предусматривающий предвидение возможных результатов деятельности и планирование путей их достижения. Метод реализуется с помощью «Система КPI» (англ. *Key Performance Indicators* — ключевой показатель результативности), которая помогает организации определить достижение стратегических и тактических целей, оценить свое состояние и проводить контроль деловой активности отдельных сотрудников и компании в целом.

Стандарт ИСО 9000:2015 слово *performance* определяет как результаты деятельности, измеримый итог. Результаты деятельности могут относиться к количественным и качественным данным. Таким образом, результаты деятельности можно описать двумя терминами: результативность и эффективность. В соответствии с ИСО 9000:2015: эффективность (*efficiency*) — соотношение между достигнутым результатом и использованными ресурсами; результативность (*effectiveness*) — степень достижения запланированных результатов.

Чтобы следовать первому принципу Деминга для менеджера необходимо:

1. Постоянство цели на государственном уровне.

2. Чтобы поставленную на предприятии цель разделял персонал.

3. Доходы сотрудников фирмы могут отличаться на проценты, а не в разы, а то и порядки!

Как говорил английский политик и писатель XIX в. Бенджамин Дизраэли (*Disraeli*, 1804—1881): «успех — дитя отваги», а «секрет успеха — настойчивость в достижении цели».

2. Примите новую философию.

Мы находимся в новой экономической эре, начатой в Японии, не можем более мириться с обычно принятым уровнем задержек, ошибок, дефектов в материалах, брака в работе. Чтобы остановить упадок экономики необходимо преобразование западного стиля менеджмента.

После того, как в соответствии с первым принципом определена цель, следует приступить к ее достижению. Деминг указывал: «Мы больше не можем терпеть работы на глазок, материалы, с которыми нельзя работать, людей, которые не знают, в чем заключается их работа, и боятся спросить, поврежденных в процессе транспортирования и хранения, устаревших методов обучения на рабочем месте, неадекватного и неэффективного руководства, менеджеров-временщиков, водителей и машинистов, по чьей вине опаздывают или даже отменяются автобусы и поезда. Невежество и вандализм увеличивают стоимость жизни и, как может сказать любой психолог, приводят к работе спустя рукава, недовольству жизнью и работой» [46, с. 49].

Прежде всего, необходимо разъяснить новую философию сотрудникам, что способствует сплочению коллектива, росту доверия к руководству, лучшему пониманию всеми своих должностных обязанностей и значению результатов собственной деятельности, устранению догматизма, и, наконец, возникновению двухсторонней связи между администрацией и исполнителями.

Новая философия может содействовать поиску путей совершенствования системы в целом, а не ее отдельных составляющих. Нужно отличать оптимизацию от субоптимизации (псевдооптимизации). Пример субоптимизации — выигрывает не вся система, а отдельные элементы — улучшается один процесс в ущерб другим или улучшается вся совокупность процессов и характеристик, но в ограниченный интервал времени. Бывает в тяжелой экономической ситуации государство идет на развитие отраслей промышленности добычи и продажи природных ресурсов. На некоторое время это может смягчить экономические проблемы, но в будущем обернется большими потерями для страны.

Новая философия предполагает отказ от идеи наказания. Человек, будучи частью системы, ведет себя так, как ему позволяет система. Получается, что, наказывая человека, система фактически наказывает себя. Человек, подвергшийся наказанию, в будущем, дабы избежать наказания, может прибегать ко лжи, сокрытию информации.

Деминг утверждал, что необходим баланс между сотрудничеством и конкуренцией и высказывался: «Старая экономика основана на конфликте и конкуренции: я выиграл — ты проиграл; ты выиграл — я проиграл. Новая экономика основана на сотрудничестве: выигрываем все вместе».

3. Покончите с зависимостью от массового контроля.

Уничтожайте потребность в массовых проверках и инспекции как способе достижения качества, которое должно «встраиваться» в продукцию. Требуйте статистических свидетельств «встроенного» качества как в процессе производства, так и при выполнении закупочных функций.

Развитие массового производства на промышленных предприятиях и увеличение объемов выпускаемой продукции привели к обособлению технического контроля от производственных операций и созданию самостоятельных служб технического контроля.

В середине XX в. проверки были основным средством контроля качества. Компании выделяли значительные людские ресурсы на занятие, которое не добавляло ценности продукции. Инспектирование с целью повышения качества — запаздывающее мероприятие, неэффективное и дорогое. Основная проблема выходного контроля в том, что даже если брак готовой продукции найден, его устранение может очень дорого стоить предприятию, а нередко возникают «скрытые

дефекты», которые не обнаруживаются при приемочном контроле и выявляются, когда изделие попадет к потребителю.

При массовом контроле возможны и психологические проблемы являются психологические проблемы, возникающие на производстве при наличии большого количества контролеров, например создается ложное представление о том, что ответственными за качество являются контролеры.

В СССР жили по правилу «социализм — это учет» и при этом пользовались противоречиво звучащей формулой «доверяй, но проверяй!». На практике это означало, что мы доверяли поставщику сырья, но на всякий случай проверяли, мы доверяли своим исполнителям, но на всякий случай имели в цехе для промежуточного контроля бюро технического контроля (БТК), а для контроля готовой продукции отдел технического контроля (ОТК).

Деминг предложил, устранив ненужные проверки, сделать их более продуманными — как инструмент сбора информации, необходимой для совершенствования процессов и снижения затрат. Деминг призывал: «Начните заменять инспекцию и контроль качества продукции методами статистического управления, вовлекая рабочих через кружки качества, инженеров — через группы качества, высших менеджеров — через клубы качества. Качество должно повышаться, благодаря оптимизации процесса». В идеале желательно достижение такого уровня бизнес-процесса и технологического процесса, что возникновение брака невозможно в принципе.

Деятельность каждого подразделения организации должна быть основана на использовании цикла *PDCA* — только в этом случае можно добиться «встроенного качества» на этапах жизненного цикла продукции и снижать зависимость от массового контроля. «Необходимость статистических методов нельзя игнорировать. Я глубоко убежден, что без них бизнесмены не смогут долго поддерживать свое процветание», — подчеркивал Деминг [45]. Статистические методы позволяют провести диагностику процесса, вовремя выявить наличие проблемы и разработать эффективные предупреждающие действия.

4. Покончите с практикой закупок по самой низкой цене.

Уменьшите число поставщиков одного и того же продукта путем отказа от услуг тех из них, кто не смог статистически подтвердить качество своей продукции. Стремитесь к тому, чтобы получать все поставки данного компонента только от одного производителя, на основе установления долговременных отношений взаимной лояльности и доверия. Целью в этом случае является минимизация общих затрат, а не только первоначальных. У отделов комплектации и снабжения в результате появятся новые обязанности, которые они должны хорошо изучить.

Этот принцип непосредственно связан с предшествующим. Выдаю- щемуся немецкому ученому и изобретателю Вернеру фон Сименсу

принадлежат слова: «Я не продам будущее ради сиюминутной выгоды!» Эту же мысль высказывает и ученик Деминга Генри Нив: «Мы сможем покончить с необходимостью входного контроля поставок, только если будем верить, что их производители придерживаются таких же высоких стандартов качества, как и мы. Это предполагает, что у вас установлены доверительные, рассчитанные на длительную перспективу отношения сотрудничества с ограниченным числом проверенных поставщиков. Выигрыш, который может быть достигнут на основе таких взаимоотношений, и, как следствие, повышение качества их продукции и услуг в значительной степени превосходят “экономия”, которая получается при закупках по самым низким ценам... Материалы и комплектующие могут быть превосходными сами по себе, но “сработаются ли они вместе” в процессе производства и не скажется ли это на качестве выпускаемой продукции?»!

В лучшем случае можно ожидать существенного возрастания объема переделок, неритмичности в выпуске продукции; в худшем случае плохой материал может “проскользнуть” через наш производственный процесс, с тем чтобы “всплыть” у его потребителя. А если наш потребитель пострадает, будьте уверены — он заставит страдать и нас. И будет совершенно прав». [Нив Г. Организация как система: Принципы построения устойчивого бизнеса Эдварда Деминга / пер. с англ. 3-е изд. М.: Альпина Паблишерс, 2014. 368 с. С. 63].

Смена поставщика неизбежно приводит к росту вариабельности свойств сырья, а значит и продукции. При традиционном анализе конкурирующих предложений решение о закупках определяется стоимостью. Но из-за дешевых, но некачественных компонентов могут возникнуть проблемы на более поздних этапах производства, что приведет к увеличению затрат, намного превышающих «экономия» от выбора привлекательного по цене предложения. Отдел снабжения должен перенести внимание с поиска наиболее низкой цены покупаемых материалов на достижение минимальных суммарных затрат.

Описывая этот принцип, Деминг замечает: «Тот, кто придерживается правила выбирать поставщиков с самыми низкими ценами, заслуживает, чтобы его обманули». От себя добавим, что справедливость старинной английской пословицы «Скупой платит дважды» подтверждается и в бизнесе.

5. Улучшайте каждый процесс.

Улучшайте постоянно все процессы планирования, производства и оказания услуг. Постоянно выискивайте проблемы для того, чтобы улучшать все виды деятельности и функции в компании, повышать качество и производительность и, таким образом, постоянно уменьшать издержки. Непрерывное улучшение системы, включающей в себя разработку и проектирование, поставку комплектующих и материалов, обслуживание и улучшение работы оборудования, методов управления

и организации, подготовку и переподготовку кадров, — есть первейшая обязанность руководства.

Любая деятельность предприятия состоит из множества процессов и практически каждый вносит вклад в себестоимость продукции. Деминг подчеркнул важность идентификации процессов: «Если вы не можете описать то, что вы делаете как процесс, вы не знаете то, что вы делаете». основополагающий стандарт по СМК ГОСТ ИСО 9001 направлен на применение именно процессного подхода. Очевидна необходимость улучшения процессов, которое должно носить системный характер.

Поведение одного процесса может отразиться на других, часто далеко отстоящих от первого, да еще со сдвигом во времени. Это естественное проявление одного из свойств систем. Второе начало термодинамики применительно к нашей ситуации можно сформулировать так: «Всякая система, предоставленная самой себе, рано или поздно разладится, деградирует и в конце концов разрушится». Важно, чтобы система находилась в стабильном состоянии. Стабильность в данном контексте — синоним предсказуемости. Стабильность состояния системы влияет не только на нашу способность предсказывать ее будущее состояние, но и на успехи при ее улучшении.

Главная задача — сделать нестабильный процесс стабильным. Применяется методология, основанная на цикле Шухарта—Деминга, который реализуется столько раз, сколько потребуется для стабилизации системы. После этого можно переходить к улучшению системы. Это двусторонний процесс, идущий сверху и снизу. Улучшение сверху — прерогатива менеджмента. Оно происходит в тех случаях, когда, несмотря на стабильность процесса, потребитель не удовлетворен покупаемой продукцией и услугами или когда у самого менеджмента появились новые идеи улучшения. Улучшение снизу осуществляется инженерными службами при помощи сотрудников, вовлеченных в процесс.

Гораздо лучше отыскать проблемы как можно раньше и уничтожить в самом «зародыше», прежде чем они могут создать реальные трудности. В этом и заключается основное различие между интеллектуальным и кризисным стилями менеджмента. Никогда не успокаивайтесь на том, что вам удалось решить проблемы и добиться существенного улучшения. Всегда возможно дальнейшее совершенствование, так как неизбежно присутствуют как специальные, так и общие причины изменчивости. «Если вы не отыщите проблемы, то будьте уверены — проблемы отыщут вас» (Деминг).

6. Введите в практику подготовку и переподготовку кадров.

Введите в практику современные подходы к подготовке и переподготовке для всех работников, включая руководителей и управляющих с тем, чтобы лучше использовать возможности каждого из них. Для того

чтобы поспевать за изменениями в материалах, методах, конструкции изделий, оборудовании, технологии, функциях и методах обслуживания, требуются новые навыки и умения.

Знаменитому адмиралу С. Макарову принадлежат слова: «Необученный матрос пугается даже шума забортной воды в трюме. Обученный — будет стоять по горло в воде и заделывать пробоину». Председатель Англо-голландской торговой палаты Арии де Гиус (*Arie de Geus*) как-то сказал: «Способность учиться быстрее своих конкурентов — единственный надежный источник превосходства над ними». Шестой принцип Э. Деминга — развитие пятого. Эффективно управлять изменениями на предприятии могут только компетентные профессионалы. Невозможно победить в конкурентной борьбе и при этом не уделять должного внимания вопросам подготовки и переподготовки кадров.

Профессиональная подготовка позволяет не только повысить качества товаров и услуг, но и благотворно влияет на общий климат в коллективе, позволяет избегать ситуации, когда сотрудник имеет желание хорошо работать, но не знает как. В традиционном бизнесе всякие «отвлечения от работы» рассматриваются как потеря времени. Отсюда стремление по возможности сократить время на обучение сотрудников, а еще лучше нанимать на работу людей, подготовленных к предстоящей работе. Э. Деминг показал, что в новых условиях от сотрудника требуется не элементарный навык, а способность решать сложные задачи.

В начале Второй мировой войны в США сотрудники многих организаций были призваны в армию, и на предприятия пришли женщины и дети, которых надо было срочно обучить рабочим профессиям. Была разработана специальная программа, получившая название *TWI* (*Training within Industry — обучение в промышленности*), с помощью которой удалось решить задачу. Когда война закончилась, американцы забыли о программе. Зато японцы существенно ее переработали и широко использовали [Кондратьев Э. В., Адлер Ю. П. Эффективность *TWI* по-русски: точки синергии // Методы менеджмента качества. 2019. № 2. С. 44–47; Адлер Ю. П., Кондратьев Э. В. Эффективность *TWI* по-русски: 5 полезных изменений // Методы менеджмента качества. 2019. № 7. С. 56–61].

Конкретность целей обучения имеет важна для снижения вариаций. Вред от неверно организованного обучения окажется долговременным. «Любой, кто довел свою работу до состояния статистической управляемости, независимо от того, хорошо или плохо он обучался, движется по проторенной дорожке. Он закончил свое обучение данной конкретной работе. Неэкономично пытаться продолжать обучение в том же стиле» (Деминг).

Деминг провел четкое разграничение между образованием и обучением. Образование в его интерпретации — это непрерывный, ни-

когда не прекращающийся процесс, при этом свой, неповторимый для каждого из нас. Обучение — это разовая, стационарная возможность. Когда обучение за пределами предприятия вляется в образование, то потом и у обучаемого, и у работодателя возникают проблемы. Проводить обучение следует непосредственно на рабочем месте. В этом случае рабочее время и время обучения совпадают.

Закончим описание шестого принципа еще одной цитатой из Деминга: «Знания — это национальный ресурс любой страны. В отличие от невозполнимых природных ресурсов, знания в любой области можно пополнить с помощью образования».

7. Учредите лидерство.

Усвойте и введите в практику лидерство как метод работы, имеющий целью помочь работникам выполнять их работу наилучшим образом. Руководители всех уровней должны отвечать не за голые цифры, а за качество. Улучшение качества автоматически приводит к повышению производительности. Руководители и управляющие должны обеспечить принятие немедленных мер при получении сигналов о появившихся дефектах, неисправном или разлаженном оборудовании, плохих инструментах, нечетких рабочих инструкциях и других факторах, наносящих ущерб качеству.

Первое лицо должно быть лидером, и в такой ситуации никакая инициатива не наказуема. А возможные при реализации инициативы ошибки всегда будут рассматриваться лишь как повод для постоянных улучшений. Как говорил Р. Тагор: «Перед ошибками захлопываем дверь. В отчаянье истина: “Как я войду теперь?”». Внешние различия между администратором и лидером проявляются в отношении к приказам. Начальник сначала отдает приказ, а потом требует его выполнения, угрожая в случае невыполнения разными карами. А лидер сначала договаривается с исполнителями и лишь затем фиксирует достигнутые договоренности в приказе. В этом случае приказ перестает быть инструментом управления, а становится просто элементом документооборота.

Э. Макензи [Методы менеджмента качества. 2006. № 3. С. 6]: «Отличие начальника от лидера: начальник командует людьми, лидер учит их; начальник полагается на власть, лидер — на добрую волю; начальник вызывает в людях страх, лидер — воодушевление; начальник говорит “я”, лидер говорит “мы”; начальник ругает за неполадки, лидер справляется с ними; начальник знает, как надо работать, лидер — показывает, как надо; начальник говорит: “Идите”, лидер — “Пойдем!”».

Известна следующая метафора: группа туристов заблудилась в джунглях. Руководитель — тот, кто раздает инструменты, и говорит, кто за кем идет и кто что несет. Лидер — тот, кто залез на дерево, и смотрит, куда идти... Театральный критик Инна Соловьева в статье «Прикосновение к чуду» пишет: «Русское слово “вожак” и английское

слово «лидер» — синонимы, но все же есть оттенок. Лидер ведет — за вожаком идешь сам, хочешь идти. Идем все вместе, радуемся тому. Весело». Вспоминается полушутливое высказывание С. П. Капицы: «Руководить — это значит не мешать хорошим людям работать». Сейчас в развитии концепции Деминга появился новый термин *Profound Leadership* — мудрое лидерство.

Наверно, в течение рабочего дня даже хорошему руководителю приходится быть то начальником, то лидером, то вожаком. Хотелось бы, чтобы лидером он был как можно большую часть времени. И, кстати, преподаватель должен стараться быть для студентов не начальником, а лидером.

8. Изгоняйте страх.

Поощряйте эффективные двусторонние связи и используйте другие средства для искоренения страха, опасений и враждебности внутри организации с тем, чтобы каждый мог работать более эффективно и продуктивно на благо компании. Сотрудник должен не бояться перемен в своей работе, а стремиться к ним.

У выдающегося писателя-прозаика Василия Гроссмана есть четверостишие на тему страха:

«Из чего твой панцирь, черепаха?» —
Я спросил и получил ответ:
«Он из мною пережитого страха.
Ничего прочнее в мире нет».

Э. Деминг говорил: там, где царит страх, мы всегда имеем дело с фальсифицированными данными. Понятно, что любая информация может содержать ошибки: ошибки измерений, непреднамеренные ошибки людей и т. п. Известны способы борьбы с естественными ошибками. Зато против сознательной фальсификации информации мы практически бессильны. Ложь, которую порождает страх, строится на гипотезе о том, что именно хотел бы услышать менеджер. По словам Г. Форда, даже самый тупой рабочий сможет найти сто способов, как обмануть самого квалифицированного мастера. Требуется изменить поведение работников, чтобы не возникало желание обманывать. В древности по этому поводу говорили: «Стоящий на цыпочках долго стоять не может».

Наличие страха — это отсутствие процессного подхода, отделение работником своих интересов от интересов предприятия, нежелание замечать и показывать несоответствия, восприятие работы как тяжелого бремени и неприятной необходимости, желание дожидаться конца рабочего времени и покинуть территорию предприятия.

Деминг замечает, что «никто не может работать с полной отдачей, если он не чувствует себя защищенным» и призывает: «Изгоните из организации чувство страха. Создайте атмосферу доверия». Любой ра-

ботник, напуганный руководителем, не может надлежащим образом сотрудничать с ним. Лучшее, что можно ожидать в таких обстоятельствах, — обиженная покорность. Чувство страха мешает нам вносить предложения по улучшению работы и системы, в которой мы работаем. Ведь менеджер может увидеть в предложении попытку создать для него проблему.

Что же касается критики, то она не должна быть направлена на человека, а быть источником для принятия корректирующих решений и их реализации. Все решения, которые почему-либо не сработали, подвергаются анализу и корректировке в рамках цикла Шухарта–Деминга (*PDCA*). На высказывание, что немного страха или опасений — вещь полезная, Деминг ответил, что, если менеджер чувствует, что ему нужно оружие в виде страха или опасений, он автоматически признает свою собственную неудачу.

Обстановка в Советском Союзе хорошо описал Евгений Евтушенко в стихотворении «Страхи», отрывок из которого приведем без комментариев.

Умирают в России страхи,
словно призраки прежних лет,
лишь на паперти, как старухи,
кое-где еще просят на хлеб.

Я их помню во власти и силе
при дворе торжествующей лжи.
Страхи всюду, как тени, скользили,
проникали во все этажи.

Потихоньку людей приучали
и на все налагали печать.
Где молчать бы — кричать приучали
и молчать — где бы надо кричать.

Страхи нас пробирали морозом.
Только вспомнишь — знобит и теперь
тайный страх перед чьим-то доносом
или страх перед стуком в дверь...

Не боялись мы строить в метели,
уходить под снарядами в бой,
но боялись порою смертельно
разговаривать сами с собой.

Будь свободна, как Волга в разливе,
Но запомни те страшные дни,
Победившая страхи Россия,
И бесстрашье свое сохрани!..

Актуальность восьмого принципа Э. Деминга объясняется рядом объективных факторов, к числу которых относятся переход экономики на рыночные отношения и связанная с этим замена командно-административных методов управления экономическими и социально-психологическими.

При традиционном управлении компанией причины страха кроются внутри нее: боязнь быть наказанным, «подсиженным», униженным, оклеветанным. Вне компании страх отсутствует — никто не боится того, что она разорится, потеряет клиентов, снизится прибыль. Должно быть наоборот. Человек в компании должен испытывать только два вида страха: страх быть уволенным и страх потерпеть крах вместе с бизнесом. Этот страх должен приводить к сплочению команды, пониманию того, что «все в одной лодке». Суть такого подхода в том, что в компании атмосфера лучше, комфортнее, чем за ее пределами. Чтобы это сохранилось в будущем каждый должен придумывать что-то новое, более эффективное [Ланидус В. А., Разумова Л. А. Три базисных типа управления: принуждение, договор, самомотивация // Методы менеджмента качества. 2017. № 7. С. 40–46].

Отношение исполнителя к допущенной ошибке (скрыть ее или откровенно рассказать о случившемся, чтобы специалисты объективно во всем разобрались), отношение к специалисту, допустившему ошибку (наказать его или найти факторы, приведшие к ошибке) является показателем культуры производства. Когда работник производит брак, он не скрывает этого, что дает возможность определить истинную причину несоответствия. Это становится возможным, если на предприятии изгоняется страх, то есть реализуется один из принципов Деминга.

9. Разрушайте барьеры между подразделениями.

Разружьте барьеры между подразделениями, службами, отделениями. Люди из различных функциональных подразделений: исследователи, разработчики, производственники, представители коммерческих и административных служб — должны работать в командах (бригадах) с тем, чтобы устранять проблемы, которые могут возникнуть с продукцией или услугами.

В теории глубинных знаний Э. Деминга есть понятие организации, как системы, где если хотя бы один элемент будет слабее других, это неминуемо ухудшит общий результат. Системное мышление — центральный момент учения Э. Деминга: «...Чтобы управлять системой, нужно понимать взаимоотношения между всеми компонентами в ее пределах и людьми, которые в ней работают». Если такого нет, то «...компоненты системы оказываются предоставленными сами себе, они быстро становятся эгоистичными, конкурирующими, независимыми и, таким образом, уничтожают систему».

Работа всей организации как единого целого, без барьеров между отделами, бывает в случае, если все заинтересованы, чтобы товар как можно быстрее нашел своего покупателя. Если же цель организации — удовлетворение запросов вышестоящего начальника, то барьеры возникнут обязательно. Бывают, конечно, необходимые полезные барьеры, которые предохраняют от рисков, вредных воздействий внешней и внутренней среды, обеспечивают информационную безопасность или режим секретности оборонных предприятий, защищают интеллектуальную собственность, торговую марку, сохранность имущества и т. п.

Вредные барьеры те, которые негативно влияют на качество, уводят от цели. Они глубже, сложнее, менее явные. Человеку свойственно делить других людей на «своих» и «чужих». Кроме того, нужно выбивать для своего подразделения как можно больше ресурсов, по возможности более легкое задание и т. п. В случае неудачи свалить вину на соседнее подразделение. В результате возникают барьеры между подразделениями.

Применительно к бывшему СССР можно сказать, что у нас существовали не барьеры, а баррикады, между подразделениями шли войны. Пример их — регулярно организуемые в Советском Союзе «Социалистические соревнования» и борьба за звание «Ударника коммунистического труда». В России конструкторы воюют с технологами и производственниками, ОТК — один против всех, снабженцы работают в тылу врага. В сборнике задач [10] предлагается для успокоения ссорящихся соседей отрезать их неожиданным звонком по телефону или еще проще — отвлечь их, постучав металлическим предметом по батарее. А чтобы прекратить войны между подразделениями дать отделам новое задание, чтобы не осталось время на пересуды.

Межцеховые соревнования в годы строительства коммунизма оказали экономике СССР «медвежью услугу»: создали огромные запасы продукции на складах под названием «неликвиды» при одновременном наличии большого дефицита нужных товаров. Теперь соревнования называются конкуренцией, возводимой порой в ранг государственной политики. «К несчастью, политиками вращена и выпячена вера в то, что бизнес не имеет ничего общего с сотрудничеством, что он основан на конкуренции и конфликте», — сокрушался Деминг, считая, что работа любого отдела, цеха «должна оцениваться в терминах его вклада в цели всей системы, а не по его индивидуальной производительности или прибыли и ни по какому другому соревновательному критерию».

Деминг предлагает сохранить функциональные структуры, но изменить стоящие перед ними задачи. Собранные в единую команду представители разных подразделений позволят разрушить барьеры, поскольку человек, работающий в команде, на все время этой работы попадает в административное подчинение лидеру команды. Таким образом, удастся избежать ловушки, которая возникла в связи с пред-

ложенной П. Друкером «матричной» организационной структурой: по одной оси откладываем функциональные подразделения, а по другой — текущие проекты. В клетках, возникающих на пересечении этих осей видно, участвует ли данное подразделение в данном проекте. Это был важный шаг вперед от иерархий. Вот только забыли о человеке, который оказался «слугой двух господ».

Деминг считал необходимым постоянный диалог внутри команды, который поможет преодолеть любые различия членов команды и научить их общему языку системного взгляда на процесс. Это справедливо в практике преподавания в вузе, где нередко присутствует дублирование в программах разных дисциплин. Если бы преподаватели всех курсов, читаемых в данной группе, были командой, то вместе, нашли бы способ избежать повтора, улучшить качество обучения и повысить интерес студентов к обучению.

Если уж работникам и нужно за что-то бороться, то пусть они борются за конкурентоспособность и выживание компании, а не друг с другом. Иногда незначительные изменения в работе одного отдела могут сказаться очень положительно на работе других отделов — а это, в свою очередь, вызывает желание оказать встречную услугу. Общий язык элементарных статистических методов и контрольных карт очень полезен для объяснения друг другу своих проблем, а также путей их решения. Задача высшего руководства скоординировать работу всех подразделений, ликвидировать дублирование функций разных отделов и исполнителей.

Резюмируя, можно сказать, важность девятого принципа Деминга в том, что разрушение барьеров создает условия для лидерства, меж-процессного взаимодействия, менеджмента на основе фактов, а также внутриорганизационного бенчмаркинга.

10. Откажитесь от пустых лозунгов и призывов и количественных заданий для рабочих.

Откажитесь от использования плакатов, лозунгов и призывов к работникам, которые требуют от них бездефектной работы, нового уровня производительности и т. п., но ничего не говорят о методах достижения этих целей. Такие призывы только вызывают враждебное отношение; основная масса проблем низкого качества и производительности связана с системой, и, таким образом, их решения находятся за пределами возможностей рядовых работников.

Один из персонажей знаменитого советского фильма «Девять дней одного года» берет на себя социалистическое обязательство: «Откроем элементарную частицу еще в текущем квартале!» У большинства зрителей это вызывало смех, но реальная действительность той эпохи с бесконечно однообразными лозунгами («Советское — значит отличное», «Пятилетке качества — рабочую гарантию» и др.) мало отличалась от показанного в кино. Выслушав тот или иной призыв, хотелось приве-

сти известное выражение Н. В. Гоголя: «Чем истины выше, тем нужно быть осторожнее с ними: иначе они вдруг обратятся в общие места, а общим местам уже не верят».

Использование лозунгов предполагает, что работники могли бы, приложив дополнительные усилия, достичь целей, установленных руководством. «Для общества программа качества, начинающаяся с речи губернатора, развешивания флагов, барабанной дроби и нагрудных значков, сопровождаемая бурными аплодисментами, — это обман и ловушка». Деминг говорит о США, но очевидно, что это не в меньшей относится и к советской, и к российской действительности.

Среди типичных ошибочных призывов Деминг называл призывы к росту производительности труда, к достижению «нуля дефектов». «Пустые» призывы породили в людях двойное мышление. На публичных мероприятиях (совещаниях, собраниях и т. д.) сотрудник высказывает одни мысли, а в кругу своих друзей, близких, «на коммунальной кухне» — другие.

В сборнике задач и упражнений по управлению качеством [10] приводится пример, когда *SMART*-цели оказываются «неумными» (англ. *smart* — умный). В 1980-е гг. в компании *General Electric* поставили *SMART*-цели (акроним: *Specific* — конкретный, *Measurable* — измеримый, *Achievable* — достижимый, *Realistic* — реалистичный, *Time-bounded* — ограниченный во времени), которые должны были формулироваться каждым сотрудником компании. Однако несколько подразделений компании, целевые показатели которых соответствовали критериям *SMART*, приносили убытки. Одна из причин этого в том, что в этих подразделениях цели были тривиальны и воспринимались как пустые лозунги.

Надежный инструмент отказа от пустых лозунгов и призывов — системное применение стандартизации в работе предприятия. Стандарт организации должен включать «дорожную карту» мероприятий по повышению конкурентоспособности предприятия и выпускаемой продукции, содержать раздел ответственности за реализацию мероприятий. Убедить людей в необходимости улучшения работы чаще всего невозможно, они сами должны прийти к такому выводу.

В истории всех цивилизаций источником лозунгов на предприятиях всех времен и народов является культура. Лозунги были всегда, сколько живет и трудится человек. Самый популярный письменный сборник лозунгов — это Библия. «Полезные лозунги» — те, которые служат реализации принятой Политике и Стратегии предприятия, решают тактическую задачу, отвечая на вопрос «Как?».

Суть десятого принципа Деминга в словах: «Обращайтесь с разумными призывами и обеспечивайте всем необходимым, чтобы их выполнить, и вы получите больше, чем то, на что рассчитывали».

11. Устраните количественные нормы для рабочих и количественные цели для менеджеров.

Устраните рабочие инструкции и стандарты, которые устанавливают произвольные нормы, квоты для работников и количественные задания для руководителей. Замените их поддержкой и помощью со стороны вышестоящих руководителей с тем, чтобы достигать непрерывных улучшений в качестве и производительности.

Количественные показатели ориентируют на краткосрочные цели. В сборнике задач [10] описывается ситуация: деятельность шефа полиции оценивается числом зарегистрированных происшествий на закрепленном участке за квартал. Было отмечено, что в течение года число зарегистрированных преступлений на его участке регулярно (из квартала в квартал) падает, но это отнюдь не свидетельствует об улучшении работы.

Деминг считал, что числовые показатели, устанавливаемые без определения метода их достижения, порождают негативные чувства, и призывал отказаться от них. В работе «Выход из кризиса» он писал: «Любая деятельность является равнодействующей многих сил — самого работника, других людей, с которыми вместе он работает, применяемого оборудования, клиентуры, руководителей организации, непосредственного начальника, условий труда (шум, беспорядок, плохое питание в буфете компании). Эти силы в совокупности определяют намного больше различий между работниками. Фактически, кажущиеся различия между людьми обуславливаются почти целиком функционированием системы, внутри которой они работают, а не индивидуальными различиями. Работник, обойденный повышением, не может понять, почему его результаты ниже, чем у кого-то другого».

Принцип 11-а. Отмена многочисленных норм для исполнителей. «Норма — это бастион на пути повышения качества и производительности... Нормы совершенно не соответствуют непрерывному совершенствованию» (Деминг).

Принцип 11-б. Отмена поставленных целей для руководства. Одной из «смертельных болезней» для фирмы Деминг считал внимание внешней стороне дела, например, годовым отчетам.

Числа, которые мы получаем в результате измерения сами по себе безвредны, по словам Деминга: «Измерения — всегда только верхушка айсберга». Все дело в том, как мы ими пользуемся. Как только мы начинаем использовать их для оценивания людей, вместо дружной совместной работы начинается ложь.

Если нормы для рабочих — серьезная преграда на пути непрерывного совершенствования, то для менеджеров это еще более важно. Они, как всегда, оказываются между «молотом и наковальней». Им приходится требовать достижения некоторых количественных целей от своих сотрудников, и отчитываться в достижении своих целей перед высшим руководством.

Г. Нив говорит: «Интересно заметить, что управление на основе контроля широко используется в Советском Союзе. Один из типичных случаев: несколько лет назад возник избыток больших гвоздей и дефицит маленьких. Почему? Руководители были ответственны за производство гвоздей в тоннах. Затем требования переменялись на производство гвоздей в штуках. Это привело к дефициту больших гвоздей, поскольку маленьких получается больше». Подчеркнем, что на исполнителях нет никакой вины. Они стараются делать именно то, что от них хотят, а желания руководства выражается прежде всего в требуемых числовых показателях».

Переход от управления по КОЛИЧЕСТВУ и ОБЪЕМУ к управлению КАЧЕСТВОМ нельзя строго обосновать. Здесь ближе этика поведения и культура менеджмента. Стандарт ИСО 9001:2015 требует измеримости целей (п. 6.2.1) и, на первый взгляд, кажется, что без численных норм не обойтись. Но противоречия принципа Э. Деминга и требований стандарта нет: стандарт требует приоритета достижения удовлетворенности потребителя по качеству, срокам и количеству — цель, которая должна выражаться в числах обоснованно, а не произвольно.

В советские времена были популярны конкурсы «Лучший по профессии», которые чаще всего были формальными, а его победителями объявлялись приближенные к руководству. Автор помнит, как распределялись правительственные награды, например, «вашему отделу выделена такая-то медаль, решайте кто достоин, но должна быть женщина, член партии». В советскую эпоху была форма аттестации и ранжирования — «доски почета», поощрение «лучших людей». Ничего, кроме раздражения, не вызвал конкурс на лучшего лектора, проведенный в одном из институтов. Я не уверен, что нужен конкурс на лучшую студенческую работу. Все и всех рассудит время.

Между прочим, в поздние советские времена ругали преподавателей, которые ставили двойки, затем запретили оставлять на второй год. В эпоху позднего застоя началась «борьба за качество знаний», когда и троек рекомендовалось избегать.

Еще пример — оценка научного сотрудника по числу опубликованных статей, изобретателя — по числу патентов и т. п. Альберт Эйнштейн якобы сказал как-то: «За всю жизнь у меня была всего одна мысль, и я изложил ее в теории относительности».

«Ничто так дешево не дается и не ценится так высоко, как вежливость», мудро говорят французы. В своем 11-м принципе Деминг не предлагает, он требует быть вежливым в менеджменте с предприятиями. Возможно поэтому, со слов очевидцев, Деминг очень любил этот пункт и с подъемом, вдохновенно говорил о важности принципа не управлять по произвольным количественным показателям, а внедрять лидерство.

12. Дайте работникам возможность гордиться своим мастерством.

Устраните барьеры, которые обкрадывают рабочих и руководителей, лишая их возможности гордиться своим трудом. Это предполагает, помимо всего прочего, отказ от ежегодных аттестаций (оценок деятельности работников) и методов управления по целям.

Согласно законодательству многих стран человек, нанимаемый на работу рассматривается как «наемный работник». Работодатель предлагает ему выполнять конкретные задачи и, в случае успешного их выполнения, готов платить заранее оговоренную сумму. Работодателю совершенно не интересны чувства, мысли и взгляды наемного работника. В прошлом на проходных некоторых компаний висели лозунги, призывающие работников оставить голову за проходной. «Фюрер думает за нас!». Такой статус не совместим с учением Деминга.

Поскольку в новой парадигме людей нанимают на работу не для того, чтобы использовать их физическую силу, а чтобы воспользоваться их интеллектом, традиционная система отношений оказывается неприемлемой. Вовлеченный сотрудник охотнее будет участвовать в реализации инициатив, чем наемный работник. Следующий естественный шаг в развитии отношений между менеджментом и людьми в компании — это «увлеченный» сотрудник. Такой человек не боится проявить инициативу. Для этого менеджмент должен «делегировать полномочия» и признать за сотрудником право на ошибку. Тем более, что, как мы знаем, большинство событий в компании обусловлены действием системы, и лишь в малой степени действиями конкретных людей. А за систему ответственно первое лицо компании, поэтому оно не может делегировать ответственность.

Э. Деминг говорит, что нет более выгодного сотрудника, чем человек, получающий удовольствие от работы. Менеджменту необходимо создать в компании атмосферу любви к людям, уважения к каждому и доверия. На пути к этому идеалу существует масса препятствий. Особое внимание Деминг уделяет одному из ключевых барьеров — аттестации персонала, ранжированию людей и соответствующим механизмам оплаты труда. «Вознаграждение за заслуги порождает несогласие и раздоры». Э. Деминг любил цитировать это высказывание, которое принадлежит, видимо, древнекитайскому философу Лао Цзы.

В русском языке долгое время смысл слова «гордость» носил негативный оттенок. «Толковый словарь» В. Даля так трактует понятие «гордый»: «надменный, высокомерный, кичливый; надутый, высоконосый, спесивый, зазнающийся; кто ставит себя самого выше прочих». Отсюда и характерная поговорка той эпохи: «гордым быть, глупым слыть».

Времена изменились и в современном «Словаре русского языка» (1985 г. изд.) понятие гордости значительно шире и допускает позитивное толкование: «чувство собственного достоинства, самоуважения... чувство удовлетворение от сознания достигнутых успехов». Последнее

определение и соответствует нашему представлению о гордости — чувстве удовлетворения результатами своего труда. «Как может рабочий гордиться тем, что он делает, если из-за низкого качества материалов, плохих инструментов, необоснованных норм выпуска он вынужден производить низкопробную продукцию? Как может он быть удовлетворен, если сознает бесполезность обсуждения со своим начальством очевидных путей улучшения? ...Значимость того, что работник любого ранга производит, будет неизмеримо выше, если он имеет возможность гордиться своей работой, а не просто отбывает положенное время. И что может сделать система аттестации работников для того, чтобы достичь такого положения?» (Деминг).

В «Выходе из кризиса» Э. Деминг отмечает: «...менеджмент и цеховые рабочие стали для руководителей обезличенным товаром... Если на следующей неделе они не понадобятся, значит, они вернутся на рынок труда». Удовольствие от работы по Э. Демингу «дает не сам результат, продукт, а вклад в оптимизацию системы, в которой нет проигравших» [46]. Положения 12 принципа Э. Деминга не только сохраняют свою актуальность, но, как было отмечено на 9-й Ялтинской встрече YES, величие стран в XIX в. будет определяться человеческим потенциалом: «В XIX в. величие зависело от того, что можно извлечь из земли. В XX в. — насколько эффективны производственные процессы, какая производительность труда, сколько продукции можно собрать на конвейере. Но в XXI в. все зависит от человеческого потенциала, от творчества, от инновационности».

«Для работника профессиональная гордость значит больше, чем спортзал, теннисные корты и рекреационные зоны. Дайте работникам возможность работать с гордостью, и три процента, которым по статистике на все наплевать, исчезнут сами собой под влиянием тех, кто работает хорошо» — такими словами завершает Деминг описание своего 12-го принципа.

13. Поощряйте стремление к образованию.

Учредите энергичную программу образования и поддержки самосовершенствования для всех работников. Организации нужны не просто люди — ей нужны работники, совершенствующиеся в результате получения образования. Источником успешного продвижения в достижении конкурентоспособности являются знания. Продвижение по служебной лестнице должно определяться уровнем знаний и опыта.

Вопросам образования уделялось внимание на всех этапах становления и развития человечества. Еще Конфуций (500 лет до н.э.) считал высшими ценностями образование, преданность семье и законопослушание. Причем *образование* занимает верхнюю строчку. Если раньше было принято считать, что образование — личное дело каждого, то Деминг понял, что забота об образовании не просто выгодна компании, а это — одно из ключевых конкурентных преимуществ всякого

бизнеса. Образование — самый дешевый и самый надежный способ поддержания интеллекта в тонусе. Как сказал американский экономист Джон Кларк (*John Clark*, 1884–1963) «Знание является единственным орудием производства, которое не подвержено действию закона убывающей доходности». Афоризм американского адвоката и педагога Д. К. Бока: «Если вы считаете, что обучение стоит дорого, попробуйте узнать, во сколько обходится невежество».

Выше мы говорили, что Деминг различает понятия «образование» и «обучение». Образование он рассматривает как непрерывный процесс, у которого нет стационарного состояния, для него не удастся построить контрольную карту Шухарта, и он никогда не может стать стабильным. Что же касается обучения, то здесь, как раз, вполне возможно достижение стационарного состояния, которое свидетельствует о том, что процесс обучения прошел успешно и выработан искомый навык или умение выполнять определенные действия.

Из обнаруженных Демингом особенностей процесса обучения следуют исключительно важные практические выводы. Во-первых, они касаются учителей. Тот, кто берется вас обучать, не должен быть героем старой шутки: «Учил, учил, даже сам начал понимать, а они все никак не разберутся». Учитель, не знающий предмет и не умеющий учить, — сеет ложь и рождает некомпетентность. Во-вторых, высшее учебное заведение — это место, где не стоит обучать навыкам и умениям. Здесь важно приобрести знания, то есть, идеи, теории, истории развития этих идей и теорий, способы их анализа и опровержения.

По тем же причинам организации, которые вникли в учение Э. Деминга предпочитают привлекать своих сотрудников к преподаванию. Преподаватели должны быть профессионалами. И тут уместно задать вопрос, а чем же отличается профессионал от любителя? Профессионал — тот, кто знает. Любитель — тот, кто думает, что знает. Профессионал понимает, что ему не хватает знаний и постоянно стремится к их углублению. Любитель же уверен, что он все знает. Есть еще и такое бытующее среди любителей мнение, что уровень профессионализма можно оценить по той должности, которую занимает конкретный работник?! К сказанному добавлю собственное наставление: уважайте людей, а не занимаемые ими должности.

Итак, особенности «образования по Демингу».

Первое. Образование и воспитание, обучение, подготовка и переподготовка, суть разные вещи и не подлежат смешиванию.

Второе. Цель образования изучение теории для поиска ответов на вопрос: почему мы должны поступать так, а не иначе?

Третье. «Образование» как процесс, действие, определяется только качеством, т. е. удовлетворенностью потребителя.

Четвертое. Процесс образования предусматривает радость от изучения теории, удовольствие от ценности и богатства знаний. Как не

вспомнить здесь афоризм Анатоля Франса: «Учиться надо только весело. Чтобы переваривать знания, надо поглощать их с аппетитом».

Г. Нив трактовал 13 принцип Деминга, как процесс мотивации и стимулирования, целью которого является образование [71]. Образование — индивидуальный бесконечный процесс развития человека. Он может быть не связан с конкретным бизнесом, но определяет интеллектуальный потенциал специалиста. Работодатель должен быть заинтересован в постоянном развитии образовательного процесса каждого сотрудника. Бизнесу выгодно поддерживать в людях стремление к знаниям.

14. Действуйте во благо преобразований.

Ясно определите непоколебимую приверженность высшего руководства постоянному улучшению качества и производительности и его обязательство проводить в жизнь все рассмотренные принципы. Высшее руководство должно действовать, а не ограничиваться только поддержкой.

В своем 14 принципе Деминг как бы подводит итог своих размышлений, изложенных в 13 предыдущих. Он предназначался для того, чтобы собрать все предыдущие пункты вместе, превратить их в систему. Любые изменения в области культуры производства начинаются с топ-менеджеров, лишь затем охватывают остальных сотрудников. Без понимания руководителями того, что им тоже нужно многому научиться, прогресс будет в лучшем случае временным. Например, какой смысл в обучении всех статистическим методам, если высшее руководство их не знает и, скорее всего, не поймет отчетов, результатов анализа и рекомендаций.

При этом еще раз подтвердилось, что менеджмент в целом, и первое лицо в особенности, играют в успехах и неудачах компании совершенно особую роль. Э. Деминг, например, говорит, что «качество делается в комнате совета директоров». При этом замечал, что все сотрудники компании должны оказывать содействие высшему руководству. И главное в этой помощи — движение навстречу, достижения гармонии, создание атмосферы радостного свободного труда. Как сказал древнеримский историк Гай Саллюстий Крисп: «При согласии малое растет, при несогласии величайшее разрушается».

Выполнение требований этого принципа возможно при применении проверенного и признанного в мировой практике подхода к организации работ и управления ими, который остается неизвестным большинству руководителей. Это системный подход — единственно правильный путь развития современного менеджмента. Согласно философии интерактивного менеджмента различают три уровня компетентности:

1. *Бессознательная некомпетентность*: руководитель не знает, как эффективно управлять, и даже не знает, почему он не знает; в резуль-

тате имеем то, о чем говорил П. Друкер: «Большая часть того, что мы называем управлением, заключается в создании трудностей, мешающих людям работать» [50].

2. *Сознательная некомпетентность*: руководитель осваивает процессы эффективного менеджмента, учится, практикуется, совершает ошибки.

3. *Бессознательная компетентность*: получив некоторую дополнительную практику и наставления, руководитель смог научиться эффективно управлять, т. е. руководитель уже может принимать правильные управленческие решения, даже не задумываясь об этом, и все происходит как-то само собой.

Здесь уместно вспомнить поговорку «Короля играет свита». Мы видим рассуждения Деминга о командной работе, о необходимости понимания каждым сотрудником, будь то руководитель или исполнитель, своего места в организации и своего вклада в достижение конечного результата. Как бы грамотны не были специалисты и замечательны постоянные цели, стоящие перед ними, насколько бы низки не были барьеры между подразделениями и как бы рьяно не улучшался каждый процесс, но без вовлеченности в постоянное улучшение качества и производительности самого руководителя и всего высшего руководства результат вряд ли будет заметен. Можно долго спорить об актуальности принципов Деминга, но с последним по счету, но не по важности, принципом трудно не согласиться.

2.3. О «цепной реакции» Деминга и актуальности его учения

Мы рассмотрели принципы Деминга. У нескольких поколений квалитологов сложилось отношение к ним, как у людей верующих к десяти основным заповедям Ветхого Завета. Но если можно следовать любой заповеди Бога независимо, то принципы Деминга должны рассматриваться в совокупности. Нельзя применять отдельные принципы, не принимая его философию в целом. Представьте, что мы внедрим в образование только принцип «изгоняйте страхи». Это, действительно, необходимо. Трудно представить, чтобы студенты плодотворно изучали дисциплину, любили предмет, если преподаватель вызывает у них страх. Но если провозгласить: ничего не бойтесь — на экзамене поставлю каждому оценку, какую он попросит, то страхи мы, очевидно, изгоним, но весьма сомнительно, что это приведет к повышению качества образования.

Точно так же и на производстве. Если менеджер будет следовать только принципу «изгоняйте страхи», то это может привести к тому, что сотрудники станут работать по принципу «солдат спит, служба идет», а о высоком качестве производимой продукции можно будет только мечтать.

Половина принципов Деминга (3, 4, 8–12) говорит о том, чего не следует делать, и эти пункты конкретные. Положительная программа сформулирована более абстрактно. Известный статистик Брайан Джойнер в качестве наглядной иллюстрации основ философии Деминга предложил использовать треугольник (рис. 5), вершины которого имеют отношение к каждому из 14 принципов, разбиваемых на три группы:

- Одержимость качеством: пункты 1–6, 13, 14;
- Все — одна команда: пункты 7–9;
- Научный подход: пункты 10–12.



Рис. 5. «Треугольник Джойнера»

«Треугольник Джойнера» показывает, что «Одержимость качеством» достигается путем совместного действия двух сил: «Общеконандной работы» и «Научного подхода». Научный подход требует глубокого понимания природы вариаций, в особенности деления на управляемую и неуправляемую компоненты, обусловленные соответственно общими и особыми (конкретными) причинами. Этот важнейший аспект своего учения, который Э. Деминг называет «глубинными знаниями», затрагивает все стороны менеджмента.

Научный подход требует принятия решений и формирование политики на основе доброкачественной информации — как количественной, так и качественной. Он часто включает в себя анализ информации с помощью статистических методов (*SPC* — Статистическое управление процессом), при этом предполагает знание и понимание ограничений этих методов, в особенности осознание важности явлений, которые не описываются количественно.

Мощность идеи Деминга об отказе управлять по КОЛИЧЕСТВУ, а применять лидерство настолько велика, что вместить в один 11-й пункт эту идею невозможно. Идею 11-го пункта также нужно видеть в 7-м пункте о лидерстве, без него она не закончена. Систему показателей формирует высшее руководство, лидерство учреждает высшее руководство, с внешней средой работает высшее руководство. Без 12-го принципа о гордости своей работой нельзя понять

дух 11-го принципа, без знания 14-го принципа нельзя понять кто и как должен учреждать лидерство, а без этого рассматриваемый принцип явно не состоится.

Научный подход простирается далеко за пределы простого манипулирования с числами, привнося идею одержимости качеством. Третья вершина в «Треугольнике Джойнера» называется «Все — одна команда». Командная работа, если она есть, дает много как делу, так и нашей жизни в целом: в семье, в социальной сфере, в спорте, и т. д.

Завершив 14 принципов для управляющего, Деминг понял, что за границами его рассмотрения остались еще многие важные вещи. Поэтому ему пришлось ввести представление о «семи смертельных болезнях» и о «16 препятствиях». Пренебрежение принципами менеджмента ведет, по мнению Деминга, к «семи смертельным болезням» в фирме — явлениям, которые неизбежно влекут низкое качество продукции и услуг, плохие отношения между людьми, уменьшение прибыли.

1. *Незнание и непонимание стратегических целей фирмы всеми сотрудниками. Отсутствие постоянства цели при конструировании товаров и услуг.*

Если в первом принципе Деминга речь идет о производстве, то смертельная болезнь заключается в отсутствии постоянства цели в процессе конструирования. Эта «болезнь» связана с цепной реакцией Деминга. На российских предприятиях проявляется стремление выпускать товары и оказывать услуги, на которые предприятие было ориентировано в прошлом. Освоение новых товаров и услуг носит случайный характер. Многие предприятия бывшего ВПК начали осваивать производство СВЧ-печей, но не смогли конкурировать с производителями из Японии и Южной Кореи. Переход к новой продукции рассматривается как драма, как измена самим себе. Иными словами, в России эта «болезнь» проявляется в постоянстве стереотипов поведения, нежелании подчиняться запросам рынка и соответствующим образом изменяться.

2. *Стремление к получению прибыли и дивидендов в короткие сроки.*

Мышление, ограниченное желанием сиюминутной выгоды, несовместимо с целенаправленным ведением дел исходя из интересов перспектив развития. Признаки этой «болезни» так описывает Ю. Адлер: «...показать выдающиеся результаты в конце квартала можно разными способами, каждый из которых далек от эффективного успешного бизнеса, способного к долгосрочной конкуренции. Например, надо плюнуть на качество, сдвинуть текущие платежи на следующий квартал, прекратить научные исследования, заморозить программы обучения — и вы получите замечательный квартальный отчет. Вот только что вы будете делать в следующем квартале (или кварталах)?»

Впрочем, надо просто вовремя смыться, оставаясь героем незабвенного квартала, который войдет не только в анналы компании, но и во все учебники менеджмента» [Стандарты и качество. 2015. № 4. С. 96.]

3. *Повышенное внимание внешней стороне дела, оценке заслуг или годовым отчетам.*

Аттестация и ранжирование персонала, недостатки которых рассматривались при обсуждении соответствующего принципа Деминга. Системы аттестации и ранжирования персонала, оценка личного вклада, ежегодная аттестация, премиальные системы, оплата по труду оказывают разрушительный эффект. В России к тому же недостаточно объективных критериев оценки качества работников. Это приводит к перемещению карьерной борьбы в подковерную область с использованием интриг, доносов и т. п.

4. *Текучесть среди высшего руководства.*

«Рыба ищет, где глубже, а человек — где лучше» — слепое следование этой старинной поговорке приводит к ложному пониманию успешной карьеры как непрерывный рост, приводящий к «охоте к перемене мест». Текучесть кадров управляющих вызывает нестабильность, приводит к тому, что решения принимаются людьми, которые не знают дела и, слепо копируют опыт, полученный ранее в другом месте, который может не соответствовать новым условиям. В российских компаниях часто имеет место обратная картина — менеджеры, однажды оказавшиеся «на руководящих постах», уже не возвращаются на более низкие ступени. Ротация отсутствует. Продвигаясь вверх по карьерной лестнице, человек получает власть над другими людьми. Психология власти заменяет психологию ответственности и полномочий, главным становится удержание власти.

5. *Управление организацией на основе только количественных критериев.*

Никто не может преуспеть, используя только количественные критерии, которые нужны при определении зарплаты персонала, оплаты поставщиков и т. п. В России зачастую имеет место другая крайность: управление компанией без цифр и количественных показателей на основе стереотипов, интуиции, мнений и ощущений.

6. *Излишние социальные и медицинские льготы, присущие, прежде всего, американскому менеджменту.*

7. *Излишние расходы на гарантийное обслуживание.*

Кроме семи «болезней», Э. Деминг обнаружил 16 прегрешений, подчеркнув, что список не закрыт. Приведем их с краткими комментариями Ю. Адлера.

1. Надежда на пудинг быстрого приготовления. Увы! Поспешись — людей насмешишь.

2. Предположение о том, что, разрешая проблемы, вводя автоматизацию, приспособления и новое оборудование. Мы преобразуем

промышленность. Менеджмент, как и бизнес, это отношения между людьми, машины — вторичны.

3. Поиск примеров. Примеры без теории ничему не учат. Бенч-маркинг может легко ввести в заблуждение. Копировать рискованно.

4. «У нас другие проблемы». Возможно, но подходы и принципы — универсальны.

5. Устаревшие программы в учебных заведениях. Программы обучения студентов не только отстают во времени (что в конечном счете, естественно), они еще учат не тому и не так.

6. Недостаточное обучение статистическим методам в промышленности. Нет понимания того, что стандартные статистические методы непригодны для предсказания будущего. А для принятия решений важно именно прогнозирование.

7. Использование военного стандарта 105D и других таблиц для проведения выборочного приемочного контроля. В основе таких таблиц лежит идея «приемлемого уровня качества», что делает совершенствования ненужным.

8. «Наш отдел контроля качества решает все проблемы с качеством». («Занимался бы, если бы мог!» — Г. Нив).

9. «Наши проблемы связаны исключительно с качеством труда рабочих». С большой головой — на здоровую.

10. Фальстарт. Как нет «царского пути в геометрии», так нет коротких, простых, легких и дешевых путей к качеству и успеху.

11. «Мы внедрили управление качеством». Нельзя «внедрить» знания и понимание, это же не оборудование и не метод.

12. Напрасные надежды на компьютеризацию. Еще раз: дело не в машине, а в людях.

13. Вера в то, что надо только попасть в допуск. Допуск — барьер на пути к прогрессу. Это хорошо понимал Г. Тагути.

14. Заблуждение теории «ноль дефектов». Это ловушка, мода на безупречную, идеальную, всегда годную продукцию, к счастью, проходит.

15. Неадекватные испытания прототипов. Единичные прототипы не несут информации о вариабельности, поэтому доверять им опасно.

16. «Каждый, кто придет, чтобы попытаться нам помочь, должен превосходно разбираться в нашем бизнесе». Напротив, самые важные для компании знания обычно приходят извне.

Список можно продолжать и продолжать...

План действий Деминга состоит из следующих семи шагов:

1) руководство, опираясь на все 14 принципов, борется со «смертельными болезнями» и препятствиями, согласовывает понятия и направления планов;

2) руководство собирается с духом и внутренне настраивается на движение в новом направлении;

3) руководство объясняет сотрудникам компании, почему перемены необходимы;

4) вся деятельность компании проходит этапы, при этом каждый последующий является как бы заказчиком предыдущего, но постоянное улучшение методов работы должно осуществляться на каждом этапе;

5) как можно быстрее создается организационная структура, которая будет работать на постоянное улучшение качества. Деминг выступает за использование цикла Шухарта (*PDCA*) в качестве процедуры, помогающей улучшению на любом этапе;

6) каждый сотрудник может принять участие в совершенствовании работы на любом этапе;

7) строится система качества с участием профессиональных статистиков.

Последовательность событий, описанная Демингом («цепная реакция» — *chain reaction*): Улучшайте качество → Затраты уменьшаются за счет меньшего количества ошибок, переделок, задержек, лучшего размещения оборудования и материалов → Повышается производительность → Вы занимаете рынок, предлагая лучшее качество за более низкую цену → Остаетесь в деле, расширяете и удерживаете рынок → Увеличиваете объем работ. Сохраняете и умножаете рабочие места → Возвращаете капиталовложения.

Деминг подчеркивал, что более высокое качество ведет к более высокой производительности, а это, в свою очередь, обеспечивает долгосрочную конкурентную силу. Хотя Деминг никогда не забывал выражать благодарность Шухарту, он развил его учение о статистической природе изменчивости, перенеся его из сферы производства на все виды процессов в социальных системах (сферу обслуживания, деятельность административных органов). Эти идеи мы встречаем затем и у других известных квалитологов, например, Г. Тагути. Когда на семинаре, который проводил Тагути, его спросили, что общего у него с Демингом и в чем различия, тот ответил, что Деминг недооценивал роль планирования эксперимента, а в остальном он с ним согласен [46, с. 14].

Рассмотренные принципы не перечень инструкций и не методики — они являются средством нового мышления. Цель деятельности по Демингу — процветание общества в целом, что достигается через процветание как потребителей, так и изготовителей путем осуществления «цепной реакции Деминга».

Медаль Деминга — ежегодно вручается победителям конкурса, проводимого Союзом японских ученых и инженеров. На виньетке медали надпись «Качество и однородность свойств продукции являются источником мира и процветания».



В последние годы жизни Э. Деминг обнаружил, что «самая важная информация приходит в организацию извне», что натолкнуло его на мысль о создании системы — «теории глубинных знаний» — идея системного подхода к анализу любой организации. По мнению авторов [5] концепция глубинных знаний наряду с идеей одержимости качеством — главное в наследии Деминга. Система глубинных знаний создает базу для изменений, а 14 принципов менеджмента — есть применение этой системы для оптимизации менеджмента.

Учение Деминга не сводится к прикладным аспектам управления. Характерной его чертой является понимание важности учета социального и человеческого фактора для выживания, как отдельных предприятий, так и значительно более крупных социально-экономических организмов. В концепциях Деминга о всеобъемлющей важности потребителя, роли факторов сотрудничества, командной работы, радости внутренне мотивированного труда и уничтожения страхов практически заложена основа философии менеджмента, дающая ответ на такой мучительный для современной России вопрос о совместимости рыночной экономики с ее исконными духовными ценностями. Только всегда надо помнить мудрое высказывание: «Доверять следует Богу. От остальных требуются доказательства».

В этой связи вспоминается популярное в советские времена крылатое выражение «марксизм — не догма, а руководство к действию». Это относится и к философии качества Эдвардса Деминга. В работе [Conklin J. D. Whole new world. Seasoned quality professionals rethink Deming's 14 points for a new generation // Quality Progress, 2014. Dec. P. 52–57.], 14 принципов Деминга сформулированы таким образом, чтобы сделать их более понятными для поколения XXI в. Первоначаль-

чальные формулировки Деминга, отредактированные Г. Нивом, и варианты для XXI века представлены в табл. 1.

Таблица 1

Принципы Деминга для XXI века

Номер принципа	Первоначальные принципы Деминга	Принципы Деминга для XXI в.
1	2	3
1	Сделайте своей постоянной целью непрерывное совершенствование продукции и услуг	Повысьте ценность благодаря выпуску продукции и оказанию услуг, вызывающих восторг у потребителей
2	Воспримите новую философию. Вся компания должна быть вовлечена в процесс постоянного улучшения качества системы и всех видов деятельности	Свяжите требования потребителей с основными изменяемыми параметрами процессов
3	Перестаньте полагаться на контроль как средство достижения качества	Внедрите управление процессами
4	Покончите с практикой выбора поставщиков только на основе цены на их продукты. Вместо это требуйте серьезного подтверждения их качества	Выберите немногих существенно важных поставщиков на основе общих затрат
5	Постоянно улучшайте все процессы планирования, производства и оказания услуг	Улучшайте процессы сейчас, определите требующие дальнейшего улучшения, поддерживайте позитивные результаты
6	Введите в практику обучение работников на рабочем месте	Введите в практику обучение сотрудников на рабочем месте с тем, чтобы они могли улучшать свою работу
7	Руководители всех уровней должны стать лидерами в деле постоянного улучшения работы компании	Руководители должны знать своих сотрудников, прислушиваться к ним и снабжать их всем необходимым для совершенствования их работы
8	Изгоняйте страхи	Установите четкие оценки по разумным стандартам и всеобщую ответственность

Продолжение таблицы 1

1	2	3
9	Устраните барьеры между подразделениями	Добейтесь всеобщей кооперации путем устранения барьеров между подразделениями
10	Откажитесь от пустых лозунгов и призывов	Свяжите цели и нормативы с требованиями потребителей так, чтобы сотрудники понимали их
11	Устраните практику выдачи необоснованных количественных заданий рядовым работникам и количественных показателей руководителям	Избегайте произвольно поставленных целей. Отдавайте предпочтение тем, при измерении достижения которых поощряется принцип «делать правильно с первого раза»
12	Устраните барьеры, мешающие людям гордиться своим трудом. Откажитесь от практики ежегодных аттестаций, количественных оценок	Измеряйте деятельность работников по их наивысшим достижениям, используйте те измеряемые показатели, которые они могут отслеживать
13	Внедрите обширную программу обучения всех работников. Поощряйте их стремление к самоусовершенствованию	Помогайте лидерам вырабатывать правильные стили поведения и поддерживайте цели компании в области обучения
14	Вовлеките весь персонал компании в работу по ее преобразованию	Дайте сотрудникам работу, поставщикам — возможность снабжать вашу компанию, а компании — будущее. Совместите все это

В 1991 г. в Москве проходила международная конференция «Мировой опыт — экономике СССР». Демингу уже был 91 год, он не мог приехать, но просил прочесть от его имени Обращение к участникам этой конференции. «При хорошем менеджменте каждый получает от работы удовольствие. Каждый понимает, что другие люди на последующих стадиях зависят от него. А он, в свою очередь, зависит от предыдущих. Эти принципы применимы в сельском хозяйстве, образовании, правительстве, всех отраслях промышленности, производства и сферы услуг. Качество и сильная конкурентоспособность — неизбежные следствия хорошего менеджмента».

В справедливости этих слов мы убеждаемся и в XXI в. Подход Э. Деминга можно характеризовать тремя словами: системный, статистический, гуманитарный. Его учение никогда не перестанет быть актуальным, т. к. оно отражает естественные закономерности развития общества и личности.

Вопросы для самопроверки

1. Охарактеризуйте этапы цикла Шухарта–Деминга *PDCA*.
2. Что означает принцип Деминга постоянства цели – улучшения продукции и услуг?
3. Каков принцип выбора поставщиков?
4. Как Деминг разграничивал понятия образования и обучения?
5. В чем вред количественных норм для рабочих и количественных целей для менеджеров?
6. Что такое «Треугольник Джойнера»? Какие принципы Деминга характеризуются словами «Одержимость качеством», «Все – одна команда», «Научный подход»?
7. Что Деминг называл «смертельными болезнями» для фирмы?
8. Назовите основные элементы целной реакции Деминга.

3. «ЗАПАДНЫЙ» И «ВОСТОЧНЫЙ» ПОДХОДЫ К УПРАВЛЕНИЮ КАЧЕСТВОМ

Запад есть Запад, Восток есть
Восток, и вместе им никогда не сойтись.

Р. Киплинг

В предыдущих разделах мы разобрали концепции управления качеством выдающихся квалитологов, представляющих американскую школу. В США и Западной Европе управление качеством — это культура организации производства, в Японии и других наиболее развитых странах Юго-Восточной Азии — это философия руководства.

3.1. «Западный» подход к управлению качеством

В середине 1960-х гг. доминирование Японии на рынках развитых стран достигло такого размаха, что вместо японского экономического чуда стали говорить о японской экономической угрозе. Особенную тревогу выражали руководители компаний США, а американские менеджеры приступили к изучению японского опыта управления качеством. Тогда и возникла идея сочетать достижения японской школы менеджмента качества с американскими традициями организации и управления производством.

Наиболее известной попыткой такого рода стала концепция «Ноль дефектов» (иногда называемая «программа ZD» от английских слов *Zero Defect*), разработанная президентом Американского общества по управлению качеством (*ASQ*, ранее *ASQC*) Филиппом Кросби (*Crosby*, 1926–2001). В 1979 г. он выпустил труд «*Quality is Free*» («Качество бесплатно»), затем вышли книги: «Качество без слез», «Искусство выбора своего собственного светлого пути». Философия Ф. Кросби основана на четырех принципах:

1) качество определяется как соответствие четко сформулированным требованиям;

- 2) качество достигается предупреждением дефектов, а не их фиксацией;
 - 3) мера качества — потери из-за несоответствия требованиям);
 - 4) стандарт качества — отсутствие дефектов.
- Программа включала следующие основные моменты.



Ф. Кросби

1. Потребитель нуждается в бездефектной продукции, и производитель должен ее обеспечить.
2. Главное внимание предупреждению дефектов, а не их обнаружению с последующим исправлением.
3. Направлять усилия на уменьшение уровня дефектности при производстве.
4. Качество работы компании определяется не только состоянием производства, но и деятельностью подразделений, оказывающих услуги.
5. Необходим финансовый анализ деятельности в области обеспечения качества.
6. Необходимость четкой формулировки руководством предприятия цели в области повышения качества на длительный период (ныне это именуется политикой в области качества).

Система Кросби получила распространение в США и оказала влияние на работу в области обеспечения качества в других странах, в том числе в СССР («Движение за бездефектную продукцию», «Комплексные системы управления качеством») и в странах Восточной Европы, поскольку давала возможность внедрить передовые идеи, не меняя систему управления предприятием.

Программа «Ноль дефектов» включает 14 этапов:

1. Утверждение политики в области качества высшим руководством.

2. Формирование рабочей группы, которая разрабатывает план и представляет его руководству предприятия на утверждение.

3. Измерение уровня качества. Демонстрация имеющихся и потенциальных проблем несоответствия, способы их объективной оценки и методы корректировки.

4. Определение затрат, которые по мнению Кросби складываются из расходов на отходы, переработку, гарантийные обязательства, услуги (исключая регулярное техническое обслуживание), контроль, управление качеством, испытания, изменение технических условий, изменение порядка закупок, корректировку программного обеспечения, иные издержки, связанные с ошибочными действиями. Общая сумма затрат, как правило, не должна превышать 2,5% продажной стоимости.

5. Разработка способа повышения интереса сотрудников к повышению качества продукции и репутации компании.

6. Корректирующие воздействия. Разработка метода решения ранее обнаруженных проблем.

7. Планирование программы «Ноль дефектов».

8. Обучение контролеров, которое желательно проводить представителями высшего руководства.

9. Проведение дня «Ноль дефектов», который должен продемонстрировать сотрудникам, что они встали на новый путь.

10. Определение цели, поддающейся оценке, например сократить дефекты продукции в течение месяца на 20%.

11. Устранение причины возникновения дефектов. При этом каждый представивший на рассмотрение проблему получает благодарность, а сотрудник, решивший не участвовать в программе по устранению причин возникновения дефекта, должен объяснить свое решение контролеру.

12. Признание. Вознаграждение дает сотруднику понимание, что он все делал правильно и добился успеха.

13. Регулярное проведение семинаров по качеству.

14. Начните все сначала.

«Всегда чувствуется облегчение, когда цель достигнута. Если вы неосмотрительны, то вся программа на этом закончится. Необходимо создать новую группу, которая начнет все с начала и создаст свою собственную систему» — говорил Кросби.

В целом американских ученых отличает утилитарно-прагматический (прагматизм от др.-греч. Πραγμα — дело, действие, польза — философское течение, базирующееся на практике как критерии истины и смысловой значимости) подход к качеству, а основные положения управления качеством, объединяющие их:

- определение качества как соответствия требованиям;
- ориентация на потребителя;
- системный и процессный подходы к управлению качеством;
- использование статистических методов.

Любая деятельность, имеющая своей целью достижение какого-либо результата связана с необходимостью оценки ее эффективности. Концепция *TQM* была положена в основу трех премий по качеству: Премия Э. Деминга в Японии (*Deming Application Prize — DAP*), Национальной премии качества США — премии Малкольма Болдриджа (*Malcom Baldrige National Quality Award — MBNQA*) и Европейская премия качества для Европы (*European Quality Award — EQA*). Премия М. Болдриджа учреждена конгрессом США в память о погибшем в автомобильной катастрофе министре финансов США, который во время пребывания в своей должности снизил расходную часть американского бюджета на 30%, а затраты на содержание администрации — на 25%.

В последние годы все более популярной, особенно в европейских странах, становится оценка менеджмента по критериям так называемой «Модели делового совершенства» (*Business excellence*), которая предложена в 1991 г. Европейским фондом управления качеством (*European Foundation for Quality Management — EFQM*). На базе модели *EFQM* разработан оценочный механизм *RADAR*, характеризующий движение компании к «совершенству». Аббревиатура раскрывается следующим образом: *Results* (Результаты) — *Approach* (Подход) — *Deployment* (Внедрение, развертывание подхода по уровням организации) — *Assessment* (Оценка или самооценка) — *Review* (Пересмотр, анализ для пересмотра и попыток актуализации).

Особенность данного подхода в том, что сначала оцениваются результаты, затем возможности. Один из идеологов *EFQM* Тито Конти говорит на этот счет следующее: «Когда появились модели *TQM*, включавшие в оценку результаты, то считалось само собой разумеющимся, что последовательность проверки должна быть следующей: сначала — возможности, затем — результаты. Это согласуется с идеей о том, что оценка результатов была только дополнением к оценке соответствия модели, придавая проверке дополнительную эффективность. В действительности, это может быть верно для аудитов контроля и измерения, но это уже не действует, когда цель оценки — диагностическая. Диагностика всегда идет от симптомов к причинам, от результатов — к вызвавшим их организационным причинам».

Такая диагностика (то есть «самооценка») является «профилактическим исследованием». Механизм оценки *RADAR* приводится в табл. 2.

Матрица оценки RADAR

Элемент	Что оценивается	Как это делается в лучших организациях
Results — Результаты	Основные достижения компании, показатели ее деятельности (финансовые, производственные), системы управления	Результаты отражают положительные тенденции, стабильное положение, соответствуют установленным целям и являются лучшими относительно других организаций
Approach — Подход	Планы компании и основания их принятия, эффективность применяемых подходов для достижения планируемых результатов	Применяемые подходы являются рациональными, хорошо спланированными и регламентированными, ориентированными на удовлетворение нужд заинтересованных сторон. Разрабатываемые подходы интегрированы в корпоративную политику и стратегию и взаимосвязаны
Deployment — Внедрение	Системность применения подходов и то, как происходит их развертывание внутри организации	Подходы разрабатываются для всех направлений деятельности и систематизируются
Assessment and Review — Оценка (самооценка) и Пересмотр	Как организация изучает используемые подходы, анализирует полученные результаты, определяет области дальнейшего совершенствования	Подход и его реализация являются предметом постоянного измерения и изучения, полученные результаты используются для определения и ранжирования сильных и слабых сторон, планирования и реализации деятельности по совершенствованию

3.2. «Восточный» подход к управлению качеством

Побывав в середине 1950-х гг. в США и ознакомившись с системой работы супермаркета, Тайити Оно (1912–1990), ставший впоследствии председателем совета директоров компании Тойота, пришел к выводу, что производство продукции должно основываться не на планируемых объемах продаж (стратегия выталкивания), а на реальном спросе (стратегия вытягивания).

Т. Оно разработал систему управления затратами «канбан», которая является способом внедрения вытягивающей системы. «Кан-

бан» в переводе с японского — «сигнальная доска». Она используется для визуализации нарастающих темпов производства, и сотрудники каждый раз переходят к следующему этапу после соответствующего сигнала. С именем Т. Оно связано и обоснование методов «*Lean production*» («Бережливое производство»). Этот термин ввел в научный оборот Джоном Крафчиком в статье в журнале *Sloan Management Review* в 1988 г., а двумя годами позже в книге «Машина, которая изменила мир». Однако истоки зарождения философии бережливого производства восходят к началу двадцатого века.

Понятие работы, которая не добавляет ценности, впоследствии обозначенное японским словом *Muda*, было введено Франком Гилбертом (1868–1924), который однажды заметил, что каменщик, возводящий стену, производит побочное действие: наклоняется, чтобы взять следующий кирпич. Ф. Гилберт предложил складывать кирпичи на тумбу рядом с рабочим и это привело к почти троекратному увеличению скорости выполнения работы.



Т. Оно

С. Синго (1909–1990) помог практически осуществить бережливое производство, а разочаровавшись в методах статистического контроля, предложил метод, который при определенных условиях обеспечивает 100% исключение дефектов и несоответствий из производственного процесса. Сначала он назвал его «бака — еке» («дуракоустойчивость») или «защита от дурака», но рабочие одного из заводов обиделись на изобретателя, и он ввел термин «пока — еке» — «защита от непреднамеренного производства дефектов».



С. Синго

Этот подход основан на исключении самой возможности следующей операции, если на предыдущей возникло несоответствие. Синго считал, что бездефектности можно достигнуть путем контроля за источниками появления несоответствий в сочетании с системой «Пока-еке». В его концепции делается упор на достижение бездефектности путем исследования производственных процессов, а не с помощью призывов и лозунгов, что характерно для концепции американца Кросби.



М. Имаи

Концепция непрерывного улучшения предложена Масааки Имаи (р. 1930) и носит название кайдзен — производное от двух японских

слов: *kai* — изменение и *zen* — хороший, что вместе переводится «изменение к лучшему», или «непрерывное совершенствование» (по-английски — *Continuous Improvement*). Это — философия системы управления качеством, основанная на предположении, что человек никогда не должен быть удовлетворен и всегда должен стремиться работать лучше. Для системы кайдзен характерен принцип «семи нулей».

Нулевое количество дефектов — абсолютное соответствие допускам.

Нулевое время включения — постоянная готовность к работе, при которой исключается ожидание необходимых материалов или исполнителей.

Нулевое перемещение грузов — исключение движения материалов, приводящее к росту затрат, но не ценности, например, перемещение между производственными участками или к складским помещениям.

Нулевое количество поломок — исключение затрат времени из-за дополнительной обработки деталей вследствие изношенности инструмента или несовершенства конструкции.

Нулевое время выполнения заказа — способность реагировать на изменения спроса, исключение потерь из-за перепроизводства товаров.

Нулевое отклонение от требуемого ритма производства — отказ от создания запасов для устранения несогласованных действий работников, например, перемещение их в поисках инструментов, документов или помощи.

Позднее Т. Оно добавил восьмую причину потерь: недостаточное использование квалификации, опыта и таланта сотрудников [72]. Концепция кайдзен появилась в Японии, но она получила широкое распространение повсюду в мире и многократно убедительно доказала свою эффективность, причем не только в промышленности, но и в сфере услуг. Говоря об истоках кайдзен, необходимо подчеркнуть влияние американских ученых Деминга и Джурана. Так, совершенствование рассматривается как циклический процесс, управляемый циклом Шухарта-Деминга.

В концепции кайдзен у менеджмента есть две главных функции: поддержание и совершенствование. Поддержание — это действие, направленное на выполнение требований имеющихся стандартов, следование стандартным рабочим процедурам (*standard operating procedure, SOP*). Совершенствование же — это процесс, направленный на улучшение существующих стандартов. Совершенствование может классифицироваться как кайдзен или как «инновация» [56, 57]. Различие между кайдзен и инновацией в том, что первый обычно не требует крупных капиталовложений, но предполагает постоянную работу, делая ставку на постепенный прогресс. Место инновации и кайдзен в процессе совершенствования показано на рис. 6.

Инновационная стратегия, напротив, рассчитывает на то, что движение вперед происходит подобно подъему по ступеням (рис. 7). Без осуществления мероприятий по кайдзен прогресс происходит по модели, показанной на рис. 8. Любая система начинает деградировать с момента ее создания, если не прилагать усилия для ее поддержания (рис. 9). Поэтому любая инновация должна подкрепляться кайдзен, чтобы поддерживать достигнутый уровень и совершенствоваться (рис. 10).

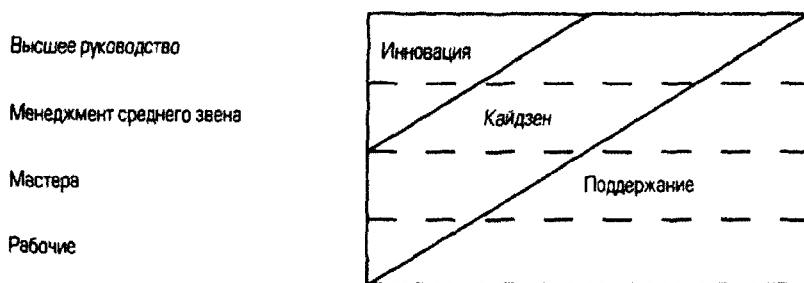


Рис. 6. Место инновации и кайдзен в процессе совершенствования

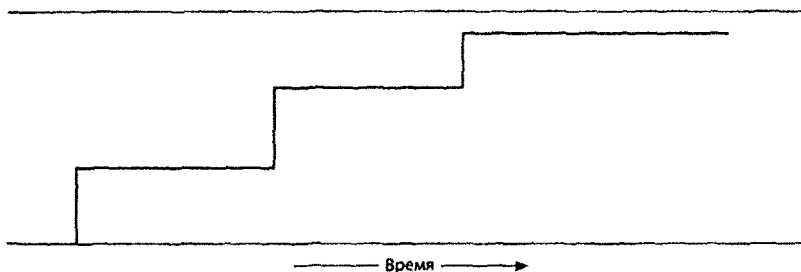


Рис. 7. Прогресс при инновационной стратегии

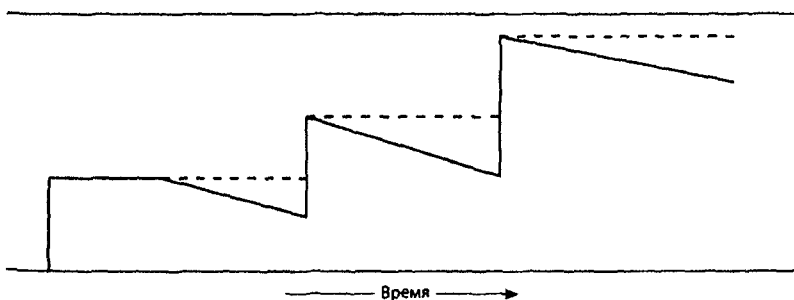


Рис. 8. Реальная модель прогресса при инновационной стратегии

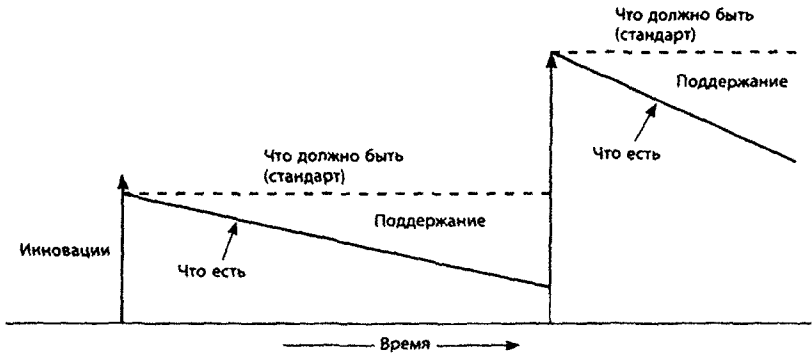


Рис. 9. Расчет только на инновации

Иновация — это одномоментный акт, кайдзен же — постоянная работа с кумулятивным эффектом, направленная на неуклонный подъем. Можно предположить, что концепция кайдзен лучше работает в условиях медленно развивающейся экономики, тогда как инновации более эффективны при ее стремительном развитии.

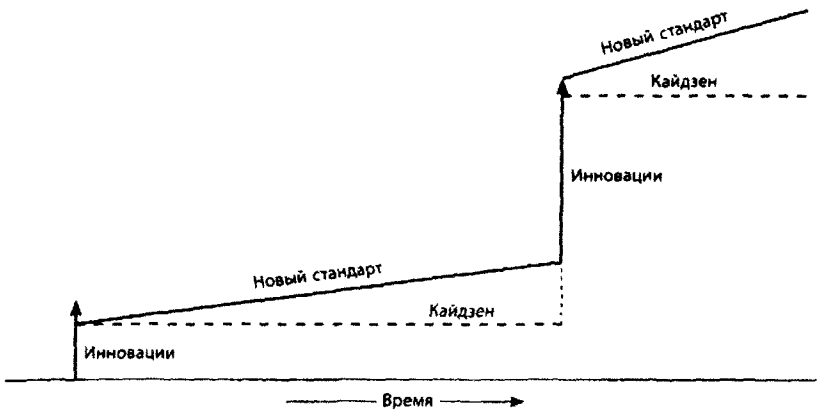


Рис. 10. Иновации в сочетании с кайдзен

В декабре 1967 г. на Седьмом симпозиуме по управлению качеством были названы следующие особенности японской системы, отличающие ее от западной.

1. Участие всех звеньев фирмы в управлении качеством.
2. Обучение кадров методам управления качеством.
3. Организация кружков качества.
4. Инспектирование деятельности по управлению качеством.

5. Использование статистических методов.
6. Общенациональная программа по контролю качества.

3.3. «Теория ограничений» и «Бережливое производство»

Один из способов внедрения вытягивающей системы основан на разработанной в 1980-е гг. израильским ученым Элияху Голдратом (1947–2011) теории ограничений (*TOC, Theory of constraints*) — концепции управления, связанной с поиском ключевого ограничения системы, которое тормозит работу, мешает реализовать возможности компании и должно быть устранено [47]. Метод рассуждений Голдратта позволяет успешно разрешать множество противоречий: между сроками и качеством, стоимостью и затратами, требуемой производительностью и имеющимися ресурсами.

Принципы теории ограничений:

- любая система — цепь элементов;
- в любой системе есть слабое звено;
- главное — найти причину проблемы.

При этом достигается эффект, значительно превышающий результат одновременного воздействия на все элементы системы. В конкретной ситуации ограничение — это единица оборудования, участок, инструмент, работник или приведшая к застою политика предприятия.

Теория ограничений основана на методе «барабан — буфер — канат», сущность которого заключается в планировании производственных заданий только для одного участка, являющегося ограничением и обеспечении синхронной работы всех остальных звеньев производственной цепочки. От выпуска ограничивающего ресурса зависит объем производства предприятия в целом, поэтому нет необходимости планировать работу остальных участков. Смысл метода в том, чтобы не нагружать всю систему на 100%. Пока слабое звено работает, остальные части могут простаивать — их загруженность не повысит общую производительность.

«Барабан» является ограничением, это наименее производительная стадия. Ограничение устанавливает ритм работы всей компании, предохраняя от перепроизводства и обеспечивая гибкость системы. Барабан функционирует непрерывно, а остальные под него подстраиваются. Например, если слабое звено — разработчик, остальные члены команды работают, исходя из его скорости. Он должен получать новую работу, как только сделает предыдущую. Если барабан, или ограничивающий ресурс, по какой-то причине простаивает, производительность всей системы снижается.

«Буфер» — это защитный механизм, например, запас материалов, защищающий ограничение от простоев или запас времени, чтобы не тормозить процесс, или запасное количество, которое содержится

перед барабаном, который не должен простаивать. Буферное количество необходимо планировать и контролировать. Не следует накапливать слишком большие объемы запасов, поскольку это приводит к другим проблемам.

«Канат» — это средство коммуникации, позволяющее избежать излишков материалов в производственной системе. Материалы должны подаваться в производство только тогда, когда запасы перед ограничением достигли некоторого минимума. Фактически это план отпуска материалов со склада, который корректируется в зависимости от режимов работы ограничения.

Бережливое производство и теория ограничений являются системными методами повышения эффективности производства, но основанные на разных подходах. Теория ограничений сосредоточена на выявлении и устранении ограничений потока, которые сдерживают его пропускную способность. Бережливое производство сосредоточено на сокращении потерь, возникающих в результате необходимости отладки потока.

Существуют механизмы поддержания потока, используемые в теории ограничений и в рамках бережливого производства. Назовем некоторые инструменты бережливого производства могут быть использованы при работе по теории ограничений.

Value Stream Mapping (VSM) — карты создания потока ценности — визуально отображают поток производства (текущее и будущее состояния) с помощью определенного набора символов и приемов. Они обеспечивают основу для дальнейшей работы при определении ограничения, полезны для документирования сложных процессов.

Gemba призывает проводить время в цехах завода: наблюдение за производством и сбор информации помогает определить ограничения. *5S* представляет собой программу для устранения потерь, которые являются результатом плохо организованного рабочего места. *Visual Factory / Andon* представляет собой стратегию передачи информации через визуальные образы — доски или визуальные дисплеи.

Standardized Work представляет собой сохранение успешного опыта сотрудников в документах, которые последовательно применяют все операторы. Это позволяет увеличить производительность и уменьшить вариабельность. *Kaizen* позволяет генерировать идеи по повышению пропускной способности ограничения. *Kanban* предлагает простые методы регулирования потока материалов, синхронизирует использование материалов ограничением своевременно сигнализируя, когда новые материалы нужно запускать в процесс.

Line Control обеспечивает альтернативу традиционному инструменту «барабан-буфер-канат», оптимизирует скорости работы ограничений для максимальной пропускной способности. *Poka-Yoke* умень-

шает количество дефектов, позволяет увеличить время автономного обслуживания.

Теория ограничений и бережливое производство дополняют друг друга. Например, если в компании не выстроены бизнес-процессы, отсутствует долгосрочное планирование, то методы бережливого производства будут малоэффективны. Теория ограничений в этой ситуации позволяет выявить в цепочке узкое место.

Японские фирмы руководствовались принципом «качество — прежде всего», а администрация предприятий в США и странах Западной Европы следовала принципу «прибыль — прежде всего». Рассматривая мировые школы качества: сходные черты и различия, американский специалист по управлению качеством Джеймс Харрингтон (*Harrington*, p. 1929) писал: «Американцы намного быстрее европейцев принимают новые концепции, работают в соответствии с ними, достаточно быстро переходят к новым. Эта нация ориентирована на новые инструменты качества. Такой ускоренный процесс переключения с одной концепции на другую обусловлен естественным стремлением страны вырваться вперед. Но это означает и значительный риск.

Европейцы привержены более обстоятельному подходу. В Станом Свете сначала довольно много времени тратится на разработку методологии, затем стараются ее внедрить в умы ученых и практиков... и только после этого начинают работать в рамках новой концепции.

...В Японии ученые консервативны. Японцы сначала выдвигают какую-либо идею и концентрируют на ней все внимание. Длительное время эта идея основательно обсуждается... В результате японский подход отличается более высокой степенью проработки методики. Это сопровождается более длительным переходом к новациям, но и риска принять неверное решение здесь значительно меньше».

Итак, три подхода: американский — «Хорошая идея, давай сделаем так»; европейский — «Попытайся превратить все в прекрасную систему, пойми ее суть и только потом внедряй новую концепцию»; японский — «Подумай об этой идее и, прежде чем принять ее, оцени альтернативу».

В качестве эпиграфа к настоящему разделу взяты многократно цитируемые слова из «Баллады о Востоке и Западе» английского писателя Редьярда Киплинга (1865–1936), который, вопреки широко распространенному мнению, говорит в ней о том, что, несмотря на различия этих цивилизаций, их представителей могут объединять сильные чувства и ценности — Любовь, Честь, Мужество. Таким же чувством явилась и борьба за Качество. В результате взаимного обогащения и развития «восточного» и «западного» подходов возникла концепция *TQM*.

3.4. Особенности отечественных подходов к управлению качеством

По-видимому, первым государственным деятелем России, обратившим внимание на качество изделий, был Петр I. Петровская эпоха характеризовалась развитием промышленного производства, активизацией и расширением внешней торговли, что требовало введения высоких требований к качеству отечественных товаров, поставляемых на европейские рынки. Контроль экспортируемого Россией сырья осуществляли специально созданные бракеражные комиссии, которые в свое время играли роль, ныне отводимую отделам технического контроля (ОТК). С реформами первого императора России связано начало стандартизации в нашей стране. Последующие российские самодержцы не проявляли интереса к качеству отечественной продукции. Во всяком случае документальных свидетельств этого не найдено.

В СССР в 1930-е гг. одним за другим выходят законодательные акты, которые сегодня кажутся варварскими: «Об охране имущества государственных предприятий, колхозов и кооперации и укреплении общественной социалистической собственности» (так называемый «Закон о трех колосках»), предусматривающий тюремное заключение за мелкое хищение крестьян, «Закон о трудовой дисциплине», предусматривающий тюремное заключение за опоздание на работу более чем на 15 минут. В 1940 г. принят указ, в соответствии с которым руководство промышленных предприятий за выпуск недоброкачественной или некомплектной продукции «с нарушением обязательных стандартов» подвергались тюремному заключению сроком от пяти до восьми лет.

Эти и им подобные решения создавали обстановку всеобщего страха и никак не способствовали улучшению качества продукции. К тому же началась борьба «за материалистическую диалектику в математике» [На борьбу за материалистическую диалектику в математике / под ред. С. А. Яновской. М.-Л.: Гос. научно-техническое издательство, 1931]. Эта «борьба» затронула и математическую статистику, которая, как и всякая другая наука, стала партийной [Розенталь Р. М. Диалектический материализм против СПС. Неоконченная история // Менеджмент качества. 2012. № 1. С. 26–43]. В результате, например, статистическое управление процессами, предложенное В. Шухартом, было признано «порочным направлением» и его фактически постигла участь генетики и кибернетики, развитие которых было прервано по идеологическим соображениям.

В энциклопедическом справочнике «Машиностроение» в главе «Организация технического контроля» читаем: «Особенности советского направления развития статистических методов резко отличают его по главнейшим принципиальным положениям от порочных на-

правлений многих зарубежных методов, развиваемых в целях достижения частно-коммерческих выгод капиталистических фирм формалистическими школами англо-американских статистиков... , разделение факторов, вызывающих погрешности, на “управляемые” и “неуправляемые” и объявление последних непознаваемыми или незаслуживающими внимания и изучения; ...ограничение целей статистического контроля уменьшением числа контролеров и стабилизацией некоего среднего уровня качества, выгодного предпринимателю; ограничение областей применения статистических методов только условиями так называемого “подконтрольного состояния” производственного процесса» [Машиностроение. Энциклопедический справочник. Разд. 5. Организация и экономика машиностроительного производства. Т. 15. М.: ГНТИ Машиностроительной литературы, 1950. С. 598].

Мы процитировали фрагменты статьи Н. А. Бородачева и А. Н. Журавлева. «Статистические методы анализа и контроля качества продукции, хода технологического процесса и состояния производственного оборудования». В этих словах фактически отвергается основная идея Шухарта. Дальнейший текст статьи из энциклопедического словаря «Машиностроение» заставляет вспомнить появившемуся во второй половине 1940-х гг. ироническую фразу из анекдотов «СССР — родина слонов»), высмеивающих попытки искажения истории научных открытий в ходе послевоенной «борьбы с космополитизмом» и кампании по пропаганде «русского научно-технического первенства», проводимых коммунистами «за приоритет отечественной науки» (такая кампания проводилась в СССР с 1946 г.) штампами: «Россия — родина радио», «Россия — родина авиации».

Авторы энциклопедического словаря «Машиностроения» рассматривают различные контрольные карты, предложенные Шухартом, не упоминая имя изобретателя, метод однократной выборки, не упоминая критерий Неймана–Пирсона. По поводу последовательного анализа говорится: «Метод выборки нарастающего объема, известный также под названием метода последовательного анализа...» (с. 635) без ссылки на Вальда приводятся формулы из его монографии. Не в этом ли причина того, что передовые методы статистического контроля до сих пор с трудом находят применение на отечественных предприятиях.

Вместе с тем проблема управления качеством имеет в нашей стране глубокие исторические корни. Некоторые подходы, предложенные отечественными учеными, предшествовали тем, что позднее стали модными во всем мире. В ноябре 1950 г. в Академии наук СССР было созвано совещание под председательством академика А. Н. Колмогорова, на котором было принято решение о внедрении на заводах статистических методов анализа и контроля качества продукции. По мнению математиков-профессионалов именно русский ученый А. Н. Колмогоров сумел превратить теорию вероятностей из руко-

водства по подбрасыванию монетки и попытки перехитрить рулетку в казино в серьезную науку.

Комплексное управление качеством получило свое развитие в Советском Союзе в период с конца 1950-х гг. до середины 1970-х. За шесть лет до того, как американец Ф. Кросби предложил систему «ноль дефектов» Б. А. Дубовиков (1906—1988) разработал саратовскую систему, которая произвела революцию в производстве. Система Кросби и саратовская система близки, но «Ноль дефектов» не предполагает наличие универсального показателя оценки качества труда — процента сдачи готовой продукции с первого предъявления.

В 1955 г. директор Саратовского авиационного завода Б. А. Дубовиков запретил предъявлять ОТК не проверенные исполнителем изделия, начальникам цехов предписывалось предъявлять в ОТК, а работникам ОТК — представителю заказчика продукцию без дефектов. Это означало отказ от существующей практики, при которой исполнитель отвечает за выполненную работу (за количество), а контролеры — за ее качество.

Саратовская система бездефектного изготовления продукции (БИП) представляла комплекс взаимосвязанных, организационных, экономических, воспитательных мероприятий, которые создавали благоприятные условия для изготовления продукции без дефектов в соответствии с требованиями нормативно-технической документации. Один из принципов БИП — технический контроль главным образом на профилактических мероприятиях, исключающих появление дефектов. Внедрение системы способствовало развитию инициативы для перехода рабочих на работу с «личным клеймом», означавшим право самоконтроля.



Б.А. Дубовиков

Внедрение системы БИП способствовало существенному повышению качества выпускаемой продукции. Но вскоре эта система была фактически демонтирована. Почему так произошло? В стандарте ИСО 9000:2015 «Системы менеджмента качества. Основные положения и словарь» приводится понятие «среда организации»: «Сочетание внутренних и внешних факторов, которое может оказывать влияние на подход *организации* к постановке и достижению ее *целей*».

Одним из таких внешних факторов, повлиявших на достижение целей системы БИП, оказалась сдельная форма оплаты труда, принятая на предприятии. Рабочие, имеющие личное клеймо, были вынуждены тратить значительное время на проверку качества выпускаемой продукции, что отрицательно сказывалось на производительности их труда и соответственно на заработной плате.

В 1958 г. на машиностроительных предприятиях г. Горького (ныне — Нижний Новгород) была внедрена система «Качество, надежность, ресурс с первого предъявления» (КАНАРСПИ), основная задача — выявление на этапе проектирования изделий возможных причин отказов и их устранение до производства. Дальнейшее развитие принцип бездефектного труда получил в середине 1960-х гг. на нескольких предприятиях Львовской области и получил название системы бездефектного труда (СБТ), основным показателем при этом является обобщенный критерий — «коэффициент качества труда».

Хотя и принято считать, что «бездефектность» закончилась провалом, ее проявления можно встретить во многих современных подходах, в том числе и в концепции «Шесть сигм». Но, как это, к сожалению, часто бывает, в то время как мы гордились своими научными достижениями, в наиболее развитых странах капиталистического мира ими пользовались.

Сказывается и российский менталитет, характерную черту которого подметил поэт Игорь Губерман, а одним из своих «Гариков»:

Чего-нибудь монументального
 Все время хочется в России,
 Но непременно моментального
 И без особенных усилий.

В СССР срабатывал ортодоксальный принцип: отклонений не должно быть ни в чем, ни от «линии партии», ни от заданного значения параметра. Автор помнит, каких усилий стоило обосновать и утвердить в Госстандарте приемочный уровень дефектности. В электронной промышленности вводилась в качестве основного показателя надежности «минимальная наработка», трактовавшаяся, как «минимальное время, в течение которого изделие при соблюдении регламентированных требований по режимам эксплуатации, техническому обслуживанию и ремонту работает безотказно».

Проблема управления качеством не стояла в принципе, поскольку рыночной гибкости в управлении предприятием не требовалось — менеджера высшего звена лоббировали интересы предприятий в министерствах и ведомствах, а стимулирование качества на уровне персонала происходило главным образом идеологическими методами. При плановой экономике отсутствует связь между качеством продукции и благосостоянием организации, ее производящей. Понятие качества стало нарицательным в советские годы, негативные характеризующие отечественную продукцию, пользующуюся спросом ввиду отсутствия иной. Выбор конкретного вида выпускаемой продукции навязывался предприятию, проблема модернизации производства была сопряжена со сложнейшим процессом бюрократических согласований.

Президент японского научно-исследовательского института «То-рэй» Тадао Моримото отметил, что для советской экономики характерны огромные непроизводительные затраты, из-за чего Советский Союз «сам загонял свою промышленность в рамки структуры, характерной для отсталых государств, и проматывал свои огромные ресурсы». Далее Моримото объясняет, что, если бы мы сокращали непроизводительные затраты, то резко снизили бы себестоимость своей продукции, и «вообще могли бы обойтись без атомной энергетики... успешное применение энергосберегающих мероприятий... позволило бы вообще отказаться от строительства АЭС или, по крайней мере, избежать трагедии Чернобыля» [Моримото Т. Советской экономике да японскую бы бережливость... // Международная жизнь. 1989. № 10. С. 94–99].

С середины 1980-х гг. отношение к проблеме качества изменилось. В стране началась работа по сертификации продукции. Появились квалиметрические методики, позволяющие количественно оценивать качество, что ранее было доступно лишь на уровне эмоций, ощущений и субъективных впечатлений. В этот период к россиянам обратился Э. Деминг: «Если русские будут увязывать свою деятельность с отдельными независимыми единицами, то они не смогут оптимизировать всю систему». И далее: «В Японии нет природных ресурсов, нет железа, угля, нет собственной древесины. Однако сегодня Япония — одна из богатейших стран мира. Ее экономический взлет стал возможен благодаря правильной организации производства. Еще в 50-е годы высшее руководство Японии пришло к выводу, что страна — это единая система, каждый элемент которой должен способствовать ее развитию. К этому элементу следует относиться не только как к средству конкуренции, но и как к одной из составляющих всей системы... Качество и жесткая конкуренция — неизбежное следствие правильной системы управления» [Стандарты и качество. 1993. № 3. С. 32. Цит. по: Quality Progress, 1992. № 3. Р. 99–101].

Вопросы для самопроверки

1. Основные этапы системы «Ноль дефектов» Кросби.
2. Опишите систему оценки *RADAR*.
3. В чем различие между инновацией и кайдзен?
4. Основные черты «Бережливого производства».
5. В чем суть «Теории ограничений»?
6. Охарактеризуйте мировые школы качества: американскую, западноевропейскую, японскую.
7. Особенности отечественных подходов к проблеме управления качеством.
8. Почему не прижились Саратовская система «Бездефектного изготовления продукции» и аналогичные подходы к обеспечению качества продукции?

4. КАЧЕСТВО, ПОКАЗАТЕЛИ КАЧЕСТВА, УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ

Качество — вещь забавная. Все о нем говорят, все с ним живут, и каждый думает, что это такое. Но лишь немногие придут к единому мнению об определении качества.

Дж. Харрингтон

«Уточните значение слов, и вы избавите человечество от половины его заблуждений», — говорил Рене Декарт (1596–1650). «Ясность в терминологии позволяет избежать ненужных баталий и невинных заблуждений» — один из афоризмов Блеза Паскаля (1623–1662). Слово «термин» происходит от латинского *terminus* — предел, граница, и означает слово или сочетание слов, точно обозначающее определенное понятие. В древнеримской мифологии Термин — бог охранитель границ; почитался в виде межевого камня, который считался священным и устанавливался с соблюдением ритуала. Осквернение межевых знаков считалось преступлением.

Главное требование к любому термину — однозначность, которая может быть абсолютной или относительной. Последнее подразумевает, что в пределах данной сферы деятельности термин должен быть конкретен. Пример абсолютной однозначности привести нелегко. Яркий пример относительной однозначности — это термин «корень». В ботанике это основной орган растения, в морфологии — часть слова, в одном разделе алгебры — число, которое после подстановки его вместо неизвестного в уравнение обращает уравнение в тождество, в другом — радикал («*корень степени n из числа a*»), извлечение корня — действие, обратное возведению в степень. Можно указать еще на «корень зла» и аналогичные выражения.

4.1. Что такое качество

Что такое качество? В «Толковом словаре» Владимира Даля говорится: «Качество — это свойство или принадлежность, все, что со-

ставляет сущность лица или вещи». Согласно «Толковому словарю русского языка» С. И. Ожегова «качество — это совокупность существенных признаков, свойств, особенностей, отличающих предмет или явление от других и придающих ему определенность». Второе толкование: качество — это то или иное свойство, признак, определяющий достоинство чего-нибудь.

Такие абстрактные определения можно назвать философскими. Помимо этого, качество продукции имеет социологический, экономический, правовой, статистический, производственный и другие аспекты. Первыми анализировали понятие качества древнегреческие философы Демокрит (V в. до н.э.) и Аристотель (IV в. до н.э.). Последний рассматривал его в качестве меры различия разных предметов: «Качеством, с одной стороны, называется видовое отличие сущности, как, например, человек есть некоторое качественно определенное животное, потому что это животное двуногое, а конь четвероногое; и круг — некоторая качественно определенная фигура, ибо это — фигура без углов, так что качеством является относящееся к сущности видовое отличие» [*Аристотель*. Сочинения в 4 т. Т. 1. Метафизика. М.: Мысль, 1976].

Предложенное родоначальником немецкой классической философии И. Кантом (1724—1804) разграничение понятий объективной реальности («вещь в себе») и восприятие объекта познания («вещь для нас») относится и к качеству. Технические объекты есть «вещь в себе», так как их поведение в общем случае весьма многообразно, а для потребителя они представляют «вещь для нас» и характеризуются ограниченным набором свойств — показателей качества.

Один из основоположников диалектики Г. Гегель (1770—1831) писал: «Качество есть вообще тождественная с бытием, непосредственная с бытием определенность... Нечто есть благодаря своему качеству то, что оно есть, и, теряя свое качество, оно перестает быть тем, что оно есть». Трактовка Гегеля соответствует принятой в современной философии: качество — философская категория, выражающая существенную определенность объекта, благодаря которой он является именно таким, а не иным. Гегель отметил неразрывное единство качества и количества. Те или иные количественные изменения имеют свой предел, свою качественную границу, выход за которую ведет к установлению нового соотношения количества и качества.

К. Маркс материалистически преобразовал метод Гегеля, а Ф. Энгельс сформулировал три основных закона диалектики, один из которых — переход количественных изменений в качественные. Философское определение непригодно к предмету «Управление качеством». Например, изделие с дефектом и без дефекта имеют качественную определенность по Гегелю, но в одном случае мы называем его годным, а в другом — дефектным. Более того, если дефект был, напри-

мер, скрытым и выявился через некоторое время (меньшее, чем мы ожидали), то даже если все объективные параметры и характеристики данного изделия до момента отказа были бы в норме, мы не назвали бы его качественным. А если у другого потребителя в других условиях эксплуатации тот же дефект не привел бы к отказу, тогда изделие считалось бы качественным.

Понятие «качество» многозначно, не имеет единого определения, пригодного на все случаи жизни, и в абстрактном смысле не является синонимом слова «лучший». В наше время оно приобрело множество оттенков: «качество исполнительского мастерства» (заметим, что «квалификация» также однокоренное слово с *quails* — качеством), «деловые качества», «душевные качества», «качество окружающей среды», «качество жизни», важное понятие математической статистики «качество статистических оценок», а, например, в шахматах термином «качество» называют перевес ладьи над легкой фигурой (конем или слоном).

В разных частях настоящего курса нам встретятся «качество услуг» и «качество продукции», а всего насчитывается более ста различных понятий, обозначаемых этим термином [24–26]. В учебном пособии [15] предлагается выделить два класса — качества природные и качества социальные. В основе природных качеств лежит многообразие состояний и различных форм материи. Они могут выступать как индивидуальные или как видовые. Носителями социальных качеств являются люди и их объединения, эти качества воплощаются в результатах человеческого труда.

4.2. Трактовка «качества» классиками квалитологии

В 1934 г. в статье «Некоторые аспекты контроля качества» Шухарт обсуждал три типа качества. Тип 1 — это то, что «характеризует вещь саму по себе, независимо от всех других вещей и воли, и интересов человека». Тип 2 — это то, что «характеризует вещь в ее отношении к другой вещи как части целого, независимо от воли и интересов человека» [*Shewhart W.A. Some Aspects of Quality Control // Mechanical Engineering. 1934. V. 56. № 12. P. 725–730*]. Наконец, тип 3 — это то, что «делает вещь желаемой со стороны одной или более персон». Таким образом, по Шухарту, существует две стороны качества: субъективная (желание потребителя) и объективная (совокупность свойств продукции, которые не зависят от желания потребителя).

В книге Деминга «Выход из кризиса» делается заключение, что качество должно рассматриваться как результат взаимодействия трех составляющих: 1) самого товара; 2) потребителя и способа использования товара и 3) инструкции по использованию, подготовке обслуживающего персонала и потребителей. Деминг на вопрос, что такое качество, отвечал, что «качество можно определить, только пользуясь

системой оценок того человека, который пользуется товаром, кто судит о качестве». Таким образом, Э. Деминг разграничил качество для потребителя, которое определяет его удовлетворенность, и качество для производителя как достижение целевых показателей и выполнение спецификаций. В другом месте в трудах Деминга находим определение качества, как «обеспечение постоянной предсказуемой степени однородности и надежности продукта, достигаемой с минимумом затрат и отвечающей требованиям рынка». Это означало оценку качества совокупностью характеристик продукции или услуги.

А. Фейгенбаум трактует качество как единство всех характеристик продукции и услуги по таким аспектам, как маркетинг, проектирование, производство и обслуживание, реализация которых позволяют удовлетворить ожидания потребителя. Фейгенбаум полагал, что «качество определяет потребитель, а не инженер, служба маркетинга или высшее руководство. Оно основывается на фактической оценке потребителем продукции или услуги по отношению к его требованиям — заявленным, осознанным или лишь ощущаемым, технически обоснованным или чисто субъективным... Качество продукции... — это общая совокупность характеристик продукции и услуги, относящихся к маркетингу, разработке, производству и техническому обслуживанию, посредством которых продукция и услуга при своем использовании удовлетворяют ожидания потребителя».

Как и Деминг, Фейгенбаум трактует качество как понятие многомерное, но определяемое как нечто целое и оцениваемое по устанавливаемым потребителем критериям. Изменчивый характер ожиданий потребителей — как явных, так и скрытых — обуславливает и меняющийся характер качества продукции.

По мнению Джурана, качество проявляется в тех свойствах продукции, которые соответствуют потребностям потребителей и обеспечивают их удовлетворенность этой продукцией. Кросби, кроме того, считал необходимым установление количественных показателей качества.

По Тагути, «качество — это потери, которые несет общество с того момента, как изделие отправлено потребителю, ...но не включающие потери, причинами которых являются внутренние присущие самой продукции функции и возможности». Такое определение неожиданно, поскольку понятие «качество» подразумевает «желательность», тогда как понятие «потери» содержит идею «нежелательности». Следуя Тагути, можно сказать, что чем меньше ущерб при эксплуатации изделия, тем оно качественнее. К составляющим ущерба или потерь он относит неудовлетворенность потребителей, дополнительные расходы производителя по гарантийным обязательствам, ухудшение репутации компании, влекущее за собой утрату рынка.

Примеры социальных потерь от изделия — невыполнение требований покупателя к удобству его использования, вредные побочные

эффекты, вызываемые изделием, потери в процессе производства (сырье, энергия и труд, расходуемые на производство бесполезных изделий). Вопросы экологии играют все большую роль в оценке качества изделия. Наверняка более качественным признаем тот автомобиль, выхлопные газы которого наносят наименьший ущерб окружающей среде. А при выборе места для жилья мы все больше обращаем внимание на экологическое состояние в районе. Вряд ли кто-то захочет жить в роскошной квартире в доме с разнообразными атрибутами комфорта, однако расположенном в районе с неблагоприятной экологией.

Международный стандарт ИСО 8402 (в настоящее время заменен на стандарт ИСО 9000) в 1994 г. трактовал качество, как «совокупность характеристик объекта, относящихся к его способности удовлетворить установленные и предполагаемые потребности». А в стандарте ИСО 9000: формулировка изменилась: «Качество — степень, с которой совокупность собственных характеристик выполняет потребности или ожидания, которые установлены, обычно предполагаются или являются обязательными».

Если в редакции 1994 г. качество определялось со стороны продукции («совокупность характеристик...»), что в треугольнике Деминга преувеличивало роль одного из углов, то в определении 2000 г. подчеркивается взаимодействие продукции с внешним окружением («потребности и ожидания» есть не только у потребителей, но и работников, акционеров и т. п.). В последующих редакциях ИСО 9000 качество (*quality*) определяется как «степень соответствия совокупности присущих характеристик объекта требованиям», «требование (*requirement*): Потребность или ожидание, которое установлено, обычно предполагается или является обязательным».

В 1979 г. в Советском Союзе был принят ГОСТ 15467-79 «Управление качеством продукции. Основные понятия. Термины и определения», разработанный на основе обобщения опыта внедрения Комплексной системы управления качеством продукции (КС УКП), получившей распространение с 1976—1980 гг. — в ходе 10-й пятилетки («пятилетки качества»), в котором содержался термин: «Качество продукции» — совокупность свойств продукции, обуславливающих ее пригодность удовлетворять определенные потребности в соответствии с ее назначением». В России в настоящее время действует терминологический стандарт — ГОСТ Р ИСО 9000-2015 «Системы менеджмента качества. Основные положения и словарь», соответствующий международному. В соответствии с ним: «Качество — степень соответствия совокупности присущих характеристик объекта требованиям».

«Качество» и «качество продукции (услуги)» не являются синонимами: «качество продукции» должно соответствовать требованиям технических условий, а «качество» — это степень соответствия объективных свойств субъективным требованиям заинтересованных сторон.

Очевидно, что «качество» — это цель любой деятельности и в этом смысле важнее «качества продукции». Оценить качество (степень соответствия характеристик объекта требованиям всех заинтересованных сторон) сложно.

Стандарт различает требование к продукции и требование к качеству. «Улучшение качества — часть менеджмента качества, направленная на повышение способности выполнить требования к качеству» (ГОСТ Р ИСО 9000-2015). Заметим, что улучшение качества (увеличение степени соответствия) стандарт не связывает с обязательным повышением способности выполнить требования к продукции и это соответствует определению «качества».

Возможно, что та же продукция со временем будет в большей или в меньшей степени удовлетворять заинтересованную сторону поскольку изменилась эта заинтересованная сторона. Иными словами, степень, с которой объект соответствует требованиям (качество), зависит не только от объективных свойств продукции (от ее качества), но и от субъективных свойств носителя требований.

Улучшение означает приближение одного или нескольких фактических показателей качества продукции к номиналу или к некоторому идеальному значению (дефектность, равная нулю, КПД двигателей = 100% и т. п.). Требования различных заинтересованных сторон различны. Например, повышение степени соответствия характеристик объекта требованиям какой-либо одной заинтересованной стороны можно считать «улучшением качества», если не снижается соответствие этих характеристик требованиям другой стороны. Если какая-то заинтересованная сторона страдает от проводимого изменения, его нельзя считать улучшением качества. На практике устраивающие всех изменения случаются редко, поэтому «улучшение качества» обычно происходит «в интересах большинства» или в интересах более сильной стороны.

По мнению А. Езраховича качество — это во многом характеристика руководства и правомерно говорить о слиянии понятий «бизнес» и «качество». Менеджмент качества требует качественного менеджмента. Принципиальная новизна стандарта ИСО 9001:2015 по сравнению с ИСО 9001:2008 в том, что раньше требования потребителей касались только операционного менеджмента, теперь же они распространяются на всю систему организации. Поэтому правильнее говорить об управлении качеством на трех уровнях: 1) качество производства; 2) качество продукции; 3) качество организации [52, 53].

Когда говорят, что «качество стоит дорого», имеют в виду «качество проекта», которое нужно отличать от «качества соответствия», отражающего насколько товары или услуги соответствуют требованиям потребителей и нормативных документов.

Итак, качество — объективно существующая категория, но существует она не как нечто абсолютное вне времени и пространства,

а лишь при взаимодействии изготовителя с потребителем, причем в этом взаимодействии активно участвует продукция (услуга), качество которой возникает и реализуется по мере того, как этот процесс развивается. То, что качественно для одного, может быть некачественно для другого.

Очевидно, что «требования» со временем изменяются: что было качественным вчера, перестает быть таковым сегодня. Например, даже очень надежный черно-белый телевизор в наше время не может считаться качественным. Заметим, если изделие качественно, то оно должно быть надежно. Обратное утверждение несправедливо: изделие может быть надежным, но некачественным. Из вышесказанного можно сделать вывод: термин «качество» должен трактоваться в зависимости от наших целей и задач и с учетом нашего прошлого и настоящего опыта.

Резюмируя, отметим, что необходимо увязывание трех факторов «качество — стоимость — время». «Понятие «качество» как такое нейтрально и не имеет положительного или отрицательного смысла. Оно приобретает смысл в ассоциации с понятием «ценность». В этой связи «управление качеством» — это «деятельность, направленная на создание и предоставление ценности потребителю или всем заинтересованным сторонам» [*Конти Т. Самооценка в организациях / пер. с англ. 2-е изд. М.: Стандарты и качество, 2002. 327 с.*].

Сложилось несколько групп факторов, на основании которых термину «качество» даются различные интерпретации.

1. Ориентированные на продукцию: «превосходные характеристики» (считается, что качество закладывается на этапе разработки продукции и может быть измерено).

2. Отражающие точку зрения представителей производства: «соблюдение требований нормативно-технической документации».

3. Ориентированные на конечного потребителя: «пригодность для использования» и основаны на мнении специалистов по маркетингу.

4. Определяемые стоимостью: «наибольшая польза от потраченных денег».

5. Основанные на субъективном восприятии: «качество сразу видно» и аналогичные формулировки.

Качество — комплексное интегрирующее понятие разных сторон деятельности, направленной на удовлетворение многообразных потребностей общества и каждого человека. Оно представляется настолько многогранным, что о возможности его количественной оценки ведется дискуссия. В заметке «Что такое качество?» М. Трайбус пишет, что качество как любовь. Никто не может сформулировать точное определение, что такое любовь, но, когда она приходит, мы всегда знаем.

4.3. Показатели качества продукции и услуги

Известно следующее определение: *показатель качества продукции* — количественная характеристика одного или нескольких свойств продукции, входящих в ее качество, рассматриваемая применительно к определенным условиям ее создания и эксплуатации или потребления (ГОСТ 15467-79).

В СССР существовала серия стандартов на показатели качества. Классификация основных показателей качества, обязательная для всех отраслей и видов продукции регламентировалась ГОСТ 22851-77 «Выбор номенклатуры показателей качества промышленной продукции». Данный ГОСТ в дальнейшем был заменен на РД 50-64-84 «Методические указания по разработке государственных стандартов, устанавливающих номенклатуру показателей качества групп однородной продукции».

Распространенным способом выбора показателей качества производителем являлось составление карты технического уровня продукции в соответствии с ГОСТ 2.116-84 «Карта технического уровня и качества продукции». Существуют различные методы определения значений показателей качества: экспериментальный, расчетный, смешанный, органолептический, социологический, экспертный и др.

Показатели качества продукции подразделяются на единичные, комплексные, определяющие и интегральные. Единичные характеризуют показатели качества, которые могут быть непосредственно измерены и каждый относится к одному из свойств объекта (простое свойство), оцениваемому независимо от других показателей качества. Комплексные — несколько свойств, их непосредственно измерить невозможно. Они характеризуют совокупность взаимосвязанных свойств (сложные свойства), образующих качество объекта.

Показатель, по которому принимается решение о ее качестве, называется *определяющим*. Часто за определяющий показатель качества технического объекта принимается его надежность. В общем случае его определяют экспертным методом следующим образом: эксперты оценивают в баллах каждый показатель качества изделия, затем средние результаты оценки умножают на коэффициенты весомости и произведения суммируют.

Интегральный показатель качества продукции — это комплексный показатель качества, который характеризует объект с точки зрения его общей эффективности и выражается отношением суммарного полезного эффекта от использования объекта по назначению к суммарным затратам на его разработку, изготовление, транспортирование, хранение, эксплуатацию, обслуживание с учетом принятых ограничений по воздействию на человека и окружающую среду.

В зарубежной практике интегральным показателем качества признается удовлетворенность потребителя, которая условно может быть представлена в виде дроби:

$$Q = Cs = \frac{V}{C}, \quad (1)$$

где: Q — качество;

Cs — удовлетворенность потребителя;

V — ценность продукции с точки зрения потребителя;

C — цена потребления, равная сумме затрат на приобретение продукции и расходов, связанных с ее потреблением.

Чтобы закрепиться со своей продукцией на рынке в условиях жесточайшей конкуренции изготовитель должен стремиться к достижению максимального значения отношения V/C , повышая ценность продукции и снижая ее себестоимость. В некоторых случаях интегральным показателем качества может быть коэффициент полезного действия изделия. Другой вариант вышеприведенной дроби: числитель — реально достигнутые характеристики продукции, знаменатель — требования потребителя.

Для продукции, срок службы которой небольшой, например до одного года, интегральный показатель качества определяется по формуле:

$$u = \frac{\varepsilon}{\mathcal{Z}_c + \mathcal{Z}}, \quad (2)$$

где: ε — суммарный полезный эффект от эксплуатации или применения (например, наработка на отказ до ремонта);

\mathcal{Z}_c — суммарные затраты на создание продукции (разработку, изготовление, монтаж и другие единовременные затраты);

\mathcal{Z} — суммарные затраты на эксплуатацию (техническое обслуживание, ремонты, и другие текущие затраты).

По методике, предложенной академиком В. А. Трапезниковым (1905–1994), рассчитывают «коэффициент качества», равный произведению частных показателей, характеризующих отклонение фактического значения каждого контролируемого параметра от установленных стандартами или принятых за эталон. Сводный коэффициент находят по формуле:

$$K_{CB} = \prod_{i=1}^n K_i = K_1 \times K_2 \times \dots \times K_n, \quad (3)$$

где: K_{CB} — сводный коэффициент качества;

K_i — частные показатели качества.

В свою очередь частные показатели определяется по формуле:

$$K_i = \frac{K_\phi}{K_3}, \quad (4)$$

где: K_ϕ — фактический показатель качества;
 K_3 — уровень качества образца, принятого за эталон.

При комплексной оценке качества продукции может быть также использован средний взвешенный арифметический показатель, когда усредняемые исходные относительные показатели K_i сравнительно мало отличаются друг от друга:

$$K_{CB} = \sum_{i=1} K_i \times W_i, \quad (5)$$

где: K_{CB} — сводный коэффициент качества;
 K_i — частный относительный показатель качества;
 W_i — весовые коэффициенты показателей качества (определяются экспертным методом).

Если величина сводного показателя качества больше единицы, то можно предположить, что качество оцениваемого экземпляра выше, чем базового, принимаемого за эталон.

Пример 1. Средняя продолжительность работы электрических ламп определенной мощности, изготовленных предприятием 420 часов. Эталонное значение срока службы 450 часов. Коэффициент полезного действия имеет эталонное значение 20 лм/Вт, а фактический коэффициент 19 лм/Вт.

По методике обобщенной оценки качества Госстандарта России проверить соответствие качества электроламп эталону.

Решение:

$$K_{CB} = \frac{420}{450} \times \frac{19}{20} = 0,887 \quad (6)$$

Фактический уровень качества производимых электрических ламп на 11,3% ниже эталонного.

Пример 2. Имеются данные об уровнях качества однотипных автоматических стиральных машин, изготовленных фирмами «Веста» («Вятка-Аленка») и «Аристон» по паспортным данным.

Показатель качества стиральной машины	Единицы измерения	«Аленка»	«Аристон»
Расход воды на цикл основной стирки	л	90	85
Номинальная загрузка сухого белья	кг	4,0	3,5
Время самого продолжительного цикла стирки при 90 °С при заливке только холодной воды	мин.	100	120
Потребляемая мощность	Вт	2200	2400
Гарантийный срок годности	год	3,5	5,0

Дать сравнительную оценку уровней качества машин, если определенные экспертным путем коэффициенты весомости каждого фактора составляют соответственно 0,31; 0,29; 0,03; 0,07; 0,3.

Решение:

Рассчитывается сводный коэффициент качества по методике В. А. Трапезникова. При этом учитывается характер показателей: для «положительных», с увеличением значений которых качество повышается, выбирают прямую формулу, а для «отрицательных», с увеличением которых качество продукции снижается, используют обратную формулу.

$$K_{св} = \frac{90}{85} \times 0,31 + \frac{3,5}{4} \times 0,29 + \frac{120}{100} \times 0,03 + \frac{2200}{2400} \times 0,07 + \frac{5}{3,5} \times 0,3 = 1,11 \quad (7)$$

Относительный уровень качества автоматической стиральной машины марки «Аристон» на 11% выше уровня качества автоматической стиральной машины марки «Вятка-Аленка».

Все свойства, определяющие качество, можно разбить на два класса: мгновенные, которые могут быть определены за пренебрежимо малое время (вес, габариты, комфортабельность, расход энергии и т. д.), и проявляющиеся в процессе эксплуатации (износостойкость, усталостная прочность и т. д.). Часть свойств продукции, составляющих ее качество, стабильны во времени, другие меняются в зависимости от условий производства и эксплуатации. Обычно при контроле и управлении качеством, а также при сертификации продукции главное внимание обращается на вторую группу свойств.

Каждый объект можно оценивать по многим показателям качества. Например, легковой автомобиль по среднему расходу бензина, надежности, максимально достигаемой скорости, весу и т. д. Определяющей является конкретная ситуация, для которой выбирается автомобиль. Участнику автопробега важна максимально достигаемая скорость, которая не очень важна для рядовой частной машины. Частника больше волнует расход бензина и надежность. Для машин различных служб государственного управления надежность важнее, чем для частника, а расход бензина — наоборот. В районах Крайнего Севера важна теплоизоляция салона, а в субтропиках — нет.

Распространена классификация на десять показателей качества продукции.

1. Показатели назначения характеризуют полезный эффект от использования продукции по назначению и определяют область ее применения. Показатели назначения делятся на:

- классификационные показатели, характеризующие принадлежность продукции к определенной классификационной группе

- (например, мощность двигателя, быстродействие процессора компьютера, точность (погрешность) измерительного прибора);
- показатели функциональные и эффективности использования, характеризующие полезный эффект от эксплуатации или потребления продукции и прогрессивность закладываемых в продукцию решений (например, производительность машины, грузоподъемность транспортного средства, яркость осветительного прибора);
 - конструктивные показатели, характеризующие основные проектно-конструкторские решения, удобство монтажа, установки продукции, возможность ее агрегатирования и взаимозаменяемости (например, габаритные и присоединительные размеры, коэффициент сборности);
 - показатели структуры и состава, характеризующие содержание в продукции химических элементов или структурных групп (например, процентное содержание одного вещества в другом, концентрация примесей в растворах).

2. Показатели надежности — безотказность, долговечность, сохраняемость и ремонтпригодность. В зависимости от особенностей продукции могут использоваться как все, так и часть из названных показателей.

3. Показатели технологичности характеризуют эффективность конструкторско-технологических решений для обеспечения высокой производительности труда при изготовлении и ремонте продукции. Высокими показателями технологичности достигаются массовость выпуска продукции, рациональное распределение затрат материалов, средств, трудовых ресурсов и времени при подготовке производства, изготовлении и эксплуатации продукции.

4. Показатели стандартизации и унификации — это насыщенность продукции стандартными, унифицированными и оригинальными составными частями. Чем меньше доля оригинальных элементов, тем выше эти показатели.

5. Показатели эргономичности характеризуются комплексом гигиенических, антропометрических, физиологических, психологических показателей человека, проявляющихся при пользовании изделием, и характеризуют приспособляемость к использованию человеком в производстве и бытовых условиях, протекающих в системе «человек — объект — среда».

6. Показатели эстетичности характеризуют информационную выразительность, рациональность формы, целостность композиции, дизайн, совершенство исполнения и стабильность товарного вида изделия.

7. Показатели транспортабельности показывают приспособленность продукции к транспортировке.

8. Показатели патентно-правовые характеризуют патентную чистоту продукции и защищенность авторскими свидетельствами решений. Показатель патентной защиты характеризует количество и весомость новых изобретений, реализованных в данном объекте, и являются существенным фактором при определении конкурентоспособности.

9. Показатели экологичности характеризуют свойства объекта, определяющие вредное воздействие на окружающую среду, возникающее при производстве, эксплуатации, а также при его хранении и утилизации.

10. Показатели безопасности характеризуют безопасность покупателя и обслуживающего персонала при монтаже, обслуживании, ремонте, хранении, транспортировке, потреблении продукции.

Под качеством услуги понимают совокупность характеристик, определяющих ее способность удовлетворять установленные или предполагаемые потребности потребителя, такие как:

1) качество обслуживания — совокупность характеристик процесса и условий обслуживания, обеспечивающих удовлетворение установленных или предполагаемых потребностей потребителя;

2) свойство услуги — объективная особенность услуги, которая проявляется при ее оказании;

3) показатель качества услуги — количественная характеристика одного или нескольких свойств услуги, составляющих ее качество;

4) уровень качества услуги — относительная характеристика качества услуги, основанная на сравнении фактических значений показателей ее качества с нормативными значениями этих показателей;

5) система качества услуг — совокупность организационной структуры, ответственности, процедур, процессов и ресурсов, обеспечивающая осуществление общего руководства качеством услуг;

6) управление качеством услуг — методы и виды деятельности оперативного характера, используемые для выполнения требований к качеству услуг.

4.4. Контроль, планирование и управление качеством

Основные направления в исследовании качества продукции и услуг на различных этапах их жизненного цикла: контроль, планирование и управление. Каждое направление имеет свои особенности и представляет собой подсистему системы качества.

Система качества — совокупность организационной структуры, методик, процессов и ресурсов, необходимых для осуществления общего руководства качеством.

Как уже сказано во введении в международном стандарте ИСО 9000:2015 «Системы менеджмента качества. Основные положения

и словарь» (в РФ действует идентичный аналог) даются следующие определения.

Менеджмент качества (*quality management*) — скоординированная деятельность по руководству и управлению организацией применительно к качеству включает все функции общего руководства по разработке политики в области качества, установления целей, полномочий и ответственности, а также процессы планирования, контроля и обеспечения качества, с помощью которых в рамках системы качества происходит реализация указанных функций.

Управление качеством (*quality control*) — составная часть менеджмента качества, направленная на выполнение требований к качеству. Управление качеством представляет собой методы и виды деятельности оперативного характера, используемые для удовлетворения требований к качеству и ориентированные на устранение недостатков на всех стадиях «петли качества».

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

В редакции ГОСТ Р ИСО 9000-2015 дается развернутая трактовка Системы менеджмента качества: «Система менеджмента качества включает действия, с помощью которых организация устанавливает свои цели и определяет процессы и ресурсы, требуемые для достижения желаемых результатов. Система менеджмента качества управляет взаимодействующими процессами и ресурсами, требуемыми для обеспечения ценности и реализации результатов для соответствующих заинтересованных сторон. Система менеджмента качества позволяет высшему руководству оптимизировать использование ресурсов, учитывая долгосрочные и краткосрочные последствия их решений. Система менеджмента качества предоставляет средства управления для идентификации действий в отношении преднамеренных или непреднамеренных последствий в представлении продукции и услуг».

Анализ мирового опыта в области менеджмента качества позволяет выделить четыре поколения СМК [68]. Первое поколение представляет собой классическую модель управления качеством, описанную Ф. Тейлором. Контроль — инструмент обеспечения качества. При этом риск несоответствий очень велик, более 0,05. СМК второго поколения основаны на процессном подходе, изложенном в стандартах ИСО серии 9000, с применением инструментов управления качеством. Риск несоответствий снижается по до значений 0,001–0,02.

Третье поколение СМК основывается на специфических требованиях потребителей. Применяются инструменты управления качеством, именуемые новейшими: *QFD* (структурирование функции качества), *FMEA* (анализ видов и последствий отказов), *SPC* (стати-

стическое управление процессами) и др. Также внимание уделяется вопросам обеспечения качества поставок. Риск несоответствий в таких моделях порядка 0,0001–0,001. Четвертое поколение предполагает реализацию интегрированной модели СМ. Риск несоответствий менее 0,0001.

При переходе к более высокому поколению СМК организации необходимо преодолеть барьеры, связанные с таким явлением, как оппортунизм, под которым понимается «поведение работников любых категорий, преследующих личные и/или групповые цели, не совпадающие с целями или даже противоречащие целям организации» [68]. Общими причинами оппортунизма являются: отсутствие механизмов регулирования отношений топ-менеджмента и работников, которые бы устанавливали баланс ответственности и полномочий между ними; отсутствие у сотрудников желания брать на себя ответственность за осуществляемые действия; недостаток доверия. Успешные преобразования невозможны, если оппортунизм не выявлен и не приняты специальные меры по его снижению.

В первом поколении СМК оппортунизм проявляется в не полном выполнении требований конструкторской и технологической документации, например, рабочий и контролер могут договориться, что в случае несоответствий контролер все равно примет изделие. Во втором поколении СМК у работника есть мотив скрывать «плохую» информацию из-за боязни наказания за брак.

В третьем поколении СМК нерешенные вопросы административного регулирования в части несоответствий, достоверности информации приводят к фиктивному созданию СМК, оппортунизму в части трактовки результатов аудитов и сертификации на соответствие требованиям к СМК тех или иных стандартов. Для последнего поколения СМК характерны «конфликты систем (интриги)», заключающиеся в борьбе различных систем между собой, преследовании собственных интересов.

Фундаментальными целями системы менеджмента, как и любой системы на предприятии, называются цели, направленные на повышение конкурентоспособности на рынке.

Контроль качества — процедура оценивания соответствия путем наблюдения и суждений, сопровождаемых соответствующими измерениями, испытаниями или калибровкой.

В стандарте ИСО 9000 в версиях с 2000 г. появились термины «верификация» (англ. *verification* — проверка, подтверждение, засвидетельствование) и «валидация» (англ. *validation* — утверждение, придание законной силы). Однокоренные слова «инвалид» (нездоровый), «валидол» (масло здоровья).

Согласно базе данных понятий ИСО, существует восемь международных стандартов, в которых приведены различные варианты терми-

на «верификация» и 82 стандарта, определяющие термин «валидация» [68]. В редакции ИСО 2015 г. они трактуются следующим образом.

«Верификация — подтверждение, посредством представления объективных свидетельств, того, что установленные требования были выполнены» (п. 3.8.12).

«Валидация — подтверждение, посредством представления объективных свидетельств, того, что требования, предназначенные для конкретного использования или применения, выполнены» (п. 3.8.13).

Термины *Verified* («верифицировано») и *Validated* («валидировано») используются для обозначения соответствующего статуса. Верификация и валидация являются частями плана контроля качества. Оба термина относятся к процессу проверки соответствия: верификация — внутренней проверки, а валидация — внешней, она более ориентирована на рыночные отношения. Верификация является инструментом валидации, ее частью. Можно сказать, что верификацию продукции осуществляет производитель, а валидацию — потребитель. Такой подход согласуется с нормами, действовавшими в СССР, а теперь в РФ.

Приемочные испытания — контрольные испытания опытных образцов, опытных партий продукции или изделий единичного производства, проводимые соответственно с целью решения вопроса о целесообразности постановки этой продукции на производство и (или) использования по назначению.

Приемо-сдаточные испытания — контрольные испытания продукции при приемочном контроле. Фактически приемочные испытания — это валидация продукции, а приемо-сдаточные испытания — ее верификация.

В предисловии ко второму изданию мы обсудили соотношение терминов «менеджмент» и «управление». В буквальном переводе с английского слово «менеджмент» означает «управление», но в русском языке термин *управление*, без уточняющих определений, носит обезличенный характер чему в английском языке соответствует *администрирование*. В английском языке, говоря о менеджменте, подразумевают и фигуру менеджера. В русском языке в таких случаях употребляют термин *руководство*, которое также подразумевает фигуру руководителя. Но и менеджмент (руководство), и управление представляют собой управленческую деятельность и поэтому на практике, в зависимости от контекста, термины управление, менеджмент и руководство используются как равнозначные.

Объектом управления качеством служит процесс создания продукции, в ходе которого под воздействием субъектов управления формируется ее качество.

Объектом менеджмента качества (общего руководства качеством) служит не только процесс создания продукции, но и вся остальная деятельность предприятия в области качества.

Субъектами управления качеством выступают руководители всех уровней управления, *субъектом менеджмента качества* служит высшее руководство предприятия, осуществляющее общее руководство качеством.

Система управления качеством продукции — комплекс постоянно действующих организационных, технических, экономических и социальных мероприятий, методов и средств, направленных на установление, обеспечение и поддержание необходимого уровня качества продукции, соответствующего высшему качеству, при ее разработке, производстве, хранении, транспортировке, эксплуатации или потреблении.

Управление качеством подразумевает методы и виды деятельности оперативного характера, включающие контроль и *планирование качества* — часть менеджмента качества, направленная на установление целей в области качества и определяющая необходимые операционные процессы жизненного цикла продукции и соответствующие ресурсы для их достижения.

Основное назначение управления качеством — выявлять отклонения от установленных требований, принимать решения по дальнейшему использованию продукции, имеющей отклонения, не допускать появления повторных отклонений или дефектов за счет своевременной разработки корректирующих мер. Непрерывный процесс управления качеством продукции в масштабе всего предприятия, который должен охватить все этапы жизненного цикла продукции может быть изображен в виде петли качества.

Петля качества — концептуальная модель взаимозависимых видов деятельности, влияющих на качество на различных стадиях — от определения потребностей до оценки их удовлетворения (ИСО 8402).

Можно сказать, спираль качества — это пространственная модель, представляющая процесс управления качеством как повторяющиеся циклы петли качества с повышением качества продукции после каждого успешного цикла управления. В сущности цикл Шухарта–Деминга представляет собой часть петли качества, включающей процесс создания продукции. На рис. 11 показана петля качества, описанная американским экономистом Майклом Портером (англ. *Michael Porter*; р. 1947). Управление качеством имеет административную и оперативную составляющие, которые принято называть соответственно вертикальной и горизонтальной петлями управления.

Вертикальная петля предполагает взаимодействие с внешней средой, политику и планирование качества, организацию работы по качеству, обучение и мотивацию персонала, принятие стратегических решений. Эти функции относятся к полномочиям высших руководителей предприятия.

Горизонтальную петлю управления составляют контроль качества, информацию, разработку мероприятий, принятие оперативных решений и их реализацию. Эти функции играют роль оперативного управления качеством.



Рис. 11. Петля качества по М. Портеру

В совокупности эти две петли управления образуют концептуальную модель управления качеством продукции. Если в процессе управления по результатам контроля качества и анализа полученной информации будут подготовлены и внедрены в производство все мероприятия, необходимые для повышения качества продукции, следующий цикл управления повторится уже на более высоком уровне. В результате цикл управления качеством — петля качества — превратится в так называемую спираль качества с повышением качества продукции после каждого успешного цикла управления.

Всеобщее управление на основе качества (Total Quality Management) — подход к руководству организацией, нацеленный на качество, основанный на участии всех ее членов и направленный на достижение долгосрочного успеха путем удовлетворения требований потребителя и выгоды для членов организации и общества.

Процесс — способ действий на любой конкретной стадии производства продукции или при обслуживании.

Вопросы для самопроверки

1. Что такое качество с философской точки зрения?
2. Особенности трактовки понятия «качество», данного Шухартом, Демингом, Фейгенбаумом, Тагути.
3. В чем отличие в трактовке терминов «качество» и «качество продукции»?
4. Дайте характеристику единичного и комплексного, интегрального и определяющего показателей качества.
5. Дайте определение контроля качества, планирования качества и управления качеством.
6. Методика оценки уровня качества по В.А. Трапезникову.
7. «Валидация» и «верификация»: общее и различие.
8. Дайте определение петли качества и системы качества.
9. Перечислите основные показатели качества продукции и услуги.
10. Приведите примеры двух однотипных изделий, одно из которых более качественно, а другое — более надежно.
11. Что такое «вертикальная» и «горизонтальная» петли управления качеством?

5. ПРИНЦИПЫ ВСЕОБЩЕГО УПРАВЛЕНИЯ НА ОСНОВЕ КАЧЕСТВА

Восемь принципов, которые меняют мир.

Ю. П. Адлер

Когда речь заходит об управлении качеством, обычно упоминают две системы: Всеобщее управление на основе качества *TQM* и стандарты ИСО серии 9000. Если в большинстве развитых стран внедрение стандартов ИСО серии 9000 — первый шаг к *TQM*, то в России — последний. По мнению отечественных специалистов прежде, чем внедрять стандарты нужно определить цели реформы предприятия. В основу международных стандартов ИСО серии 9000 положены восемь ключевых принципов всеобщего управления качеством, которые в редакции ИСО 9001:2015 трансформированы в семь.

5.1. Принцип первый — ориентация на потребителя

В условиях конкурентного рынка фирмы зависят от своих потребителей и поэтому должны понимать их потребности, выполнять их требования и стремиться превзойти их ожидания. Иными словами, ориентация на потребителя означает соответствие целей поставщика нуждам потребителя.

Необходимо выполнение нескольких условий.

1. Сформировать у потребителя чувство доверия к поставщику путем оперативного ответа на его запрос, предоставлением сертификатов на систему качества и на продукцию, предоставлением отзывов известных фирм и т. д.

2. Если потребитель желает продолжить сотрудничество, то следует рассмотреть его проблемы, возможно, составить программу совместной работы.

3. Необходим сбалансированный подход к запросам потребителя и возможности поставщика, который предлагает то, что может сделать с наименьшими издержками.

4. Необходимо периодически проводить оценку удовлетворенности потребителя и предпринимать при необходимости корректирующие действия. Заметим, что на вопрос, довольны ли потребители вашей продукцией, чаще получите положительный ответ. Объективной мерой удовлетворенности являются: число постоянных и новых заказчиков.

На протяжении веков на рынке главным лицом был продавец, всегда знающий, что нужно покупателю. Времена изменились. Теперь основная ставка предприятия делается на маркетинговые исследования и анализ рынка. А как добиться приверженности клиентов? Во-первых, надо не ограничиваться удовлетворением формальных требований клиента, зафиксированных в договоре. А пытаться предугадать его невысказанные желания. Во-вторых, нужен индивидуальный подход к клиенту.

Следствие ориентации на потребителя — глобализация рынков, резко усиливавшая конкуренцию, что ведет к агломерации (слиянию) предприятий и организаций.

5.2. Принцип второй – лидерство руководителя

Руководитель должен создать и поддерживать условия, необходимые для успешной реализации всех принципов *TQM*, при которых работники вовлечены в решение задач организации [1, 2]. Руководство должно участвовать в процессе повышения качества — начиная от начальных этапов создания бизнеса и формирования стратегических целей до конкретных решений. В любой организации отношения среди сотрудников с формальной точки зрения — должностные, с неформальной — личностные.

Роль лидеров особенно велика в переломные периоды развития, когда нужно быстро принимать решения. С представлением о лидерстве тесно связана концепция ответственности, подкрепленной полномочиями. Необходимо соблюдать баланс между взятой на себя человеком добровольно ответственностью и полномочиями, которыми его наделяет власть. Регулирование этого баланса становится одной из центральных задач менеджмента.

По словам Р. Румельта: «Любые изменения стратегии ухудшают положение некоторых категорий сотрудников, а порой ведут к полному разрушению структуры организации. Таким образом, практически при любой новой стратегии следует ожидать формирования в компании мощных сил, которые будут ей противодействовать!» [Румельт Р. Хорошая стратегия, плохая стратегия. В чем отличие и почему это важно. М.: МИФ, 2014. 448 с.]. Руководители играют решающую роль в иницировании и осуществлении изменений. Когда речь идет о создании системы менеджмента качества на пред-

приятно важно, чтобы руководитель лично возглавил движение за качество.

Концепция *TQM* против авторитарного стиля управления, в центре которого находится руководитель. Сравнение стилей управления: авторитарное управление устанавливает виновника возникшей проблемы — *TQM* ищет решение; авторитарное управление идет проверенным путем, — *TQM* делает акцент на нововведения творческий подход; авторитарное управление опирается на контроль над людьми, — *TQM* наделяет людей полномочиями. Можно предположить, что появится концепция *TQL* (*Total Quality Leadership*): Всеобщее лидерство на основе качества. Очевидно, что лидерство — важнейший элемент инновационного процесса, это ключ, который открывает путь к успеху в бизнесе.

Основная, задача лидера — мечтать и воплощать мечты в такие дела, что способны вселить энтузиазм в равнодушных, пассивных, безразличных, а то и враждебных людей. Он должен помнить, что в бизнесе главная цель лидера — максимальное удовлетворение клиента. «Хороший руководитель — это тот руководитель, который сможет поднять предприятие до своего уровня», «Отличный руководитель — это тот руководитель, который сможет поднять организацию выше своего уровня» [*Идрисов А. А. Отличный руководитель, или случай на лекции // Методы менеджмента качества. 2017. № 8. С. 58*]. В этой связи вспоминаются строки из стихотворения Евгения Винокурова:

Учитель, воспитай ученика,
Чтоб было у кого потом учиться.

Переход руководителя от роли администратора к роли лидера заложен в новой версии стандарта ИСО 9001:2015, в котором раздел «ответственность руководства» трансформируется в «лидерство» и содержится положение о том, что «Высшее руководство должно демонстрировать свое лидерство и приверженность в отношении системы менеджмента качества...». В условиях постоянной вариабельности окружения гораздо проще изменяться лидерам, которые более восприимчивы к новым условиям и стремятся постоянно развиваться и совершенствоваться, а также способны вдохновлять коллег личным примером.

5.3. Принцип третий – вовлечение (взаимодействие) персонала

Этот принцип не может быть реализован без лидирующей роли руководства, которое должно стремиться к тому, чтобы цели отдельных сотрудников были максимально приближены к задачам организации. Необходимо создать условия для того, чтобы раскрыть и использовать

творческий потенциал сотрудника, превратить наемного работника, интересы которого лежат вне организации в сотрудника, болеющего за ее судьбу. В основе мотивации лежит принцип предоставления работникам возможностей для реализации личных целей за счет добросовестного отношения к труду. Остановимся на теории мотивации персонала, известной под названием «теории X, Y, Z». Теории X и Y предложены американским социологом Дугласом Макгрегором (*Douglas McGregor*, 1906–1964) в работе «*The human side of enterprise*» («Человеческая сторона предприятия», 1960), в которой утверждается, что существует два вида руководства персоналом.

Теория X предполагает, что человек инертен и не любит трудиться, ему не свойственны амбиции, он старается избежать ответственности, им движет материальная мотивация и личная выгода, он сам предпочитает, чтобы им руководили. Этому отвечает классическая административная теория управления, при которой руководитель вынужден прибегать к жестким (тотальный контроль и система наказаний) и мягким (убеждение и поощрение) формам принуждения. При этом упускают из вида причину нежелания трудиться: дело в том, что человеку мало достойного вознаграждения за труд, ему необходима возможность самореализации, а любая форма принуждения этому препятствует.

Теория Y гласит, что для человека расходовать моральные и физические силы на работу так же естественно, как отдыхать. Это означает, что его можно стимулировать на труд, если дать возможность полностью раскрыться, брать на себя ответственность, ощущать свою значимость. Управление компанией основано на демократическом стиле и децентрализации, широком делегировании полномочий, вовлечение работников в подготовку и принятие решений. Применение положений теории Y направлено на максимальное проявление инициативы, раскрытие творческого потенциала сотрудника.

Макгрегор утверждал, что в одних ситуациях (например, массовое производство) годится только теория X, а в других — только теория Y. До своей кончины в 1964 г. он работал над теорией Z, в которой пытался соединить запросы и стремления корпорации и отдельного человека. Идеи Макгрегора получили развитие в работах американского ученого японского происхождения Уильяма Оучи (*William Ouchi*, р. 1943), который в книге «*Theory Z: How American business can meet the Japanese challenge*» («Теория Z: Как американский бизнес может встретить японский вызов», 1981), сформулировал теорию Z.

В теории Z Оучи, интегрируются положения теорий X и Y: мотивация работников должна исходить из ценностей производственного клана, групповое принятие решений, ответственность за результаты труда, пожизненная занятость работников и забота компании о них,

в том числе об их социальной жизни, медленное карьерное продвижение, отличная передача информации, компетентный уровень управления, преданность компании и активная забота о достижении высокого качества.

В середине XX в. в США получило развитие и широкое распространение направление, названное партисипативностью, которое дает работникам возможность разделить ответственность, риски и успех организации. Оно предполагает, что члены команды обладают информацией, позволяющей принимать решения; независимостью, чтобы иметь возможность воплощать их на производстве; организационной структурой, поддерживающей такой стиль поведения. К концу 1970-х — началу 1980-х гг. в США обратили внимание на развитие в Японии кружков качества, были образованы «Команды качества». В то время как кружки качества делают акцент на генерировании идей, команды качества выносят основанные на анализе данных решения об улучшении качества товаров и услуг.

Резюмируя, отметим следующие требования к выполнению третьего принципа *TQM*:

- принятия инициативы и ответственности в решении проблем;
- активного поиска возможностей улучшения;
- поиска возможностей повышения своих знаний, опыта и передачи своего опыта и знаний членам команды.

5.4. Принцип четвертый – процессный подход

Желаемый результат достигается легче, когда деятельностью и соответствующими ресурсами управляют как процессом. Процесс (лат. *processus* — продвижение) — совокупность взаимосвязанных и (или) взаимодействующих видов деятельности, использующих входы для получения намеченного результата. (ГОСТ Р ИСО 9001-2015). Такое понимание процесса близко к представлению об алгоритме — языке находящихся все большее распространение информационных технологий. В зависимости от контекста «намеченный результат» называется выходом, продукцией или услугой. Часто выход одного процесса образует непосредственно вход следующего.

Процессный подход подразумевает взаимодействие горизонтально ориентированных и связанных между собой процессов по всей их цепочке — от выявления требований потребителей к их удовлетворению. Он способствует преодолению границ между подразделениями, оптимизируя тем самым взаимодействия между различными функциями организации. Несколько взаимосвязанных и взаимодействующих процессов могут также рассматриваться как процесс: «Последовательные и прогнозируемые результаты достигаются более эффективно и результативно, когда деятельность осознается и управляется как взаи-

мосвязанные процессы, которые функционируют как согласованная система» (п. 2.3.4.1).

По существу, именно в этом и заключается сущность СМК, которая интегрирует процессы и средства управления для реализации целей организации. В связи с этим необходимо сделать следующие пояснения. Под входами понимаются те ресурсы (оборудование, сырье, материалы, комплектующие, информация и т. д.), которые организация использует в производственном процессе. Выходы могут быть как желательными, так и нежелательными. Желательные представляют собой продукцию и услуги, соответствующие требованиям заказчиков и потребителей, а нежелательные выходы — это брак, отходы, вредные выбросы и т. п.

До появления массового производства по системе Тейлора работа в основном носила цеховой характер. Изделие обрабатывалось в одном месте, причем пока не был выполнен текущий технологический переход, следующий не начинался. Фактически имел место процессный подход, обеспечивающий надлежащее качество продукции, но имевший низкую производительность труда. Система Тейлора предполагает расчленение всего технологического процесса на отдельные операции (принцип дифференциального производства), которые могут выполняться одновременно в разных местах. При этом значительно возрастает производительность труда, но процессный подход пропадает. В современную эпоху возникла необходимость возврата к процессному подходу при сохранении высокой производительности.

Множество бизнес-процессов, проводимых на предприятии, делят на внутренние и внешние. Примером внутреннего процесса может служить разработка и внедрение на предприятии системы качества. Внешние порождаются клиентами. Каждый элемент бизнес-процесса имеет своих поставщиков и потребителей, свои входы и выходы, что часто обозначается японским словом «дзидока» (автономизация). Обычно на практике применяются следующие виды бизнес-процессов: основной — выполнение функций предприятия по производству продукции или оказанию услуг; обслуживающий — обеспечение производственной и управленческой деятельности предприятия.

Процессный подход хорошо отражается в цикле *PDCA*, применение которого позволяет организации обеспечить процессы необходимыми ресурсами, осуществлять их управление, определять и реализовывать возможности для улучшения. Цикл *PDCA* представляет собой эффективную основу для действий по совершенствованию деятельности и повышению качества. Но по мнению А. Езраховича необходим предварительный этап — до начала планирования следует проанализировать текущее состояние организации, что даст возможность определить «точку отсчета», от которой начнется движение вперед. При этом следует выявить процессы, которые являются для

организации излишними. В первую очередь нужно обратить внимание на те процессы, которые можно оптимизировать без серьезных дополнительных вложений. Например, цифровизация процессов позволяет резко сократить бумажный документооборот. Многие важные нюансы процессного подхода рассмотрены в работах [49, 52–54].

Для эффективного внедрения процессного подхода очень важно правильно выбрать тип управления работниками: иерархический или органический. Первый тип примыкает к армейской структуре с жесткой вертикальной системой управления с постоянно закрепленными обязанностями каждого элемента системы. При втором типе больше горизонтальных связей управления, обязанности участников процесса могут часто меняться. Обе системы управления имеют свои плюсы и минусы, необходимо в каждом конкретном случае искать свой вариант, сочетающий элементы обоих типов, но процессный подход практически невозможен в организациях со строго вертикальной системой управления, когда сотрудники нацелены на выполнение указаний начальства. При этом требования потребителей, их мнения и ожидания перестают быть интересны персоналу организации.

Одно из требований ИСО 9001:2015 — определение критериев результативного выполнения и контроля процессов (п. 4.4.1). Согласно п. 3.7.11 этого стандарта результативность представляет собой «степень реализации запланированной деятельности и достижения запланированных результатов». И поскольку при планировании организация ориентируется на требования потребителей, то результативность характеризует степень соответствия результатов именно таким требованиям.

В первых редакциях стандарта ИСО 9001 был принцип — системный подход к менеджменту, в соответствии с которым производство товаров, услуг и управление рассматривается как совокупность взаимосвязанных процессов, а каждый процесс — как система, имеющая вход и выход, своих «поставщиков» и «потребителей».

Американский ученый в области исследования операций и теории систем Рассел Линкольн Акофф (1919–2009) так определяет причины отсутствия системного мышления у менеджеров: «На протяжении всего обучения от детского сада до университета за ошибки нам снижают оценки. Закончив обучение, мы поступаем на работу в организацию, которая ясно дает понять, что ошибки наказуемы. В Японии есть организации, в которой ежегодно присуждается приз за лучшую ошибку года, из которой они больше всего извлекли уроков... Нельзя научить-ся чему-либо, если делать все правильно». Среди «принципов успеха», сформулированных великим гуру бизнеса XX века Коносукэ Мацусита (1894–1989) приведем только два: «Каждая ошибка несет в себе зерно успеха, а каждый успех чреват опасностью неудачи», «Отчеты, в которых ни слова нет о проблемах, сами являются предвестниками

проблемы» [Мауссита К. Принципы успеха / пер. с англ. 6-е изд. М.: Альбина Паблишерз, 2013. 126 с.].

«...Чтобы учиться на ошибках, следует различать два типа ошибок: совершения и несовершеня.

Ошибка совершения происходит, когда организация или индивид делает что-то, чего не следовало делать.

Ошибка несовершеня происходит, когда организация или индивид не делает того, что следовало бы сделать.

Ошибки несовершеня обычно более существенны. Деградация и неудачи организаций почти всегда происходят из-за того, что они чего-то не сделали... системы учета в западном мире фиксируют только ошибки совершения... Поэтому... менеджеру достаточно стараться не сделать чего-нибудь такого, что не следует делать. Лучший способ осуществления этого — ничего не делать или делать как можно меньше. Это и есть основная причина, по которой организации не производят радикальных изменений. Главный рабочий принцип: обезопась себя от проблем!».

Что же предлагает Р. Л. Акофф:

«1. Регистрировать любое важное решение как о том, чтобы сделать что-то, *так и о том, чтобы чего-то не делать.*

2. Осуществлять мониторинг хода выполнения каждого решения, чтобы обнаруживать отклонение фактов от ожиданий и предположений. При обнаружении расхождения следует найти его причину и предпринять корректирующее действие.

3. Выбор корректирующего действия является решением, которое должно обрабатываться так же, как исходное решение и входить в реестр решений. Такое действие позволит учиться тому, как исправлять ошибки, т. е. как делать это быстрее и эффективнее».

Применение системного подхода требует:

- разработки системы процессов, обеспечивающих достижение заданных целей;
- проектирования такой системы, при которой цели достигаются наиболее эффективным путем;
- понимания взаимозависимости процессов в системе;
- постоянного улучшения системы через измерения и оценку.

5.5. Принцип пятый – постоянное улучшение

Как заметил в «Метафизике качества» американский писатель и психолог Роберт Персиг, «как только ты говоришь, что “вот эта вещь обладает качеством”, качество начинает исчезать». Постоянное улучшение начинается с человека, с совершенствования его личных качеств, знаний, навыков и умений. Следующий шаг — совершенствование работы команды прежде всего за счет систе-

матического обучения и создания доброжелательной атмосферы. Далее следует улучшение «среды обитания», рабочего места, рабочей зоны.

Некоторые модели, ориентированные на улучшение.

Цикл Шухарта–Деминга. Он позволяет бороться с тремя главными «врагами»: потерями, несоответствиями и нерациональными действиями (по-японски: *tuda, mura, muri*).

Модель качества Нориаки Кано. Она включает три вида характеристик, определяющих качество:

«должно быть» — характеристики, которые потребитель замечает, только когда они отсутствуют;

«больше — значит лучше» — характеристики, приводящие к повышению удовлетворенности потребителя, когда их предоставляется больше (объем оперативной памяти и быстродействие компьютера, минимальный расход топлива для автомобиля и т. п.);

«удивляющее качество» — характеристики, которые потребитель не ожидал, но, получив, восхищается ими.

Во многих случаях применение такой модели поможет компании правильно направить свои усилия и определить приоритеты в аспектах и методах менеджмента. Суть применения модели Кано — осознание компанией того, что для постоянного удовлетворения потребителя следует использовать разные подходы. В частности, следует сделать приоритетным методом менеджмента постоянное управление качеством, которое «должно быть», постоянное улучшение качества, которое «больше — значит лучше», и постоянные инновации для «удивляющего качества».

Реинжиниринг. По М. Хаммеру, «реинжиниринг — это фундаментальное переосмысление и радикальное перепроектирование деловых процессов для достижения резких, скачкообразных улучшений в решающих, современных показателях деятельности компании, таких, как стоимость, качество, сервис и темпы».

При реинжиниринге сложно опереться на систему, ибо наряду с процессами именно она может стать объектом изменений, и тогда система будет через своих менеджеров сопротивляться инновациям. Для реинжиниринга характерно то, что он обычно проводится не благодаря, а вопреки существующей системе. Лидерство руководителей — ключевой фактор успеха реинжиниринга.

«Шесть сигм». Снижение уровня дефектности обычно является следствием уменьшения вариабельности. Эта концепция рассматривается в разделе 10.

Улучшения продукции можно достигать постоянными инновациями в качество на основе тщательного изучения и прогнозирования будущих потребностей имеющихся и потенциальных клиентов.

5.6. Принцип шестой — принятие решений, основанных на фактах

Принятие решений является самым важным видом деятельности, выполняемой менеджерами всех типов. Менеджер должен быть готов принимать важные и порой очень трудные решения. Точность и эффективность решений повышаются, если для каждого показателя есть эталон — значение, к которому следует стремиться. Для поиска таких эталонов в начале 1980-х гг. был разработан подход, получивший название «бенчмаркинг». Для сбора, представления и первичной обработки данных в Японии были разработаны «семь простых инструментов статистического контроля качества». Существенное влияние на обсуждаемый седьмой принцип оказывают методы Тагути и концепция «Шесть сигм».

Реализация этого принципа призвана исключить необоснованные решения, которые обычно называют волевыми. Необходимо собирать и анализировать фактические данные и принимать решения на их основе. Шестой принцип связан с использованием статистических методов. В *TQM* предлагается цепочка взаимосвязанных процессов для принятия решения.

1. Используйте системный подход: выделите объект (проблему) и окружающую обстановку; выявляйте в проблеме элементы и взаимосвязи между ними. Анализируйте последствия возможных решений.
2. Думайте в категориях «причина — следствие».
3. Рассматривайте проблему с разных точек зрения, советуясь со специалистами и подвергая сомнению собственную точку зрения. Грамотно поставленная проблема — наполовину решенная проблема.
4. Проблема по определению — разрыв между действительным и желаемым состоянием. Проблема считается сформулированной, когда действительное состояние и цель заданы конкретно, желательное — в количественных показателях.
5. Выделяйте в проблеме главное.
6. Используйте статистическое мышление, проводите статистическую обработку результатов измерений. Различайте данные (результаты однократных измерений), факты (результаты статистической обработки данных) и информацию (те факты, которые отвечают на вопросы, поставленные проблемой).
7. По возможности рассматривайте проблему в категориях процессного подхода, при поиске решения ищите «узкое место» — фактор, ограничивающий производительность процесса.
8. Учитывайте особенности психологии мышления: каждый человек имеет собственную точку зрения. Человек склонен воспринимать текущие события как причины, хотя на самом деле они зачастую лишь следствия. Человеку свойственно переоценивать вероятность жела-

тельных, но малоправдоподобных событий, и недооценивать вероятность нежелательных.

9. Визуализируйте проблему, максимально используйте графические средства для ее описания и анализа.

10. Ищите модель, аналогию, прецеденты.

11. Для анализа проблем и генерации вариантов решения используйте метод мозгового штурма.

12. Сравнивайте различные варианты решения. Определите критерии оценки вариантов. Если критериев несколько, определите их «веса». Если подготовка к принятию решения идет на логическом уровне, то при принятии окончательного решения можно довериться и интуиции.

13. Отложите, если есть возможность, принятие решения по трудной проблеме.

14. Разбейте проблему на части, примите частичное решение, наблюдайте за развитием ситуации.

15. В экстренных случаях, не терпящих отлагательства, положительное решение принимайте лишь при полной уверенности в его правильности. Если сомневаетесь — решайте отрицательно.

16. Анализируйте последствия возможных решений. Помните, что наши сегодняшние проблемы — это результаты наших вчерашних решений.

5.7. Принцип седьмой – взаимовыгодные отношения с поставщиками (менеджмент взаимоотношений)

Организация и ее поставщики взаимозависимы, и отношения взаимной выгоды повышают способность обеих сторон создавать ценности. Когда предприятия производили не то, что нужно рынку, а то, что возможно в данных условиях низкое качество было заложено уже в выборе поставщиков. Защита покупателя от некачественного поставщика комплектующих — это, прежде всего забота покупателя, но возможно именно поэтому для государственных нужд одним из требований в странах ЕС является соответствие продукции и услуг требованиям стандарта ИСО 9001.

В философии *TQM* каждая компания составляет часть длинной цепи, состоящей из потребителей и поставщиков. Она становится потребителем для своих поставщиков и поставщиком для своих потребителей. Невозможно заставить поставщиков *делать качественные поставки*, надо сделать так, чтобы им было выгодно делать их. Определены четыре главных условия реализации восьмого принципа всеобщего управления качеством [Нефедов Ю. В. Условия реализации взаимовыгодных отношений с поставщиками // Методы менеджмента качества. 2008. № 9. С. 44–47].

1. Идеологическая совместимость, означающая, что у заказчика и поставщика есть нефинансовые причины работать вместе. Чтобы

выяснить идеологическую совместимость, необходима дискуссия на тему «Как мы привыкли работать?» — и принципиальное сходство ответов. Например, оба предприятия стремятся развивать Систему менеджмента качества (СМК).

2. Паритет объемов, т.е. объемы поставок значимы для обеих сторон: и для поставщика, и для клиента.

3. Совместная деятельность. Это условие — продолжение нефинансовых причин работать вместе. Отношения должны быть интересными, но не только результатом, но и самим процессом. Совместное проведение Дней качества.

4. Взаимный «тонус». «Взаимовыгодные» и «хорошие» отношения — разные понятия. Хорошие отношения предполагают, что стороны постоянно прощают друг другу ошибки и не обязывают учиться. Цель взаимовыгодных отношений заказчика и поставщика — помочь друг другу совершенствоваться. С одной стороны, это обязывает стороны поднимать статус и репутацию друг друга; с другой — заказчик и поставщик должны каждый раз заслужить друг у друга право заключить очередной договор, в котором четко прописывают штрафные санкции. Трактовка *TQM* воспринимает поставщиков и их потребителей не как противоположные стороны, а как партнеров. Необходимо строить отношения с поставщиками так же, как хотите, чтобы строили их с вами.

Основные типы взаимоотношений поставщика и заказчика компонентов наукоемкой продукции и критерии оценки качества поставщиков, а также формулы, позволяющие проводить оценку качества поставщиков, приводятся в работе [44]. В настоящее время оптимальный выбор поставщика — это серьезная научная проблема, которая еще ждет своего окончательного решения. До настоящего времени нет четкого разделения критериев качества поставщиков на группы, в связи с чем, возникают сложности с их объективной оценкой.

Принцип Фейгенбаума, предложенный для контроля применительно к проблеме выбора поставщика в наукоемких технологиях можно сформулировать так: отношения поставщик — потребитель проходят три стадии. На первой потребитель проверяет всю партию, поступившую от поставщика; на второй осуществляет лишь выборочную проверку, а на последней принимает всю продукцию, не проверяя ее качество. Лишь при достижении этой третьей стадии можно говорить об установлении стабильных отношений между поставщиком и потребителем.

Напрашивается рекомендация: в случае, когда стоимость поставляемой продукции поставщика ниже средней, следует проводить дополнительный анализ его продукции.

В редакции ИСО 9000: 2015 восемь принципов формулируются, как семь: ориентация на потребителя, лидерство руководства, вовлечение людей, процессный подход, улучшение, принятие решение на основе фактов, менеджмент взаимоотношений (см. рис. 11.1). Кроме этих

основополагающих принципов, исходя из стратегических задач организации, могут быть сформулированы и другие принципы, и, в первую очередь, «Бережливое производство».



Рис. 11.1. Принципы Всеобщего управления на основе качества

Завершая изложение основополагающих принципов TQM, подчеркнем, что реализация концепции Всеобщего управления на основе качества требует использования средств не только собственно управления качеством, но и управления процессами, персоналом и ресурсами. Для достижения устойчивого успеха организации следует применять все принципы менеджмента качества, описанные в ИСО 9000:2015. Основой для стратегии организации эти принципы могут стать только при их совместном применении.

Можно заметить, что модель использует те же принципы, что и стандарты ИСО серии 9000, но кроме того требует от организации осознания своей социальной ответственности перед обществом. Эта модель обладает достаточной гибкостью и может применяться как в крупных, так и малых предприятиях, как частных, так и государственных [34].

Вопросы для самопроверки

1. Перечислите принципы Всеобщего управления на основе качества.
2. Охарактеризуйте принцип «ориентация на потребителя». Какие приемы привлечения новых потребителей вы предложите.
3. В чем разница между руководителем и лидером?
4. Охарактеризуйте теории мотивации персонала X, Y, Z.
5. Что означает принцип «процессный подход»? Какие трудности возникают при использовании его в отечественном производстве?
6. В чем суть системного подхода к менеджменту?
7. Что означает принцип «постоянное улучшение»? Какие модели, ориентированные на улучшение, вы знаете?
8. Определите условия реализации принципа «взаимовыгодные отношения с поставщиками».

6. СТАНДАРТИЗАЦИЯ В УПРАВЛЕНИИ КАЧЕСТВОМ

В своем настоящем смысле стандартизация есть сочетание наилучших качеств изделия с наилучшими способами производства для того, чтобы потребителю мог быть предложен наилучший продукт в достаточном количестве и по наиболее сходной цене.

Г. Форд

Стандартизация является важным элементом государственного механизма управления техническим уровнем и качеством продукции. Стандарты и другие нормативные документы включают последние достижения науки и техники, объединяя фундаментальные и прикладные дисциплины, способствуют скорейшему внедрению научных достижений в практику, определению перспективных направлений в экономике страны в целом и в отдельных отраслях. Трудно сейчас назвать область человеческой деятельности, где бы мы ни встретились со стандартизацией, причем с расширением и углублением познания, развитием науки и техники расширяется сфера применения стандартизации.

Учитывая важность стандартизации во всех странах приняты соответствующие нормативные акты. Среди международных стандартов широко известные документы на системы менеджмента в области качества (ИСО 9001), экологии (ИСО 14001), охраны труда (ИСО 45001), информационной безопасности (ИСО/ИЕС 27001), которые предназначены для применения любыми организациями независимо от численности, организационной структуры и специфики деятельности.

«Качество товара представляет собой абсолютный, признаваемый всеми признак бескомпромиссного соответствия стандартам» — заметил Шухарт. Методологической базой стандартов ИСО серии 9000 стал подход *TQM*. Внедрение системы *TQM* позволяет повысить качество продукции и услуг, соответствующий механизм обеспечения качества, разработанный на основе принципов *TQM*, получивший на-

звание системы менеджмента качества (СМК), основные требования к которой регламентированы в стандартах ИСО серии 9000. В ряде отраслей сертификаты ИСО 9001 требование закона.

Например, без такого сертификата сегодня производитель автомобилей не имеет права продавать свою продукцию в Европе. Сертификация это также инструмент усовершенствования. Компании, решившиеся на получение сертификата ИСО 9001, рассматривают регулярные визиты аудиторов как своеобразный стимул для поддержания и развития СМК.

Основное отличие *TQM* от стандартов ИСО серии 9000 в том, что *TQM* ориентирована на повышение качества изделий, когда уже имеется некий достигнутый уровень, а внедрение стандартов ИСО серии 9000 направлено на снижение вероятности сделать что-либо неверно.

Прежде, чем разбирать стандарты, имеющие непосредственное отношение к управлению качеством, остановимся на истории стандартизации.

6.1. Краткая история развития стандартизации

Стандартизацией человек занимается с древнейших времен. В строительстве города Чатал-Гуюк, расположенном на территории современной Турции, в 6500–5700 гг. до н. э. были использованы кирпичи стандартных размеров (8 × 16 × 32 см). В египетских гробницах, построенных за 5–6 тысяч лет до н. э., найдены эталоны длины, например, «царский локоть» (приблизительно 52,6 см).

В XVIII в. до н. э. царь Хаммурапи издал закон, в котором были установлены и стандартизованы веса и меры. Император Китая Цинь Шихуанди (259–210 до н. э.) для упрощения сбора налогов сделал гири — меры весов и монеты одинаковыми, унифицировал написание иероглифов и установил одинаковыми длины осей у телег, что обеспечило единую колею на дорогах. В Библии находим такие слова: «Да не преступишь ты закона с помощью неверного локтя, неверной гири, неверной меры. Верные весы, верные гири, верные сосуды, верные меры да будут с тобой».

Применение в Древнем мире единой системы мер, строительных деталей стандартного размера, водопроводных труб стандартного диаметра — примеры деятельности по стандартизации. В эпоху Возрождения в связи с необходимостью строительства большого количества судов в Венеции галеры начинают собирать из заранее изготовленных деталей и узлов. В период перехода к машинному производству появились новые формы стандартизации. Французский инженер Н. Леблан в 1785 г. спроектировал 50 оружейных замков, каждый из которых был пригоден для любого из одновременно изготовленных ружей без предварительной подгонки.

С середины XIX в. работы по стандартизации проводились на многих промышленных предприятиях, благодаря чему стала возможной рационализация процессов производства. Капиталисты быстро смекнули, что доходы возрастут при изготовлении однотипной продукции. В Англии стандартизация началась с установления в 1841 г. Дж. Витвортом (1803–1887) системы крепежных резьб, а в Германии — в 1850 г. единой ширины железнодорожной колеи. В 1870 г. в ряде стран Европы были приняты стандартные размеры кирпичей. В 1885 г. Американским обществом инженеров-механиков были опубликованы «Нормы испытания паровых котлов и паровых машин», которые регламентировали основные требования к испытаниям этих изделий.

Началом международной стандартизации можно считать принятие в 1875 г. представителями 19 государств Международной метрической конвенции и учреждение Международного бюро мер и весов. В 1906 г. была создана Международная электротехническая комиссия (МЭК) — организация по стандартизации качества электротехнических изделий.

Усиленная милитаризация многих стран в начале XX в. требовала производства большого количества оружия при соблюдении принципа взаимозаменяемости. Эту задачу можно было решить только с помощью стандартизации. Поэтому неудивительно, что во время Первой мировой войны и сразу после нее были основаны национальные организации по стандартизации в 23 странах, например в Германии (1917 г.), Франции и США (1918 г.). С тех пор стандартизация воспринимается как объективная экономическая необходимость.

В 1946 г. учреждена ИСО. Заметим, что *ISO* — это не сокращенное наименование Международной организации по стандартизации (*International Organization for Standardization*). Поскольку оно имело бы различные аббревиатуры в разных языках на учредительной конференции в Лондоне 14 октября 1946 г. было решено использовать производное слово от греческого *isos* — «равный». Поэтому кратким наименованием организации на всех языках является *ISO* (произношение ИСО). В 1956 г. образована Европейская организация качества (ЕОК). В 1970 г. тогдашний президент ИСО Фарук Сунтер (Турция) предложил 14 октября отмечать Всемирный день стандартов, чтобы подчеркнуть важность стандартизации для мировой экономики.

В России во времена правления Ивана IV были введены для измерения пушечных ядер стандартные калибры — кружала. Петр I, стремясь к расширению торговли с другими странами, организовал правительственные бракеражные комиссии в Санкт-Петербурге и Архангельске. Первым массовым производством в России было изготовление огнестрельного оружия. В 1761 г., почти за четверть века до Н. Леблана, русский военачальник граф П. А. Шувалов (1830–1908) разработал инструкцию для Тульского оружейного завода, в которой предписывалось «на каждую оружейную вещь порознь мастерам иметь меры или

лекала с заводским клеймом или печатью оружейной канцелярии, по которым каждый с пропорцией каждую вещь проверить мог». В конце XIX в. по инициативе Д. И. Менделеева в России были предприняты серьезные шаги по обеспечению единства мер и измерений.

В СССР 14 сентября 1918 г. был подписан декрет Совета Народных Комиссаров о переходе на международную систему мер и весов. В 1925 г. был образован Комитет по стандартизации при Совете Труда и Обороне и введена категория стандартов — ОСТ (общесоюзный стандарт). В следующем году этот Комитет разработал первые ОСТы на селекционные сорта пшеницы, чугун, прокат из черных металлов и некоторые товары народного потребления. В 1940 г. ЦК ВКП(б) и Совнарком СССР постановлением от 9 июля создал Всесоюзный комитет по стандартизации. Вместо ОСТов и различных отраслевых стандартов была введена категория — государственный общесоюзный стандарт (ГОСТ). Позднее этот комитет был преобразован в Комитет стандартов, мер и измерительных приборов при Совете Министров СССР.

С начала Великой Отечественной войны стандартизация была призвана способствовать выполнению военной промышленностью сложнейших задач в новых экстремальных условиях, основными целями стали: рациональное расходование ресурсов, использование менее дефицитных материалов и сырья, применению упрощенных средств и методов контроля, внедрению взаимозаменяемости. В июле 1941 г. появилась особая группа стандартов — стандарты военного времени, обозначаемые ГОСТ В.

Вехой в истории отечественной стандартизации стало Постановление ЦК КПСС и Совета Министров СССР № 937 «О повышении роли стандартов в улучшении качества продукции» (1970 г.). В 1963 г. был открыт Кабинет стандартизации, надежности и контроля качества при Политехническом музее. С 1969 г. под названием «Надежность и контроль качества» начало выходить ежемесячное приложение к журналу «Стандарты и качество». Был образован Всесоюзный научно-исследовательский институт стандартизации (ВНИИС). В 1968 г. был утвержден комплекс «Государственная система стандартизации» (ГСС) и введены четыре категории стандартов: государственный стандарт Союза ССР (ГОСТ), республиканский стандарт (РСТ), отраслевой стандарт (ОСТ), стандарт предприятия (СТП). В Постановлении Совета Министров СССР от 7 января 1985 г. «Об организации работы по стандартизации в СССР» главной задачей была названа разработка системы нормативно-технической документации, определяющей прогрессивные требования к продукции, правилам, обеспечивающим ее разработку, производство и применение, а также контроль за правильностью использования этой документации.

В постановлении Совета Министров СССР от 25 декабря 1990 г. «О совершенствовании организации работы и стандартизации» опре-

делены задачи в условиях перевода экономики страны на рыночные отношения. Правительства государств — участников СНГ подписали 13 марта 1992 г. Соглашение о проведении согласованной политики в области стандартизации, метрологии и сертификации [16]. В 1993 г. был принят Закон РФ «О стандартизации». Новейшая история стандартизации в России характеризуется развитием межгосударственной стандартизации, работами по гармонизации российских стандартов с международными в связи с вступлением в ВТО, разработкой государственных стандартов (которые стали именоваться «национальными») на продукцию и услуги, подлежащие обязательной сертификации, внедрением международных стандартов и создание отечественных, соответствующих этим стандартам.

6.2. Термины и нормативные документы по стандартизации

Стандартизация — это деятельность, направленная на разработку и установление требований, норм, правил, характеристик как обязательных для выполнения, так и рекомендуемых, обеспечивающая право потребителя на приобретение товаров надлежащего качества за приемлемую цену, а также право на безопасность и комфортность труда.

Нормативный документ — документ, устанавливающий правила, общие принципы или характеристики, касающиеся различных видов деятельности или их результатов. Термин охватывает такие понятия, как стандарты, правила, рекомендации, регламенты, общероссийские классификаторы.

Стандарт — нормативный документ по стандартизации, разработанный, как правило, на основе согласия, характеризующегося отсутствием возражений по существенным вопросам у большинства заинтересованных сторон, принятый (утвержденный) признанным органом. Стандарты основываются на обобщенных результатах науки, техники и практического опыта и направлены на достижение оптимальной пользы для общества (ГОСТ Р 1.0). В зависимости от сферы действия различают стандарты разного статуса или категории: международный стандарт, региональный стандарт, национальный стандарт Российской Федерации (ГОСТ Р), стандарт отрасли, стандарт предприятия.

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

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

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

Технический регламент — регламент, который устанавливает характеристики продукции (услуги) или связанные с ней процессы и методы производства.

К техническим регламентам относятся: законодательные акты, постановления Правительства Российской Федерации, национальные стандарты РФ и межгосударственные стандарты в части устанавливаемых в них обязательных требований и правила федеральных органов исполнительной власти, в компетенцию которых (в соответствии с законодательством РФ) входит установление обязательных требований.

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

6.3. Цели, принципы и функции стандартизации

Цель стандартизации — достижение оптимальной степени упорядочения в той или иной области посредством использования положений, требований, норм для решения различных, в том числе, планируемых задач. Результатами деятельности по стандартизации должны быть повышение степени соответствия продукта (услуги), процессов их функциональному назначению, устранение технических барьеров в международном товарообмене, содействие научно-техническому прогрессу и сотрудничеству в различных областях. Общей целью стандартизации является защита интересов потребителей и государства.

Цели стандартизации можно подразделить на общие и более узкие, касающиеся обеспечения соответствия. Общие цели для российской стандартизации связана с выполнением требований стандартов, которые являются обязательными. Конкретные цели стандартизации относятся к определенной области деятельности, виду продукции, предприятию и т. п. В перечне ЕЭК ООН обозначено 15 областей, для которых необходима стандартизация.

1. Атомная энергетика, радиационная безопасность и радиационная защита.

2. Строительное оборудование и элементы.

3. Электро- и электронное оборудование и детали.

4. Охрана окружающей среды.

5. Противопожарная защита и системы защиты от краж.

6. Машинное оборудование.

7. Здравоохранение.

8. Тракторы, машины для сельского и лесного хозяйства.

9. Транспортное оборудование.

10. Обработка информации.

11. Энергетика.

12. Материалы.

13. Прочие продукты и оборудование.

14. Метрология.

15. Обеспечение и оценка качества.

Объектом стандартизации называют продукцию, процесс или услугу, для которых разрабатывают те или иные требования, характеристики, параметры, правила и т. п. Стандартизация может касаться либо объекта в целом, либо его отдельных составляющих (характеристик). Область стандартизации — это совокупность взаимосвязанных объектов стандартизации. Например, машиностроение является областью стандартизации, а объекты стандартизации в машиностроении — технологические процессы, типы двигателей, безопасность и экологичность машин и т. д.

Стандартизация осуществляется на разных уровнях. Уровень стандартизации различается в зависимости от того, участники какого географического, экономического, политического региона мира принимают стандарт.

Принципы стандартизации. Стандартизация как наука и как вид деятельности базируется на определенных исходных положениях — принципах, которые отражают основные закономерности процесса разработки стандартов, обосновывают ее необходимость, определяют условия эффективной реализации и тенденции развития. Выделяют семь главных принципов стандартизации.

1. *Сбалансированность интересов сторон*, разрабатывающих, изготавливающих, предоставляющих и потребляющих продукцию (услугу). Участники работ по стандартизации, исходя из возможностей изготовителя продукции и исполнителя услуги, с одной стороны, и требований потребителя — с другой, должны найти консенсус, который понимается как общее согласие, т. е. отсутствие возражений по существенным вопросам у большинства заинтересованных сторон, стремление учесть мнение всех сторон и сблизить несовпадающие точки зрения. Консенсус не предполагает полного единодушия.

2. *Системность и комплексность стандартизации.* Системность — это рассмотрение каждого объекта как части более сложной системы. Комплексность предполагает совместимость всех элементов сложной системы.

3. *Динамичность и опережающее развитие стандарта.* Стандарты моделируют реально существующие закономерности в хозяйстве страны. Однако научно-технический прогресс вносит изменения в технику, процессы управления. Поэтому стандарты должны адаптироваться к происходящим переменам. Динамичность обеспечивается периодической проверкой стандартов, внесением в них изменений и возможной отменой. Опережающее развитие обеспечивается внесением в стандарт перспективных требований к номенклатуре продукции, показателям качества, методам контроля и пр. Опережающее развитие также обеспечивается путем учета на этапе разработки

нормативного документа прогрессивных национальных стандартов других стран.

4. *Эффективность стандартизации.* Применение нормативного документа должно давать экономический или социальный эффект. Непосредственный экономический эффект дают стандарты, ведущие к экономии ресурсов, повышению надежности, технической и информационной совместимости. Стандарты, направленные на обеспечение безопасности жизни и здоровья людей, окружающей среды, обеспечивают социальный эффект.

5. *Приоритетность разработки стандартов, способствующих обеспечению безопасности, совместимости и взаимозаменяемости продукции (услуг).* Эта цель достигается путем обеспечения соответствия требованиям стандартов, нормам законодательства и реализуется путем регламентации и соблюдения обязательных требований государственных стандартов. Важное требование к стандарту — это пригодность его для целей сертификации.

6. *Принцип гармонизации.* Этот принцип предусматривает разработку идентичных документов, относящихся к одному и тому же объекту, но принятых в разных странах. Гармонизация стандарта — это приведение его содержания в соответствие с другим стандартом для обеспечения взаимозаменяемости продукции (услуг), взаимного понимания результатов испытаний и информации, содержащейся в стандартах. В такой же степени гармонизация может быть отнесена и к техническим регламентам. Гармонизации стандартов способствует участие нашей страны в работе организаций, разрабатывающих международные стандарты. Факторами, которые влияют на степень гармонизации национальных стандартов, являются уровень ориентации экономики страны на внешнюю торговлю, емкость внутреннего рынка.

7. *Четкость формулировок положений стандарта.* Возможность двусмысленного толкования нормы свидетельствует о серьезном дефекте нормативного документа.

В Федеральном законе «О техническом регулировании» имеются положения, которые однозначно свидетельствуют, что стандартизация является функцией государства, несмотря на добровольность применения стандартов. Стандартизация как вид деятельности сохраняет государственный характер, и порядок ее осуществления регулируется государством в соответствии с Конституцией Российской Федерации.

6.4. Методы стандартизации

Метод стандартизации — это прием или совокупность приемов, с помощью которых достигаются цели стандартизации как вида деятельности.

Упорядочение объектов стандартизации — универсальный метод в области стандартизации продукции, процессов и услуг. Упорядочение состоит из отдельных методов: систематизации, селекции, симплификации, типизации и оптимизации.

Систематизация объектов стандартизации заключается в научно обоснованном последовательном классифицировании и ранжировании совокупности конкретных объектов стандартизации.

Селекция объектов стандартизации — деятельность, заключающаяся в отборе таких конкретных объектов, которые признаются целесообразными для дальнейшего производства и применения.

Симплификация — деятельность, заключающаяся в определении таких объектов, которые признаются нецелесообразными для дальнейшего производства и применения.

Селекции и симплификации проводятся параллельно. Им предшествуют классификация и ранжирование объектов и специальный анализ перспективности и сопоставления объектов с будущими потребностями.

Типизация объектов стандартизации — деятельность по созданию типовых (образцовых) объектов — конструкций, технологических правил, форм документации. В отличие от селекции отобранные конкретные объекты подвергают каким-либо техническим преобразованиям, направленным на повышение их качества и универсальности.

Оптимизация объектов стандартизации заключается в нахождении наилучших в определенном смысле значений параметров назначения, а также значений всех других показателей качества и экономичности.

В отличие от работ по селекции и симплификации, базирующихся на несложных методах оценки и обоснования принимаемых решений, например экспертных методах, оптимизацию объектов стандартизации осуществляют путем применения специальных экономико-математических методов и моделей оптимизации.

Параметрическая стандартизация. Параметр продукции — это количественная характеристика ее свойств. Наиболее важными параметрами являются характеристики, определяющие назначение продукции и условия ее использования. Продукция определенного типа, характеризуется рядом параметров. Набор установленных значений параметров называется параметрическим рядом. Разновидностью параметрического ряда является размерный ряд. Например, для посуды размерный ряд состоит из отдельных значений вместимости. Каждый размер изделия (или материала) одного типа называется типоразмером.

Процесс стандартизации параметрических рядов — параметрическая стандартизация — заключается в выборе и обосновании целесообразной номенклатуры и численного значения параметров. Решается эта задача с помощью математических методов. Параметрические

ряды рекомендуется строить согласно системе предпочтительных чисел — набору последовательных чисел, изменяющихся в геометрической прогрессии. Смысл этой системы заключается в выборе тех значений параметров, которые подчиняются строго определенной математической закономерности.

Стандарты, обеспечивающие качество продукции, можно представить в следующих группах:

- 1) стандарты технической подготовки производства;
- 2) стандарты, обеспечивающие качество на стадии эксплуатации;
- 3) стандарты по системам качества;
- 4) стандарты, определяющие требования к отдельным свойствам продукции;
- 5) стандарты по системе сертификации;
- 6) стандарты, по системе аккредитации.

6.5. Стандарты ИСО серии 9000

В конце 1950-х гг. в США были приняты стандарты *MIL-Q 9858*, которые использовались министерством обороны для оценки качества продукции, предназначенной для военной техники. Бесспорно знаковым событием в стандартизации систем качества стала разработка и принятие в 1969 г. стандартов НАТО, известных как серия *AQAP (Allied Quality Assurance Procedure)* — «Процедура обеспечения качества союзников». В 1973 г. на основе стандартов НАТО была разработана серия стандартов Министерства обороны Великобритании *DEF 05/20*.

«Отцом» *ISO 9000* считается британский контр-адмирал Дерек Спикернелл (*Spikernell*, 1921–2009), по инициативе которого была создана система обеспечения качества в военно-морских доках. В 1975 г. Д. Спикернелл перешел на работу в Британский институт стандартов (*BSI*), а с 1981 по 1986 гг. возглавил его. Благодаря Д. Спикернеллу стандарты Министерства обороны для обеспечения качества *Def Stan 05-21 «Quality control system requirements for industry»* и *Def Stan 05-24 «Inspection system requirements for industry»* попали в *BSI*. Адаптация этих стандартов привела к появлению и публикации в 1979 г. стандарта *BS 5750*, который и стал основой стандартов серии *ISO 9000*.

В 1987 г. была утверждена первая версия универсальных стандартов сертификации систем качества: *ИСО 9000/87*. В соответствии с шестым принципом *TQM* «постоянное улучшение» стандарты этой серии периодически пересматриваются. В 1994 г. вышла вторая редакция основных стандартов этой серии, которая включала 24 стандарта. Версия 1994 г. мало отличалась от версии 1987 г. Во второй редакции были обозначены процессный подход и предупреждающие действия. В третьем издании стандарта *ИСО 9000 (2000 г.)* введено понятие «система менеджмента качества» и сделан первый шаг в направлении

интегрированной системы управления организацией. Аутентичный перевод стандартов ИСО на русский язык вышел в 2001 г. Требования к СМК, установленные в стандарте, дополняют требования к продукции с целью оценки способности организации выполнять пожелания потребителей и положения регламентов.

В четвертом издании стандартов (2008 г.) изменения коснулись требований к СМК в связи с необходимостью совместимости стандарта ИСО 9001 со стандартом ИСО 14001:2004, применяемым к системам экологического менеджмента. В 2009 г. начал действовать стандарт ИСО 9004:2009 «Менеджмент для достижения устойчивого успеха организации. Подход на основе менеджмента качества», при этом менеджмент определяется как «скоординированная деятельность по руководству и управлению организацией».

В 2015 г. вышла пятая версия стандарта ИСО 9001. Стандарт разработан в соответствии с приложением к директиве ИСО (*ISO/IEC Directives, Part 1 Consolidated ISO Supplement — Procedures specific to ISO*), в котором прописаны требования к нормативным документам на системы управления. Директива устанавливает новый, единый стандарт для структуры систем управления (не только ИСО 9001, но и для других систем менеджмента). Основы СМК описаны в стандартах ИСО серии 9000.

Начальные версии данных стандартов основывались на элементном подходе, для улучшения тех или иных аспектов обеспечения качества применялся программный подход (например, системы «шесть сигм» и «ноль дефектов»). Следующим шагом развития стандартов ИСО серии 9000 стал переход к процессному подходу.

Стандарт *требований* ИСО 9001 представляет собой модель системы качества, обеспечивающей *соответствии продукции требованиям потребителя*. По данным последних исследований [The ISO Survey of Management system standard certifications. 2017. Explanatory note. August 2018], ИСО 9001 является самым популярным международным стандартом на системы менеджмента и, пожалуй, самым известным из всех документов, выпущенных Международной организацией по стандартизации за время существования с 1946 г. Во многом это связано со стремлением организаций получить официальный сертификат, что повышает конкурентоспособность. С точки зрения многих компаний наличие сертификата ИСО 9001 является свидетельством принадлежности предприятия к цивилизованному миру.

На 38-м Конгрессе Европейской организации по качеству (1994 г.) А. Фейгенбаум говорил, что «XXI век будет веком качества». Оценивая возможности России, он отмечал: «Россия может стать мировым лидером в ближайшие 15–20 лет, если может распространить принципы управления качеством на продукцию и услуги, но не достигнет ничего, если не будет следовать стандартам в области качества».

ИСО серии 9000». Сертификация СМК по стандартам ИСО серии 9000, как правило, обязательна для поставщиков в аэрокосмической, оборонной, а также отраслях, где от качества продукции зависит безопасность людей.

В соответствии с положениями базового стандарта ИСО 9000:2015 СМК «включает действия, с помощью которых организация устанавливает свои цели и определяет процессы и ресурсы, требуемые для достижения желаемых результатов». Чтобы СМК начала работать, нужно заинтересовать в этом высшее руководство компании, не случайно в ИСО 9001:2015 ведущая роль отводится лидерству.

В том или ином виде СМК изначально существует в каждой организации, имеющей систему менеджмента, т. е. «совокупность взаимосвязанных или взаимодействующих элементов организации для разработки политик и целей, а также процессов для достижения этих целей», но эта система не всегда документирована и не все в организации понимают, что они функционируют по ее правилам [53].

На рис. 12 приведена основанная на процессном подходе система менеджмента качества, описанная в стандартах ИСО серии 9000. Как видно, заинтересованные стороны играют важную роль в предоставлении организации входных данных. В книге [6] дается рисованный комментарий к ГОСТ Р ИСО 9001-2001. В настоящее время действует ГОСТ Р ИСО 9001-2015.

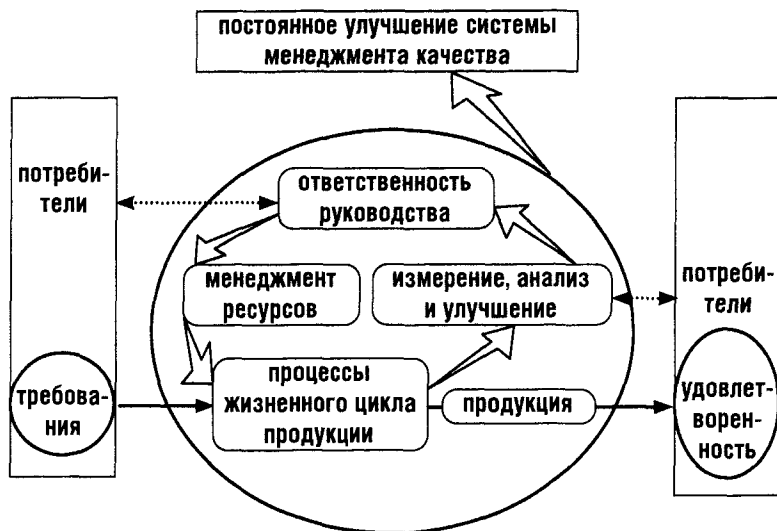


Рис. 12. Модель системы менеджмента качества, основанной на процессном подходе. Условные обозначения:
Деятельность, добавляющая ценность —→
Поток информации→

С 1990-х гг. развивается применение на предприятиях стандартов системы менеджмента, то есть предприятие по стандартизованным методикам планирует и организует свою деятельность, включая управление технологическими процессами и поставки ресурсов. Некоторые термины на Западе трактуются несколько иначе, чем в России, где «стандарт» — это набор жестко фиксированных норм, правил, требований, которые должны неукоснительно соблюдаться. По ИСО 9000 главное — это особая организация системы производства, которая называется «система качества». И главное в этой организации — это документированность всех процессов, имеющих отношение к производству продукции и могущих оказать существенное влияние на его качество.

Требования стандартов ИСО серии 9000 носят достаточно общий характер и не зависят ни от вида и объема выпускаемой продукции, ни от характера предоставляемых услуг, ни от социальной системы государства.

Использование большинства международных стандартов ИСО предполагает, что конкретные технические требования к продукции устанавливаются в договорных отношениях. Универсальность стандартов в том, что они не предлагают измеримых критериев качества для каждого отдельного вида продукции и услуг (например, требуемых технических характеристик). Это было бы и невозможно — ведь качество есть способность удовлетворять потребности, которые бесконечно разнообразны. В основном, требования стандартов ИСО серии 9000 применяются в следующих ситуациях:

1) как методический материал при построении системы качества на предприятии, который позволит повысить конкурентоспособность организации, экономическую эффективность ее деятельности;

2) как доказательство требуемого качества производимой продукции и услуг при заключении контракта между поставщиком и потребителем. В этом случае потребитель может оговорить в контракте, чтобы определенные процессы на предприятии-поставщике и элементы системы качества соответствовали требованиям стандартов ИСО серии 9000;

3) при оценке потребителем системы качества предприятия-поставщика. В этом случае потребитель оценивает соответствие построенной поставщиком системы требованиям стандартов ИСО серии 9000, поставщик же может получить официальное признание соответствия указанным требованиям стандарта;

4) при регистрации или сертификации системы качества органом по сертификации. При этом поставщик обязуется поддерживать соответствие системы качества требованиям стандартов ИСО серии 9000 для всех потребителей; как правило, для потребителя это является достаточным доказательством высокого качества продукции поставщика, и оценка системы качества им уже не проводится.

6.6. Базовые стандарты управления качеством

Семейство стандартов ИСО серии 9000 включает: стандарты ИСО 9000, ИСО 9001, ИСО 9004, ИСО 10001–10019 и ИСО 19011. Три стандарта ИСО 9000, ИСО 9001, ИСО 9004 являются фундаментальными документами системы качества.

ИСО 9000:2015 «Системы менеджмента качества. Основные положения и словарь». Стандарт содержит основные понятия, принципы и терминологию систем менеджмента качества (СМК), а также основу для других стандартов на СМК. В России действует ГОСТ Р ИСО 9000-2015 «Системы менеджмента качества. Основные положения и словарь», который является аутентичным переводом на русский язык стандарта ИСО 9000.

ИСО 9001:2015 «Системы менеджмента качества. Требования». Стандарт направлен на применение «процессного подхода» при разработке, внедрении и улучшении результативности системы менеджмента качества в целях повышения удовлетворенности потребителей путем выполнения их требований. В России действует ГОСТ Р ИСО 9001-2015 «Системы менеджмента качества. Требования».

В первые редакции стандартов ИСО серии 9000 входили ИСО 9002 и ИСО 9003, определявшие систему качества для более узкой области. В последующих редакциях эти стандарты были отменены.

ИСО 9004:2018 «Менеджмент качества. Качество в организации. Руководство по достижению устойчивого успеха». Стандарт является частью стандартов ИСО серии 9000 «Менеджмент качества». Если ИСО 9001 представляет собой требования по первоначальному созданию в организациях СМК, то ИСО 9004 направлен на дальнейшее развитие уже внедренной системы. Стандарт содержит рекомендации по достижению устойчивого успеха любой организации в сложной, требовательной и постоянно меняющейся среде путем использования подхода на основе менеджмента качества. Стандарт ИСО 9004 содержит в себе полезную информацию по инструменту самооценки, который необходим для проверки уровня развития организации — выявления ее слабых и сильных сторон. В России действует ГОСТ Р ИСО 9004-2010 «Менеджмент для достижения устойчивого успеха организации. Подход на основе менеджмента качества».

ИСО 19011:2011 «Руководящие указания по аудиту систем менеджмента». Стандарт не устанавливает требований, а содержит руководящие указания по управлению программой аудита, планированию и проведению аудита системы менеджмента, а также по вопросам компетентности и оценивания аудитора и группы по аудиту. Стандарт вводит понятие риск в применении к аудиту систем менеджмента, но не дает рекомендаций по процессу управлению рисками организации.

В России действует ГОСТ Р ИСО 19011-2012 «Руководящие указания по аудиту систем менеджмента».

ИСО 10005:2018 «Менеджмент качества. Руководящие указания по планированию качества». Стандарт содержит руководящие принципы для разработки и применения планов действий по обеспечению надлежащего качества. Данный стандарт содержит руководства о том, как использовать риск-ориентированное мышление в целях определения процессов и методов, которые будут внедряться в организации. В настоящее время в России пока действует ГОСТ Р ИСО 10005-2007 «Менеджмент организации. Руководящие указания по планированию качества» (идентичен международному стандарту ИСО 10005:2005 «Системы менеджмента качества. Руководящие указания по планированию качества»).

ИСО 10006:2017 «Системы менеджмента качества. Руководство по менеджменту качества при проектировании». В стандарте описывается руководство качеством в процессах управления проектом; Стандарт выделяет принципы и методы управления качеством, применение которых важно для достижения целей менеджмента качества. Стандарт дополняет руководящие указания ИСО 9004.

Разработчики стандартов полагаются на творческую инициативу конкретных исполнителей, которые в своих специфических условиях будут следовать рекомендациям стандартов.

6.7. Стандарты ИСО серии 14000

«Все меньше окружающей природы... Все больше окружающей среды...», — грустно констатировал поэт Роберт Рождественский. Жестче звучит по этому поводу афоризм американского литератора Мейсона Кули: «Человечество усердно перерабатывает природу в мусор». Экологи всего мира уже давно бьют тревогу по поводу разрушения озонового слоя в атмосфере Земли, уменьшения площади лесов на планете, загрязнения водоемов и атмосферы. Объективная реальность, в которой «...все больше окружающей среды», вынуждает руководителей промышленных предприятий вкладывать значительные средства, чтобы оставалось больше окружающей природы.

Любая организация стремится продемонстрировать свою экологическую безопасность, контролируя воздействия на окружающую среду результатов своей деятельности. Для этого проводятся всевозможные анализы и аудиты. Системы экологического менеджмента на базе стандартов ИСО 14000 — эффективный инструмент, с помощью которого организация управляет всеми видами своего воздействия на окружающую среду и приводит свою деятельность в соответствие с различными национальными и международными требованиями. Также это дает возможность продемонстрировать соответствие системы экологического менеджмента организации современным требованиям.

Решению о разработке ИСО 14000 предшествовало принятие так называемой «Рамочной конвенции ООН 1992» — международно-го соглашения об общих принципах действия по предотвращению опасных изменений климата, принятого на Конференции ООН по окружающей среде и развитию (так называемому Саммиту Земли), состоявшемуся в Рио-де-Жанейро с 3 по 14 июня 1992 г. Моделью для серии ИСО 14000 послужили британские стандарты *BS 7750*, опубликованные в 1992 г. Система стандартов ИСО 14000 также использовала успешно к тому времени апробированную серию ИСО 9000. Первые стандарты из серии ИСО 14000 были официально приняты в конце 1996 г.

6.7.1. Что такое ИСО 14000

Стандарты серии ИСО 14000, в отличие от многих других природоохранных нормативных документов, ориентированы не на количественные параметры (объем выбросов, концентрации вещества и т. п.) и не на технологии (требование использовать или не использовать определенные технологии). Предметом ИСО 14000 является *система экологического менеджмента (environmental management system — EMS)*. Положения этих стандартов состоят в том, что в организации должны быть введены и соблюдаться определенные процедуры, подготовлены определенные документы, назначен ответственный за определенную область.

Предполагается, что система стандартов будет обеспечивать уменьшение неблагоприятных воздействий на окружающую среду на трех уровнях:

1. *Организационный* — улучшение экологического поведения организаций.
2. *Национальный* — создание дополнения к национальной нормативной базе и компонента государственной экологической политики.
3. *Международный* — улучшение условий международной торговли.

6.7.2. Система стандартов ИСО серии 14000

Документы, входящие в систему, можно условно разделить на три основные группы:

- принципы создания и использования систем экологического менеджмента;
- инструменты экологического контроля и оценки;
- стандарты, ориентированные на продукцию.

Системы экологического менеджмента (СЭМ) — Environmental Management Systems

Как было сказано, ключевым понятием серии ИСО 14000 является представление *системы экологического менеджмента* в организации. Поэтому центральным документом стандарта считается ИСО

14001:2015 «Environmental management systems — Requirements with guidance for use» (российский аналог ГОСТ Р ИСО 14001-2016 «Системы экологического менеджмента. Требования и руководство по применению»). Он не содержит никаких «абсолютных» требований к воздействию организации на окружающую среду, за исключением того, что организация в специальном документе должна объявить о своем стремлении соответствовать национальным стандартам. «Системы экологического менеджмента. Требования и руководство по применению». В России действует идентичный стандарт ГОСТ Р ИСО 14001-2016. Системы экологического менеджмента. Требования и руководство по применению.

Стандарт ИСО 14001 является общепризнанной основой для построения системы экологического менеджмента, так как содержит в себе требования, позволяющие организации разработать и внедрить экологическую политику и цели, учитывающие законодательные требования и информацию о значимых экологических аспектах. После его внедрения организация начинает контролировать свое воздействие на окружающую среду, что приводит к рациональному природопользованию. В соответствии с экологической политикой организации намеченные результаты системы экологического менеджмента включают в себя:

- улучшение экологических результатов деятельности;
- выполнение принятых обязательств;
- достижение экологических целей.

Требования этого документа являются аудируемыми — предполагается, что соответствие или несоответствие им конкретной организации может быть установлено с высокой степенью определенности. Именно соответствие стандарту ИСО 14001 и является предметом формальной сертификации. Все остальные документы рассматриваются как вспомогательные — например, ИСО 14004:2016 «*Environmental management systems — General guidelines on principles, systems and support techniques*» (российский аналог ГОСТ Р ИСО 14004-2007 «Системы экологического менеджмента. Общее руководство по принципам, системам и методам обеспечения функционирования»). В этом стандарте описаны элементы системы экологического менеджмента и приведены рекомендации (примеры) по разработке, внедрению, поддержанию СЭМ.

Экологический аудит — средство проверки экологической эффективности. В серию стандартов в области экологического аудита входит еще два:

Серия 14040 определяет методологию «оценки жизненного цикла», которая может использоваться при оценке экологических воздействий, связанных с продукцией организации (такая оценка требуется стандартом ИСО 14001). 14040-99. Управление окружающей средой. Оценка жизненного цикла. Принципы и структура.

Основные требования, которые предъявляет к организации ИСО 14001 (ГОСТ Р ИСО 14001-2016)

1. Организация должна выработать *экологическую политику* — специальный документ о намерениях и принципах, который должен служить основой для действий организации и определения экологических целей и задач. Экологическая политика должна соответствовать масштабу, природе и экологическим воздействиям, создаваемым деятельностью, продукцией и услугами компании и, кроме того, содержать заявление о стремлении соответствовать нормативам, содействовать «постоянному улучшению» (*continual improvement*) системы экологического менеджмента и «предотвращению загрязнений» (*pollution prevention*). Документ должен быть доведен до сведения всех сотрудников организации и быть доступным общественности.

2. Организация должна выработать и соблюдать процедуры для определения значимых воздействий на окружающую среду (отметим, что стандарт говорит о воздействиях, связанных не только непосредственно с деятельностью организации, но и с выпускаемой ею продукцией и услугами). Организация должна также учитывать все законодательные требования, связанные с экологическими аспектами ее деятельности, продуктов и услуг, а также требования другой природы (например, отраслевые кодексы).

3. Организация должна выработать экологические цели и задачи с учетом значимых экологических воздействий, законодательных и других требований. Цели и задачи должны по возможности иметь количественное выражение и основаны на экологической политике («включая осознание необходимости или приверженность предотвращению загрязнений»). При их формулировке принимаются во внимание взгляды заинтересованных сторон, под которыми понимаются любые группы и граждане, чьи интересы затрагиваются экологическими аспектами деятельности предприятия, или озабоченные этими аспектами.

4. Организация должна разработать программу экологического менеджмента с указанием ответственных, средств и сроков для достижения целей и задач.

5. В организации должна быть определена соответствующая структура ответственности, выделены достаточные кадровые, технологические и финансовые ресурсы. Должен быть назначен ответственный за, в обязанность которого должно входить периодически докладывать руководству о работе СЭМ.

6. Должен выполняться ряд требований по обучению персонала, а также по подготовке к нештатным ситуациям.

7. Организация должна осуществлять мониторинг или измерение основных параметров той деятельности, которая могут оказывать существенное воздействие на окружающую среду. Должны быть уста-

новлены процедуры для периодической проверки соответствия действующим законодательным и другим требованиям.

8. Должен проводиться периодический аудит системы экологического менеджмента с целью выяснения, соответствует ли она критериям, установленным организацией, а также требованиям стандарта ИСО 14001, внедрена ли она надлежащим образом. Результаты аудита докладываются руководству компании.

9. Руководство организации должно периодически рассматривать работу системы экологического менеджмента с точки зрения ее адекватности и эффективности. Обязательно должен рассматриваться вопрос о необходимых изменениях в экологической политике, целях и других элементах СЭМ. При этом должны приниматься во внимание результаты аудита, изменившиеся обстоятельства и стремление к постоянному улучшению. Стандартом подразумевается, что СЭМ интегрирована с общей системой управления организацией.

Важно отметить, что стандарт ИСО 14001 фактически основывается на цикле Шухарта–Деминга *PDCA*, который в данном случае описывается следующим образом:

- *P* (планирование) — разработка целей и процессов, необходимых для получения результатов, соответствующих экологической политике организации;
- *D* (выполнение) — внедрение процессов;
- (контроль) — проведение мониторинга и измерение процессов в отношении реализации экологической политики, достижения целей, выполнения задач, законодательных и других требований, подготовка отчета о результатах;
- *A* (действие) — выполнение действий по постоянному улучшению результативности СЭМ.

Основные разделы ИСО 14001:2015 идентичны соответствующим частям ИСО 9001:2015. Таким образом, обе системы могут использоваться совместно в тех организациях, которые уже внедрили один из этих стандартов и хотят использовать оба.

Системы менеджмента качества и экологического менеджмента (СМК и СЭМ) тесно переплетены между собой и взаимно дополняют друг друга. Сертификация в рамках ИСО 9000 — это 70% работы по сертификации в рамках ИСО 14000, утверждает одна из консультационных фирм. Для внедрения системы экологического менеджмента вполне применим опыт по созданию систем менеджмента качества. Стоит отметить, что с позиций *TQM* системы экологического менеджмента являются верхней ступенью управления качеством на предприятии. Экологический менеджмент появился на основе *TQM*, расширив и усложнив при этом традиционные представления о качестве.

В работе [62] проанализированы версии стандартов ИСО 9001 и ИСО 14001 с первой (1987) по последнюю редакцию (2015) и сле-

лан вывод о преемственности всех редакций, отмечена базовая устойчивость исходных моделей СМК и СЭМ. В новой редакции организациям предоставляется больше свободы при определении объема документирования своих систем менеджмента. Некоторые отличия в версиях стандартов показаны в табл. 3.

Таблица 3

Версии стандартов ИСО 9000

Характеристика отличия	Версия 1994 г.	Версия 2000 г.	Версия 2015 г.
Название	Система качества	Системы менеджмента	
Подход к формированию системы	Элементный	Процессный	
Концепция системы	Ориентация на удовлетворение требований потребителя	Ориентация на повышение конкурентоспособности организации	Повышение конкурентоспособности организации и ориентация на потребителя
Оценка эффективности системы	По отсутствию несоответствий	По непрерывному и постоянному улучшению деятельности	
Подход к функционированию системы	Предупреждающие действия		Риск-ориентированное мышление
	Заинтересованные стороны		Контекст (среда) организации
Информация в организации	Наличие руководства по качеству и нескольких документированных процедур		Управление Знаниями

Эволюция стандартов серии ИСО 9000 представлена на рис. 13.

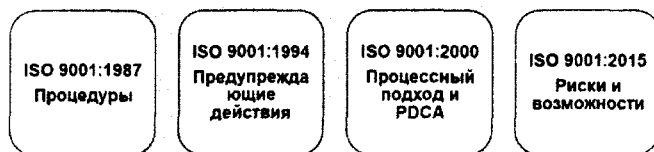


Рис. 13. Эволюция стандартов ИСО 9001

6.8. Интегрированная система менеджмента

Интегрированная система менеджмента (ИСМ) представляет собой совокупность двух и более систем менеджмента, функционирующих как единое целое. Интегрированная система менеджмента – система общего управления организацией, в которой соблюдаются требования двух или более международных стандартов. Эта система способствует повышению конкурентоспособности организации, гарантии ее стабильности и устойчивого развития. Создание ИСМ позволит избежать усложнения управления в целом, увеличения объема документооборота и финансовых затрат, что возможно при внедрении разрозненных систем менеджмента.

За последние годы многие организации все чаще внедряют несколько ИСМ, с целью активного развития и повышения уровня конкурентоспособности. Наиболее распространенными составляющими ИСМ организации являются система менеджмента качества по ГОСТ Р ИСО 9001, система экологического менеджмента по ГОСТ Р ИСО 14001, система управления охраной труда по ГОСТ 12.0.230-2007 (OHSAS 18001).

Стандарт OHSAS 18001:2007. «Системы менеджмента профессионального здоровья и безопасности. Общие технические требования». Стандарт не имеет статуса международного поскольку не утвержден ИСО, но используется разными странами при сертификации совместно с ИСО 14001 и ИСО 9001, с которыми он схож по структуре и содержанию.

Стандарт ИСО 31000:2009 «Риск-менеджмент. Принципы и руководящие указания». Особенности современного этапа развития общества предопределены неопределенностью среды. Поэтому существует риск и необходимо на основе достоверных фактов управлять им. Международный стандарт ИСО/МЭК 27001:2013 по информационной безопасности. Его предшественником был британский стандарт BS 7799-2:2002 «Системы управления информационной безопасностью. Спецификации с руководством для применения». Стандарт не предписывает использование каких-то определенных способов шифрования данных для конкретных устройств защиты. Его цель — создание общей методологии для разработки и оценки эффективности систем управления информационной безопасностью.

По мнению А. Езраховича: «Правильнее говорить не об интегрированной системе менеджмента, а о системе менеджмента организации. Имея такую систему, можно сделать необходимые ссылки на разные требования и стандарты... идти нужно от системы к стандарту, а не от стандарта к системе. Стандарт нужно не внедрять, а применять как инструмент, который помогает организации правильно работать и достигать устойчивого успеха» [51].

В стандарте ИСО 9001:2015 понятие качества связано с удовлетворенностью потребителя, а в ИСО 9004:2018 задача формулируется шире и заключается в способности организации соответствовать потребностям и ожиданием потребителя и других заинтересованных сторон (поставщиков, заказчиков, персонала, государственных органов и т. п.). При построении ИСМ важно объединить не только требования различных стандартов, но и интересы различных так называемых стейкхолдеров (от англ. *Stakeholder* — владелец доли — в узком смысле: лицо, имеющее долю в уставном капитале предприятия).

Завершим настоящий раздел красноречивыми высказываниями: «В отсутствие стандартов мы лишены логической основы для принятия решения и совершения действия» (Джуран), «Там, где нет стандартов, не может быть совершенствования, но... всякий раз, когда в текущем процессе появляются отклонения, надо задать следующие вопросы: Это случилось, потому что у нас не было стандарта? Это случилось, потому что мы не следовали стандарту? Это случилось, потому что стандарт не был адекватным?» (Имаи).

Вопросы для самопроверки

1. Что такое стандартизация?
2. Назовите цель стандартизации.
3. Какие принципы стандартизации вы знаете?
4. Назовите основные методы стандартизации.
5. В каких случаях применяются стандарты серии ИСО 9000?
6. Охарактеризуйте каждый из базовых стандартов серии ИСО 9000.
7. Поясните, как функционирует модель процесса менеджмента качества по ИСО 9001.
8. В чем назначение стандартов серии ИСО 14000?
9. В чем суть цикла *PDCA* применительно к стандартам серии ИСО 14001?
10. Основные требования, предъявляемые к организации стандартами серии ИСО 14000.
11. Что такое интегрированная система менеджмента?

7. СЕРТИФИКАЦИЯ В УПРАВЛЕНИИ КАЧЕСТВОМ

В ходе процедуры сертификации организация проходит внешнюю оценку и получает возможность посмотреть на себя со стороны.

А. Езрахович

7.1. Краткая история сертификации

Сегодня поставщику недостаточно строго следовать требованиям прогрессивных стандартов — надо подкреплять выпуск товара и оказание услуги сертификатом. Например, сертификат на систему качества в определенной мере создает у заказчика и потребителя уверенность в стабильности качества, в достоверности и точности измеренных показателей качества, свидетельствует о высокой культуре процессов производства продукции и предоставления услуг.

Французское слово «сертификат» (*certificat*) происходит от латинских *certum* — верно и *facere* — *делать* и переводится — письменное удостоверение, свидетельство. Оно звучит синонимом слову «диплом» (*diploma*), также означающему свидетельство, официальный документ, подтверждающий определенные качества человека — образование, умение или соответствие почетному статусу. Понятие «сертификат» шире «диплома». Последний вне контекста образования имеет ограниченное применение. В то время как сертификат может быть технологическим документом, удостоверяющим соответствие какого-либо устройства определенным техническим параметрам, или подарочным — предназначенным для предъявления в магазине в счет оплаты покупки.

Хотя термин «сертификация» появился в повседневной жизни сравнительно недавно, впервые он был определен Комитетом по вопросам сертификации (СЕРТИКО) международной организации по стандартизации (ИСО) в 1982 г., соответствующая процедура применяется, по крайней мере, с начала XIX в. Так, в Энциклопедическом словаре Ф. А. Брокгауза и И. А. Ефрона, изданном в 1900 г., дается

несколько определений сертификата, одно из них: сертификат — это удостоверение.

Производители товаров издавна гарантировали качество своих изделий, в том числе письменно, т. е. снабжали их соответствующими документами. В метрологии сертификация известна как деятельность по официальной проверке (клеймению или пломбированию) прибора, что свидетельствует о том, что он удовлетворяет требованиям по конструктивным и метрологическим характеристикам. Так, сопроводительный документ к полученному Россией в 1879 г. прототипу килограмма имел следующее название: «Международный комитет мер и весов. Сертификат Международного бюро мер и весов для прототипа килограмма № 12, переданного Министерству финансов Российской Империи». В течение столетий действуют так называемые «классификационные организации», которые оценивают безопасность судов для целей их страхования. По существу, это, если использовать современную терминологию сертификация соответствия.

Прообразом сертификации в Германии выступила экспертная организация *TÜV* (нем. *Technische Überwachungs-Verein* — «Объединение технического надзора»), основанная в 1866 г. в качестве надзорного органа за производством и эксплуатацией паровых котлов. За 150-летнюю историю концерн *TÜV SÜD* стал одним из лидеров в области экспертизы, испытаний и сертификации. Работая под девизом «Больше уверенности — больше прибыли», компания «ТЮФ ЗЮД» имеет ныне около 800 представительств по всему миру.

Ведущие экономические державы начали развивать процессы сертификации в 1920-е гг. В 1920 г. Немецкий институт стандартов (*DIN*) учредил в Германии знак соответствия *DIN*, который распространялся на все виды продукции, не требующие особого надзора за производством. Во Франции в 1938 г. создана национальная система сертификации знака *NF* (Французский стандарт). Ответственность за общую организацию и руководство системой была возложена на Французскую ассоциацию по стандартизации (*AFNOR*).

После Второй мировой войны различие национальных систем сертификации в странах Западной Европы, основанных на местных нормативных документах, вело к путанице, становилось препятствием в торговле между странами — членами Европейского Союза и мешало реализации идеи создать «пространство без внутренних границ, в котором обеспечивается свободное перемещение людей, товаров и услуг». В 1986 г. сформировался так называемый «Новый подход» (*New Approach*), а 21 декабря 1989 г. Совет Европейского Союза принял документ «Глобальная концепция по сертификации и испытаниям», позволяющий проводить аккредитацию и сертификацию по единым европейским нормам.

В США отсутствуют единые правила сертификации и стандартизации — стандарты разрабатываются множеством организаций, имеющих различный статус. При этом образована национальная система аккредитации испытательных лабораторий, организуется система регистрации сертификационных норм. В США действует три основные категории систем сертификации, которые утверждает Федеральное правительство:

- 1-я категория — программы обязательной сертификации товаров и услуг на безопасность;
- 2-я категория — программы по проверке образцов продукции и производств, заменяющие сплошной контроль. Используются при обязательной и добровольной сертификации для товаров, применяемых в государственных учреждениях;
- 3-я категория — программы оценки качества и условий производства до поступления продукции в торговую сеть, используются для обязательной и добровольной сертификации.

Нормативной базой сертификации являются стандарты, которые разрабатываются:

- Американским обществом по испытаниям материалов (*ASTM*) — для широкого диапазона потребительских товаров;
- Национальной ассоциацией изготовителей электрооборудования (*NEMA*) — для электротехнических товаров и электрооборудования;
- Комиссией по безопасности товаров широкого потребления (*CPSC*) — для товаров широкого потребления;
- Федеральным агентством по защите окружающей среды (*EPA*) — для сертификации различных производств, двигателей внутреннего сгорания, наземного, водного и воздушного транспорта и т. п.;
- Национальным институтом стандартов и технологий (*NIST*) — правительственным органом по стандартизации, который разрабатывает обязательные стандарты.

Общее руководство сертификацией в стране осуществляет Сертификационный комитет, действующий в составе *NIST*. Комитет координирует работы по стандартизации и представляет США в ИСО, МЭК и других международных организациях.

В СССР название сертификатов носили выпущенные в 1923 г. краткосрочные беспроцентные обязательства для увеличения оборотных средств железной дороги; «сертификаты Хлебной инспекции», выдававшиеся с 1925 г. и удостоверяющие качество зерна; сертификаты, выдаваемые морскими классификационными учреждениями, подтверждающими то или иное состояние судна. С 1927 г. сертификатами назывались облигации государственных займов [Большая Советская энциклопедия. Т. 51. М.: Советская энциклопедия, 1945. С. 36].

В СССР сертификация отечественной экспортируемой продукции первоначально проводилась в зарубежных центрах и ее обязательность фактически устанавливалась законодательством тех стран, куда товары поставлялись. В 1984 г. Правительством СССР было принято Постановление о сертификации экспортируемой продукции, а в 1986 г. Госстандартом был введен в действие Временный порядок сертификации продукции машиностроения. В 1988 г. странами — членами СЭВ была подписана Конвенция о системе оценки качества и сертификации взаимопоставляемой продукции (СЕПРО СЭВ). Указанная система фактически ввела международную аккредитацию испытательных лабораторий и международную аттестацию. До этого в СССР осуществлялось оценка соответствия продукции установленным требованиям в других формах: аттестация по категориям качества, государственная приемка продукции, государственные испытания, государственный надзор за стандартами.

Сертификация в России начала проводиться в начале 1990-х гг. в соответствии с принятым в 1992 г. Законом РФ «О защите прав потребителей», который установил обязательность сертификации безопасности товаров народного потребления. В настоящее время действует Договор о Евразийском экономическом союзе (ЕАЭС), и сохранилось национальное подтверждение соответствия требованиям обязательных стандартов, обусловленное Постановлением Правительства РФ № 982 Об утверждении единого перечня продукции, подлежащей обязательной сертификации, и единого перечня продукции, подтверждение соответствия которой осуществляется в форме принятия декларации о соответствии.

В рамках ЕАЭС приняты схемы сертификации и схемы декларирования соответствия. Они определены решением ЕЭК № 621. Подтверждение соответствия в обязательной сфере может проходить в двух режимах: подтверждение соответствия требованиям технических регламентов ЕАЭС (ТС) для той продукции, на которую приняты регламенты и подтверждение соответствия продукции, определенной Постановлением Правительства РФ № 982 (с изменениями), требованиям стандартов (для продукцию, на которую не приняты регламенты).

В соответствии с ФЗ «О техническом регулировании», Договором о ЕАЭС в работах по сертификации участвует ряд федеральных органов исполнительной власти.

7.2. Основные понятия сертификации (декларирование соответствия)

В сертификации три стороны: первая сторона представляет интересы поставщиков, вторая — потребителей, третья — лицо или орган, признаваемые независимыми от участвующих сторон в рассматри-

ваемом вопросе. Сертификация может иметь обязательный и добровольный характер. Перечни продукции, подлежащей обязательной сертификации, утверждаются Правительством Российской Федерации в соответствии с регламентами ЕАЭС. Ниже приводимая терминология соответствует Закону Российской Федерации «О техническом регулировании», принятом в 2002 г. с учетом последующих изменений.

Сертификация — форма осуществляемого органом по сертификации подтверждения соответствия объектов требованиям технических регламентов, документам по стандартизации или условиям договоров. В некоторых странах, например США, сертификация часто именуется *регистрацией*, которая больше относится к сертификации СМК.

Система сертификации — совокупность участников сертификации, осуществляющих сертификацию по правилам, установленным в этой системе. Или совокупность правил выполнения работ по сертификации, ее участников и правил функционирования системы сертификации в целом.

Соответствие — соблюдение всех установленных требований к продукции, процессу или услуге.

Оценка соответствия — прямое или косвенное определение соблюдения требований, предъявляемых к объекту.

Подтверждение соответствия — документальное удостоверение соответствия продукции или иных объектов, процессов проектирования (включая изыскания), производства, строительства, монтажа, наладки, эксплуатации, хранения, перевозки, реализации и утилизации, выполнения работ или оказания услуг требованиям технических регламентов, документам по стандартизации или условиям договоров.

Сертификат соответствия (сертификат) — документ, выданный по правилам системы сертификации для подтверждения соответствия сертифицированной продукции установленным требованиям.

Декларация о соответствии — документ, в котором поставщик удостоверяет, что поставляемая им продукция соответствует установленным требованиям.

Таким образом, *подтверждение соответствия проводится посредством не только сертификата, но и декларации о соответствии*. Перечни продукции, соответствие которой может быть подтверждено декларацией о соответствии, утверждаются постановлением Правительства Российской Федерации в соответствии с регламентами ЕАЭС.

Знак соответствия — зарегистрированный в установленном порядке знак, которым по правилам данной системы добровольной сертификации подтверждает соответствие маркированной им продукции установленным требованиям.

Орган по сертификации — юридическое лицо или индивидуальный предприниматель, аккредитованные в соответствии с законодатель-

ством Российской Федерации об аккредитации в национальной системе аккредитации для выполнения работ по сертификации;

Схема сертификации — это состав и последовательность действий органа по сертификации при оценке соответствия продукции, услуг, систем качества и персонала.

Сертификация систем качества — действие третьей стороны, доказывающее, что обеспечивается необходимая уверенность в том, что должным образом идентифицированная система качества соответствует требованиям стандартов ИСО серии 9000 или иным нормативным документам, определенным заказчиком.

Сертификация производства — действие третьей стороны, доказывающее, что обеспечивается необходимая уверенность в том, что должным образом идентифицированное производство и его условия обеспечивают стабильность характеристик, производимых продукции, услуг или работ, определенных нормативными документами.

Инспекционный контроль — контроль за деятельностью аккредитованных органов по сертификации, испытательных лабораторий, а также за сертифицированной продукцией, состоянием ее производства.

Инспекционный контроль — это элемент схемы сертификации

7.3. Основные цели и принципы сертификации

Цели сертификации. Сертификация направлена на достижение следующих целей: содействие потребителям в компетентном выборе продукции (услуги); защита потребителя от недобросовестности поставщика; контроль безопасности продукции (услуги, работы) для окружающей среды, жизни, здоровья и имущества; подтверждение показателей качества продукции (услуги, работы), заявленных поставщиком (исполнителем); создание условий для деятельности организаций и предпринимателей на рынке России и участия в международном экономическом, научно-техническом сотрудничестве и международной торговле.

Принципы сертификации. При проведении сертификации необходимо руководствоваться следующими принципами.

1. Законодательная основа сертификации (деятельность по сертификации в РФ основана на Законах РФ «О техническом регулировании», «О защите прав потребителей» и других нормативных актах), а также договором о ЕАЭС.

2. Открытость системы сертификации (в работах по сертификации участвуют предприятия независимо от форм собственности. Кроме этого, исключается любая дискриминация заявителя и любого участника процесса сертификации, будь то цена, завышенная в сравнении с другими заявителями, неоправданная задержка по срокам, необоснованный отказ в приеме заявки и др.).

3. Гармонизация правил и рекомендаций по сертификации с международными нормами и правилами (гармонизация является условием признания сертификатов и знаков соответствия за рубежом, тесного взаимодействия с международными, региональными и национальными системами сертификации других стран).

4. Открытость и закрытость информации. С одной стороны, при сертификации необходимо информирование всех участников и заинтересованных сторон о результатах сертификации, с другой — должна соблюдаться конфиденциальность информации, составляющей коммерческую тайну, например, сведения о технологии и организации производства, перспективных разработках продукции, «ноу-хау», данные, которые могут представлять интерес для конкурентов или могут повредить престижу организации, нанести ей моральный или материальный ущерб.

7.4. Обязательная и добровольная сертификация

Сертификация может иметь обязательный и добровольный характер.

Обязательная сертификация — процедура подтверждения уполномоченным аккредитованным на то органом по сертификации соответствия продукции обязательным требованиям, установленным законодательством. В РФ обязательная сертификация касается только продукции. Услуги не являются объектом обязательной сертификации.

Обязательная сертификация является формой государственного контроля безопасности продукции. Она осуществляется в случаях, предусмотренных законами и нормативными актами Правительства РФ, и иногда именуется «сертификацией в законодательно регулируемой сфере».

Обязательная сертификация осуществляется органом по сертификации, аккредитованным в соответствии с законодательством Российской Федерации, который:

привлекает на договорной основе для проведения исследований (испытаний) и измерений аккредитованные испытательные лаборатории (центры);

осуществляет контроль за объектами сертификации; ведет реестр выданных им сертификатов соответствия;

информирует соответствующие органы государственного контроля (надзора) за соблюдением требований технических регламентов о продукции, поступившей на сертификацию, но не прошедшей ее; выдает сертификаты соответствия, приостанавливает или прекращает действие выданных им сертификатов соответствия и информирует об этом федеральный орган исполнительной власти и органы государственного контроля (надзора) за соблюдением требований технических регламентов;

определяет стоимость работ по сертификации, выполняемых в соответствии с договором с заявителем;

в порядке, установленном соответствующим техническим регламентом, принимает решение о продлении срока действия сертификата соответствия; осуществляет отбор образцов для целей сертификации и представляет их для проведения исследований (испытаний) и измерений в аккредитованные испытательные лаборатории (центры) или поручает осуществить такой отбор аккредитованным испытательным лабораториям (центрам);

подготавливает заключение, на основании которого заявитель вправе принять декларацию о соответствии по результатам проведенных исследований (испытаний).

Добровольная сертификация проводится по инициативе заявителей (изготовителей, продавцов, исполнителей) в целях подтверждения соответствия продукции (услуг) требованиям стандартов, технических условий и других документов, определяемых заявителем. Добровольная сертификация проводится на условиях договора между заявителем и органом по сертификации. Добровольная сертификация продукции, подлежащей обязательной сертификации, не может заменить обязательную сертификацию. Однако по продукции, прошедшей обязательную сертификацию, могут проверяться в рамках добровольной сертификации требования, дополняющие обязательные.

Кроме продукции, услуг и систем качества добровольной сертификации может подлежать персонал — для установления соответствия специалистов предъявляемым к выполняемой ими работе требованиям. В то же время сертификацию персонала не надо ассоциировать с аттестацией. Цель аттестации — определение квалификации работника с целью проверки его соответствия занимаемой должности. Цель сертификации — установления уровня подготовки, профессиональных знаний и опыта специалиста для подтверждения его возможностей надлежащим образом осуществлять конкретные действия. Аттестацию проводит работодатель (вторая сторона), а сертификацию — орган по сертификации (третья сторона). Кроме требований к профессиональной компетентности при сертификации предъявляются требования, связанные с качествами специалиста, обеспечивающими его способность выполнять функции эксперта.

Основными средствами, позволяющими установить соответствие продукции конкретному стандарту или техническому регламенту, являются испытания. При этом для обеспечения возможности сравнения полученных результатов необходимо выполнение требования единства измерений.

При сертификации продукции проверяются ее характеристики, и при этом используются методы испытаний, позволяющие:

- провести идентификацию продукции, в том числе проверить, к какой классификационной группировке однородной продукции она принадлежит, какой технической документации соответствует, каково происхождение данной продукции, к какой партии она принадлежит и т. д.;
- полно и достоверно подтвердить соответствие продукции требованиям, направленным на обеспечение ее безопасности для жизни, здоровья и имущества граждан, окружающей среды, установленных в нормативных документах на продукцию, а также другим требованиям, которым на основе законодательных актов должна соответствовать продукция при обязательной сертификации в нормальных условиях и при эксплуатации, хранении и транспортировании.

Поскольку обязательная сертификация в соответствии с Законом РФ «О защите прав потребителей» имеет целью подтверждение соответствия товара (работы, услуг) обязательным требованиям стандарта, то важно знать, в какой степени ответственность за качество продукции, прошедшей обязательную сертификацию на безопасность, возлагается на организацию по сертификации, и в какой степени она остается за изготовителем. Во многих странах в основу ответственности положен принцип, что наличие сертификата не снимает с изготовителя ответственность за выполнение изделия в строгом соответствии со всеми предъявляемыми к нему требованиями.

В условиях развитой рыночной экономики проведение добровольной сертификации становится условием преодоления торговых барьеров, так как, повышая конкурентоспособность, она фактически обеспечивает производителю место на рынке.

7.4.1. Участники обязательной сертификации

Участниками сертификации являются изготовители продукции (первая сторона), заказчики (продавцы) могут быть как первой, так и второй стороной. Продавец, получающий товар, представляет вторую сторону, а при реализации товара покупателю — первую сторону. Организации, представляющие третью сторону — органы по сертификации, испытательные лаборатории (центры).

Изготовители при проведении сертификации обязаны:

- реализовывать продукцию, только при наличии сертификата, выданного на то органом или декларации о соответствии;
- обеспечивать соответствие реализуемой продукции требованиям нормативной документации, на соответствие которым она была сертифицирована, и маркирование ее знаком обращения на рынке;
- указывать в сопроводительной технической документации сведения о сертификате или декларации о соответствии и норма-

тивной документации, которым она должна соответствовать и обеспечивать доведение этой информации до потребителя (покупателя, заказчика);

- обеспечивать беспрепятственное выполнение своих полномочий должностными лицами органов по сертификации и лицами, осуществляющими контроль за сертифицированной продукцией;
- приостанавливать или прекращать реализацию продукции: если она не отвечает требованиям нормативной документации; после истечения срока действия сертификата; в случае приостановки его действия или отмены решением органа по сертификации; по истечении срока действия декларации о соответствии; по истечении срока годности или срока службы продукции;
- извещать орган по сертификации об изменениях, которые влияют на характеристики, проверяемые при сертификации.

Орган по сертификации выполняет следующие функции:

- сертифицирует продукцию, выдает сертификат и осуществляет инспекционный контроль за сертифицированной продукцией;
- приостанавливает либо отменяет действие выданных им сертификатов;
- представляет заявителю необходимую информацию.

Орган по сертификации несет ответственность за обоснованность и правильность выдачи сертификата соответствия, за соблюдение правил сертификации.

Аккредитованные испытательные лаборатории осуществляют испытания конкретной продукции или конкретные виды испытаний и выдают протоколы испытаний для целей сертификации. Испытательная лаборатория несет ответственность за соответствие проведенных ею сертификационных испытаний требованиям нормативной документации, а также за достоверность и объективность результатов.

Главным участником работ по сертификации является *эксперт* — лицо, аттестованное на право проведения одного или нескольких видов работ в области сертификации. От его знаний, опыта, компетентности, зависят объективность и достоверность решения о возможности выдачи сертификата.

7.4.2. Участники добровольной сертификации

Добровольная сертификация осуществляется органом, который может быть образован любым юридическим лицом, зарегистрировавшим данную систему и знак соответствия в специально уполномоченном федеральном органе исполнительной власти (Росстандарте). Орган по добровольной сертификации: осуществляет сертификацию продукции, выдает сертификаты, а также на условиях договора с заявителем предоставляет ему право на применение знака

соответствия; приостанавливает либо отменяет действие выданных сертификатов.

Юридическое лицо, образовавшее систему добровольной сертификации, устанавливает правила проведения работ в системе сертификации, порядок оплаты таких работ и определяет участников системы добровольной сертификации. В начале 2017 г. в России в «Реестре зарегистрированных систем добровольной сертификации» зарегистрировано более 1560 систем добровольной сертификации, причем каждая имеет собственный знак.

7.5. Процедура проведения сертификации

7.5.1. Правила сертификации

1. В качестве органа по сертификации или испытательной лаборатории допускаются организации независимо от их организационно-правовых форм и форм собственности, если они не являются изготовителями (продавцами, исполнителями) и потребителями (покупателями) сертифицируемой ими продукции, при условии их аккредитации в установленном порядке.

2. Аккредитацию органа по сертификации и испытательной лаборатории организует и осуществляет Федеральная служба по аккредитации (Росаккредитация) в соответствии с ФЗ «Об аккредитации в национальной системе аккредитации». Результаты аккредитации оформляют аттестатом аккредитации.

3. Если в системе аккредитации несколько органов по сертификации одной и той же продукции (услуги), то заявитель вправе провести сертификацию в любом из них.

4. Сертификация отечественной и импортируемой продукции проводится по одним и тем же правилам.

5. Единый реестр содержит сведения обо всех органах сертификации (испытательных лабораториях).

6. Все документы оформляются на русском языке.

7. При возникновении спорных вопросов в деятельности участников сертификации заинтересованная сторона может подавать апелляцию в орган по сертификации.

7.5.2. Нормативная база сертификации

В основу работ по сертификации положена разветвленная иерархическая система документов.

1. «Договор о Евразийском экономическом союзе» (ЕАЭС), подписанный в столице Казахстана г. Астане 29 мая 2014 г.

2. *Законодательные акты Российской Федерации.* Эта группа документов представлена в Законах РФ, прежде всего, «О техническом регулировании», «Об аккредитации в национальной системе аккредитации».

3. *Нормативные акты Евразийской экономической комиссии.*

4. *Подзаконные акты — постановления Правительства РФ.* Они вводят в действие перечни продукции, подлежащие сертификации и декларированию соответствия, регламентируют отдельные вопросы сертификации и декларирования соответствия.

5. *Классификаторы.* В работах по подтверждению соответствия используются: ОКПД 2, «Товарная номенклатура внешней экономической деятельности ЕАЭС» для обозначения и идентификации импортной и экспортной продукции и пр.

7.5.3. Порядок проведения процедуры сертификации

Сертификация продукции проходит по следующим основным этапам.

1. Подача заявки на сертификацию. Заявитель (юридическое лицо или индивидуальный предприниматель) направляет заявку в соответствующий орган по сертификации.

2. Рассмотрение и принятие решения по заявке. Орган по сертификации рассматривает заявку в определенный срок и сообщает заявителю решение, в котором содержатся все основные условия сертификации.

3. Отбор, идентификация образцов и их испытания. Отбор образцов для испытаний осуществляет орган по сертификации или испытательная лаборатория (указания об этом содержится в технических регламентах ЕАЭС). Испытания проводят на образцах, конструкция, состав и технология изготовления которых должны быть такими же, как у продукции, поставляемой потребителю. Количество образцов, порядок их отбора и хранения устанавливаются в соответствии с нормативной документацией.

Осуществляемая на данном этапе идентификация должна подтвердить подлинность продукции, в частности соответствие наименованию, номеру партии, указанному на маркировке. Испытания проводятся в испытательных лабораториях, аккредитованных на право проведения тех испытаний, которые предусмотрены в нормативной документации, используемых при сертификации данной продукции. Протоколы испытаний представляются заявителю и в орган по сертификации. Копии протоколов испытаний и испытанные образцы подлежат хранению в течение срока действия сертификата.

4. Орган по сертификации после анализа протоколов испытаний, проверки производства осуществляет оценку соответствия продукции установленным требованиям. В случае положительных результатов орган по сертификации оформляет сертификат и регистрирует его. При обязательной сертификации сертификат выдается, если продукция соответствует всем требованиям технических регламентов, установленных для данной продукции. Срок действия сертификата

на серийное производство ограничен, как правило, несколькими годами. Периодически (например, раз в год) выполняется инспекционный контроль. Задача инспекционного контроля убедиться в том, что сертифицированная продукция по-прежнему соответствует установленным требованиям.

7.5.4. Аудит. Аккредитация. Нотификация органов по сертификации

С сертификацией связан процесс аудита. Не вдаваясь в историю термина, заметим, что это важная часть организации системы менеджмента качества.

Существует несколько определений термина «аудит». Наибольший интерес представляет определение, приведенное в ГОСТ Р ИСО 9000-2015: аудит — систематический, независимый и документируемый процесс получения объективных свидетельств и их объективного оценивания для установления степени соответствия критериям аудита. Критерии аудита — совокупность процедур или требований, используемых для сопоставления с ними объективных свидетельств, а свидетельства — данные, подтверждающие наличие или истинность чего-либо. Различают внутренний и внешний аудит. Внутренний аудит проводят силами предприятия с целью подтвердить соответствие системы и технологических процессов требованиям.

По окончании внутреннего аудита, если компания собирается получить сертификат по ИСО 9001, это самый благоприятный момент. Как внутренний, так и внешний аудит качества можно подразделить на три вида.

Аудит продукта как инструмент контроля на оперативном уровне. Задача аудита продукта — оценка соответствия изготовленного продукта установленным требованиям качества. Кроме проверки качества конструктивных элементов, узлов и конечного продукта с точки зрения заказчика, выполняется также проверка: документации по изготовлению; процесса производства и машин, а также средств контроля.

Аудит процесса как инструмент контроля среднего уровня руководства. Задача аудита процесса — проверка метода и процесса изготовления. Для того, чтобы управлять процессом, определяются прямые и косвенные параметры. Таким образом, улучшения качества можно достичь с учетом двух факторов: совершенствование поведения сотрудников (человеческий фактор), повышение потенциала метода и процесса (технический фактор). Цель: гарантия безопасности процесса и его улучшение.

Системный аудит качества как инструмент контроля высшего руководящего уровня. Данный вид нацелен на организацию предприятия посредством проверки целесообразности, соответствия и достаточной эффективности всех мероприятий по контролю качества, проверки ведения документации, касающейся мероприятий по его

управлению, подтверждения выполнения требований стандарта ИСО 9001 и определения слабых мест организации и отклонений от нормы. Это позволяет выдвигать предложения по проведению корректировочных мероприятий, касающихся организации и техники, улучшению качества продуктов и процессов.

Федеральный закон «О техническом регулировании» от 27 декабря 2002 г. № 184-ФЗ предусматривает аккредитацию органов по сертификации в национальной системе. Федеральный закон «Об аккредитации в национальной системе аккредитации» регулирует отношения, возникающие между участниками национальной системы аккредитации, иными установленными настоящим Федеральным законом лицами в связи с осуществлением аккредитации в национальной системе аккредитации. Наличие аккредитации у органа по сертификации является основанием для осуществления сертификации в законодательно регулируемой сфере.

Аккредитация — официальное признание со стороны независимого органа (органа по аккредитации), о том, что организация по сертификации имеет право на деятельность по сертификации.

Аккредитация — одна из форм оценки соответствия. Слово «аккредитация» происходит от латинского *accrēdere* — доверять, быть уверенным в чем-либо. Таким образом, заинтересованные лица и организации могут быть уверены в том, что аккредитованные органы предоставляют им услуги компетентно и надежно.

Организационную деятельность по аккредитации поддерживается различными международными и региональными организациями, самая авторитетная из них Международный форум по аккредитации (*International Accreditation Forum — IAF*). *IAF* — это всемирная ассоциация органов по аккредитации в области оценки соответствия.

В 1977 году создана *ILAC (International Laboratory Accreditation Cooperation)* — международная организация по аккредитации лабораторий для развития международного сотрудничества в целях содействия развитию торговли путем продвижения принятия результатов аккредитаций и калибровочных испытаний. По инициативе *IAF* и *ILAC* 9 июня отмечается как Всемирный день аккредитации. Аккредитация позволяет заинтересованной стороне принять осознанное решение при выборе лаборатории, поскольку аккредитация демонстрирует ее компетентность, беспристрастность и возможности.

В 2011 г. в России создана Федеральная служба по аккредитации (Росаккредитация), на сайте которой говорится, что «аккредитация в национальной системе аккредитации осуществляется в целях обеспечения доверия к результатам оценки соответствия и создания условий для взаимного признания государствами — торговыми партнерам Российской Федерации результатов оценки соответствия». В 2013 г. принят Федеральный закон «Об аккредитации в национальной систе-

ме аккредитации». В июне 2017 г. Росаккредитация присоединилась к Договоренностям о взаимном признании Азиатско-Тихоокеанской организации по аккредитации лабораторий (*APLAC MRA*). Затем Россия стала членом Международной организации по аккредитации лабораторий — *International Laboratory Accreditation Conference (ILAC)* и Международного форума по аккредитации *IAF*.

В качестве системного решения предлагается ввести процедуру нотификации органа по сертификации после их аккредитации. Нотификация (от лат. *notificare* — делать известным) рассматривается как официальное уведомление об органах по оценке соответствия, работающих в рамках соответствующих директив [12].

7.6. Сертификация систем качества

При сертификации системы менеджмента качества (СМК) аккредитованная организация проверяет СМК на ее соответствие положениям стандарта и при наличии соответствия выдает сертификат. В последние годы в мире стремительно растет число компаний, сертифицировавших свои системы качества на соответствие стандартам ИСО серии 9000, что связано как с внешними причинами (требование заказчика, повышение конкурентоспособности), так и внутренними.

К важным *внешним причинам* следует отнести тот факт, что многие зарубежные органы и системы сертификации включают сертификацию системы качества в процедуры сертификации продукции, что позволяет существенно увеличить цену на продукцию, позволяет предприятию претендовать на льготные условия кредитования и страхования (при страховании ущерба за некачественную продукцию), иметь лучшие шансы на победу в международных тендерах, получать преимущества при размещении госзаказа.

Существует ряд *внутренних причин*, побуждающих предприятия к сертификации систем качества: более полное удовлетворение требований потребителей; сокращение издержек производства; сокращение числа проверок со стороны потребителей и надзорных органов; улучшение культуры производства; повышение ответственности за качество.

Как выше отмечено, по Э. Демингу качество на 94% зависит от системы и только на 6% от исполнителя. Сегодня на рынке промышленно развитых стран, по существу, конкурируют не продукция, а системы качества.

Правила и порядок сертификации систем качества

Сертификация систем качества может быть как обязательной, так и добровольной. Главнейший объект такой сертификации — деятельность

по управлению и обеспечению качества, которую проверяют и оценивают поэлементно на соответствие требованиям ГОСТ Р ИСО 9001 согласно заявленной модели. Независимо от принятой модели объектами проверки являются:

- ответственность руководства;
- система качества;
- анализ контракта;
- управление документами и данными;
- закупки;
- управление продукцией, поставляемой потребителем;
- управление процессами;
- контроль и проведение испытаний;
- управление контрольным, измерительным и испытательным оборудованием;
- статус контроля и испытаний;
- управление несоответствующей продукцией;
- корректирующие и предупреждающие действия;
- погрузочно-разгрузочные работы, хранение, упаковка и поставка;
- внутренняя проверка качества;
- подготовка кадров;
- статистические методы.

От аудита качества требуется фактическая проверка рабочих мест и наблюдение за проведением работ. Сертификация системы качества включает в себя этап организации работ (предсертификационный этап) и три этапа сертификации. Орган по сертификации передает заявителю следующие документы:

- комплекс исходных форм документов для проведения предварительной оценки системы качества;
- перечень документов, представляемых на сертификацию системы качества.

В частности, в состав исходных данных для предварительной оценки СК входят сведения о предприятии, используемой технической документации, показателях качества изготовления продукции (коэффициент дефектности, уровень гарантийных ремонтов и т. д.).

Сертификация обычно проходит в три этапа:

- I — предварительная оценка системы качества;
- II — проверка и оценка системы качества в организации;
- III — инспекционный контроль за сертифицированной системой качества.

На I этапе комиссия проводит анализ представленных документов для предварительной оценки готовности заявителя к сертификации системы качества. Этап завершается подготовкой письменного заключения о возможности проведения II этапа.

Если на I этапе проводится заочная оценка деятельности по управлению и обеспечению качества, то на II этапе проводится обследование проверяемой организации по согласованной с ней программе.

Несоответствия, выявленные в ходе проверки, подразделяются на значительные (например, отсутствуют необходимые элементы) и мало-значительные (например, несущественное отклонение от отдельных требований стандарта).

Несоответствия могут быть сняты главным экспертом, если организация представляет доказательства необоснованности обнаруженных экспертом несоответствий или устраняет несоответствие в ходе проверки.

Результатом проверки и оценки системы качества может быть один из трех вариантов:

- система полностью соответствует стандарту;
- система в целом соответствует стандарту, но обнаружены отдельные малозначительные несоответствия по элементам системы;
- система содержит значительные несоответствия.

Решение о рекомендации или отказе системы качества к сертификации принимает главный эксперт на основе акта о результатах проверки и оценки системы качества. При положительных результатах орган по сертификации оформляет проект сертификата соответствия системы качества и проект разрешения (лицензии) на применение знака соответствия. Указанные документы вместе с актом проверки представляют Техническому центру Регистра. Одновременно орган по сертификации и организация заключают договор на проведение инспекционного контроля.

Технический центр Регистра принимает окончательное решение о регистрации сертификата в реестре Регистра и выдаче лицензии на применение знака соответствия.

Инспекционный контроль (этап III) устанавливают на весь период действия сертификата и осуществляют не менее одного раза в год. При проведении контроля эксперты проверяют наличие корректирующих мероприятий и их результаты по данным предыдущих проверок на основе замечаний о несоответствиях. Как и при сертификации продукции и услуг (работ), в ряде случаев возникает необходимость в проведении внепланового инспекционного контроля.

Несмотря на весьма значительные успехи тех, кто использует системы качества по стандартам ИСО серии 9000, все большее значение в промышленности придается развитию систем качества путем реализации принципа *TQM*, некоторые из которых используются в последних версиях стандартов ИСО серии 9000. Эти стандарты совместимы со стандартами ИСО серии 14000.

* * *

В 1992 г. был принят Закон РФ «О защите прав потребителей». Именно в этот период российский рынок стали заполнять импортные товары, среди которых были недоброкачественные, а иногда и опасные. Эффект сертификации, который, к сожалению, трудно подсчитать, определяется предотвращением затрат общества на лечение, реабилитацию пострадавших и восстановление объектов. Вместе с тем за время существования системы сертификации выявился ряд недостатков и проблем. Особенно много проблем возникает в связи с интеграцией экономики страны в мировую хозяйственную систему.

Сертификация связана со следующими направлениями.

1. Гармонизация отечественных правил с международными и региональными правилами.

2. Совершенствование методов сертификации, в частности совершенствование схем сертификации.

3. Обеспечение обратной связи в деятельности по сертификации — совершенствование системы сбора информации об эффективности сертификации. Такая информация должна обеспечивать получение сведений о потенциально опасной продукции со статистическими данными о несчастных случаях, связанных с ее применением.

4. Совершенствование инфраструктуры сертификации. Указанное совершенствование будет осуществляться за счет более равномерного распределения органов по сертификации и испытательных лабораторий по территории России, расширения сети аккредитованных испытательных лабораторий.

5. Приближение сертификации импортируемой продукции к местонахождению изготовителей и поставщиков.

6. Расширение участия России в международных системах сертификации и международная аккредитация отечественных ИЛ и сертификационных центров. Это будет способствовать признанию отечественных сертификатов за рубежом и расширит международную торговлю.

7. Расширение практики сертификации систем качества. Улучшение экономического состояния предприятий в сочетании с побудительными мотивами сертификации систем качества.

В РФ и Евразийском экономическом союзе органы, осуществляющие процедуру сертификации, называют органами по сертификации, а в ЕС — органами по оценке соответствия. Применительно к каждому из трех состояний продукции (процесс создания, реализация, сервисное обслуживание) должны быть определены наиболее эффективные механизмы контроля.

Что касается сертификации СМК, то имеет смысл прислушаться к мнению А. Езраховича: «Мой совет — найти надежный орган сертификации, зарекомендовавший себя на рынке. Конечно, будет лучше,

если такой орган имеет международную аккредитацию. А также отобрать аудиторов по собственным критериям, учитывающим особенности организации и ее задачи. При этом важно, чтобы такие аудиторы разговаривали не в терминах стандартов, а в терминах улучшения, понятных бизнесу. Уверен, что сертификат, выданный таким органом, станет для вашей организации источником добавленной ценности, а следовательно, дополнительным фактором повышения ее качества и достижения устойчивого успеха».

Вопросы для самопроверки

1. Дайте определение сертификации, сертификата, декларации о соответствии.
2. Какая организация формирует международные требования к терминам и определениям в области сертификации?
3. Что такое система сертификация?
4. Объясните причины разделения сертификации на обязательную и добровольную.
5. Какие особенности имеет процесс сертификации систем качества?
6. Что такое аккредитация органов по сертификации и испытательных лабораторий?
7. Назовите основные методы оценки соответствия, применяемые при сертификации.
8. Дайте определение аудита качества.
9. Какие виды аудитов качества вы знаете?
10. Что означает нотификация органа по сертификации?

8. СТАТИСТИЧЕСКОЕ МЫШЛЕНИЕ

Настанет день, когда статистическое мышление будет необходимо для гражданина так же, как умение читать и писать.

Г. Уэллс

8.1. Статистическое мышление и вирусная теория менеджмента

Философские категории необходимости и случайности: необходимость вытекает из внутренней сущности явлений и есть то, что обязательно должно произойти в данных условиях; случайность имеет свое основание в воздействии на данное явление других явлений, и есть то, что может быть и может и не быть. Аристотель понимал случайное, как возможное, как уклонение от законов природы (например, рождение урода) и как нечто происшедшее непреднамеренно (например, находка клада).

Учение о всеобщей причинной обусловленности всех явлений называется детерминизмом (лат. *determinare* — определять). Крайним выражением его служит высказанное в 1776 г. П. Лапласом утверждение, что если бы были известны начальные движения всех молекул окружающего мира, то, пользуясь законами механики, можно было бы предсказать будущее.

В его «Опыте философии теории вероятностей» читаем: «Мы должны рассматривать настоящее состояние вселенной как следствие ее предыдущего состояния и как причину последующего. Ум, которому были бы известны для какого-либо момента все силы, одушевляющие природу, и относительное положение всех ее составных частей, если бы вдобавок он оказался достаточно обширным, чтобы подчинить эти данные анализу, обнял бы в одной формуле движения величайших тел вселенной наравне с движениями легчайших атомов: не осталось бы ничего, что было бы для него недостоверно, и будущее, так же как и прошедшее, предстало бы перед его взором».

По Лапласу, в мире нет места случаю, законы природы подразумевают строгий детерминизм и полную предсказуемость, хотя несовершенство наблюдений и требует применения методов теории вероятностей. Якоб Бернулли, провозгласивший: «Вероятность есть степень достоверности, и отличается от нее, как часть от целого», также отрицал случайность, объясняя ее действием неизвестных причин и писал: «Случайность главным образом зависит от нашего знания», и, таким образом, предвосхитил знаменитое изречение Лапласа. Ньютон, не признавая случайность, утверждал, что накопление случайных возмущений в системе мира уничтожается актом божественной информации.

Русский ученый естествоиспытатель-дарвинист К. А. Тимирязев, писавший в своем «Кратком очерке теории Дарвина»: «...Что такое случай? Пустое слово, которым прикрывается невежество, уловка ленивого ума. Разве случай существует в природе? Разве он возможен? Разве возможно действие без причины?»

Действительно, всякое событие имеет вполне определенную причину, которая является следствием другой причины, и т. д. Если такая цепочка причин и следствий сложна и не поддается обозрению, то событие становится случайным. Один из авторов закона больших чисел Э. Борель выразил эту мысль так: «Сущность явлений, называемых нами случайными, заключается в их зависимости от причин, слишком сложных для того, чтобы мы могли их все выявить и изучить» [*Борель Э. Случай / пер. с франц. М.-Пг.: Госиздат, 1923. 216 с.*].

Идею, лежащую в основе классической вероятности, использовал еще в начале XVII в. И. Кеплер, который заявил, что планеты «вероятно» никогда не вернуться в свое положение, существовавшее в момент творения, и конец света вряд ли наступит. В 1860-е гг. Дж. Максвелл пришел к выводу, что в принципе движение данной молекулы непредсказуемо. Мнение Лейбница: «Случайные вещи — это те, полное доказательство которых превосходит всякий человеческий разум».

Ж. Пуанкаре в начале XX в. показал, что сколь угодно малые неопределенности начального состояния системы могут со временем усиливаться и предсказание отдаленного будущего становится в принципе невозможным: «Совсем незначительная причина, ускользнувшая от нашего внимания, вызывает значительный эффект, который мы не можем не заметить, и тогда мы говорим, что этот эффект вызван случаем. Если бы мы точно знали законы природы и положение Вселенной в начальный момент, то могли бы точно предсказать положение той же Вселенной в последующий момент... Но это не всегда так; может случиться, что... малые различия в начальных условиях вызовут очень большие различия в конечном явлении. Малая ошибка в первых порождает огромную ошибку в последнем. Предсказание становится не-

возможным, и мы имеем дело с явлением, которое развивается по воле случая».

В начале XX столетия пришло понимание того, что мировые законы носят вероятностный характер. Сначала А. Эйнштейн показал, что законы Ньютона верны лишь приближенно для медленно движущихся не очень больших тел и на не очень больших расстояниях. Затем В. Гейзенберг и Э. Шредингер сформулировали основные положения квантовой механики. Эти открытия изменили наше понимание того, как устроена природа, оказалось, что в микромире в принципе работают только вероятностные законы.

Представление о том, что мы живем в детерминированном мире, в котором знание состояния системы в определенный момент позволяет однозначно описать будущее удалось поколебать одному из основоположников неравновесной термодинамики Илье Пригожину и его ученикам. Они показали, что все гораздо сложнее, поскольку нестабильность порождает неоднозначность и будущее состояние системы в лучшем случае можно описать только вероятностно. Оказалось, что неопределенность присуща не только ограниченности наших знаний и несовершенству наших инструментов, но и самим моделям мира. Появились понятия о вероятностном мире и статистическом мышлении.

Последующее развитие науки показало, что случайность в поведении систем носит принципиальный характер и от нее нельзя избавиться, собирая больше информации. Порождаемую таким образом случайность стали называть хаосом, который налагает принципиальные ограничения на возможность прогнозирования, но в то же время предполагает причинные связи там, где раньше их никто не подозревал. Специалист по процессам управления качеством Д. Уилер опубликовал статью под названием: «Два плюс два равно четырем только в среднем» [Wheeler D. J. Two Plus Two is Only Equal to Four on the Average // Quality Digest, 1996].

В литературе приводится шутка, которой начал свой доклад в Московском математическом обществе в 1960 г. американский математик Джозеф Дуб: «Часто говорят, что теория вероятностей является частью математики, но это утверждение ошибочно. Следует говорить о том, что математика является частью теории вероятностей». Как и в каждой шутке в этой тоже только «доля шутки».

Вскоре после великих открытий в физике Шухарт установил фундаментальную роль вариабельности (*англ. variability* — изменчивость) мира и предложил способ минимизировать ее влияние на принимаемые решения. Термин *изменчивость* лучше применять к естественным системам (например, изменчивость климата), а *вариабельность* — к искусственным (например, вариабельность параметров или процессов).

Это привело к созданию концепции статистического мышления (это понятие ввел Деминг) и создало предпосылки для современных систем менеджмента качества. Истории возникновения статистического мышления и основам теории вариабельности посвящена глава в руководстве по статистическому управлению процессами [Адлер Ю. П., Шнер В. Л. Практическое руководство по статистическому управлению процессами. М.: Альпина Паблишер, 2019. 234 с.].

В повседневной жизни мы мыслим статистически, подчас не подозревая об этом. Это происходит, когда принимается решение не на основе точечных значений, а с учетом разброса параметров процессов. Например, на работу мы выходим с определенным запасом времени, чтобы уменьшить вероятность опоздания. Чем важнее поездка, чем большую цену придется заплатить за опоздание, тем больший запас времени надо иметь.

Время, которое необходимо затратить на дорогу, зависит от большого числа причин. Предположим, наш путь состоит из нескольких отрезков: от квартиры до метро, проезд в метро, далее — автобус и, наконец, от остановки автобуса до учреждения. Время нахождения на первом участке (квартира — метро), в свою очередь, зависит от того работает ли в доме лифт, погоды и времени года и соответствующих погодных условий (можно ли быстро шагать или приходится семенить, рискуя всякий раз упасть, и т. д.). И если даже в метро, справедливо признаваемым самым надежным видом транспорта, возможен разброс времени (разные интервалы времени между поездками, внезапные остановки в тоннеле), то что говорить о наземном средстве передвижения, если это «средство» угодит в пробку.

Дорога от дома до работы представляет собой сумму большого числа случайных величин, и можно предположить, что время в пути является случайной величиной, имеющей нормальное распределение. Тогда, если выйти из дому в расчете на среднее время, которое требуется, чтобы добраться до места работы, то вероятность опоздания составит 0,5. Применяя известное правило трех сигм, можно рассчитать необходимый запас времени, при котором вероятность опоздания не превысит 0,01.

Директор американского Института качества и производительности Мирон Трайбус в 1980-е гг. выдвинул «Вирусную теорию менеджмента» задолго до появления компьютерных вирусов. Суть ее в том, что если устранить источники вариабельности («вирусы») на каждом этапе производства, то результат станет более предсказуемым, а производство — более управляемым. Вирусы невидимы, их трудно обнаруживать, и еще труднее излечиться. Точно так же обстоит дело и с вирусами вариабельности, а менеджер в данной ситуации подобен врачу. Трайбус рассматривает характерную ситуацию на производстве. Металл, полученный литейным цехом, неоднороден, а технологиче-

ский процесс нестабилен, и, таким образом, он «заражен вирусом изменчивости». В результате мы получаем отливки, различающиеся по составу, размерам, твердости и структуре. Когда такие отливки поступают на механическую обработку, то в скором времени этот вирус variability заражает станки.

Различия в твердости, например, приводят к неодинаковому износу инструментов. Инфекция распространяется в итоге на склад инструментов, где теперь требуется хранить больший запас, чем это было бы необходимо, если бы срок службы инструмента можно было точно предсказать. Различия в компонентах служат причиной variability в работе собранных из них изделий, часть из которых идет в брак или требует переделки.

В сфере обслуживания то же самое. Нестабильность расписания городского транспорта приводит к тому, что отправляться по делам необходимо с запасом времени. Теряется масса времени, все время приходится «или ждать, или догонять», что, как известно, самое противное. Представьте подобные потери во всех сферах деятельности общества, и вы получите причину ухудшающейся экономики. Итак, variability — это вирус, которым инфицируется каждый процесс.

Происхождение вирусов variability возможно по двум причинам: результатом функционирования самой системы (общие причины) и бороться с ними может только ее хозяин (руководитель организации), или связаны с деятельностью исполнителей (особые причины), которые в силах справиться с влиянием этих вирусов. Доля таких вирусов может достигать 20%. Сербский предприниматель Д. Кузманович, заметил, что высокое качество так же имеет вирусную природу: если один заказчик доволен, он об этом рассказывает своим друзьям и знакомым и т. д. [Аронов И. З. Особенности сербского менеджмента глазами российского профессора // Стандарты и качество, 2014, № 9, с. 88–90]. От себя добавим, что слух о низком качестве распространяется еще быстрее.

Чтобы судить о качестве продукции, недостаточно измерять конкретные значения параметров необходимо знать их распределения. В этой связи заметим, что требования к продукции или услуге в виде точных числовых характеристик устаревают. Лучше их формулировать так: мощность двигателя — 100 ± 1 кВт, содержание примеси в продукте — $0,1 \pm 0,01\%$, т. е. гарантировать диапазон, в котором может проявиться неизбежная случайность. Петр Капица вспоминал своеобразный характер мышления Резерфорда: «Чтобы он слушал с интересом, надо было говорить не только о результатах, но и об их точности». Точность — важнейшая характеристика информации, в том числе, и результатов статистического оценивания.

Статистическое мышление соответствует новому стилю менеджмента, без которого невозможно добиться сколько-нибудь устой-

чивого развития в современных условиях. Это философия, основанная на следующих фундаментальных принципах:

- любая работа представляет собой последовательность взаимосвязанных процессов;
- во всех процессах есть вариации;
- ключ к успеху — в снижении вариаций.

Стало общепризнанным, что эффективная система менеджмента качества должна базироваться на цикле Шухарта—Деминга, на каждом этапе которого следует применять принципы статистического мышления.

Статистическое мышление — это основанный на теории вариабельности (изменчивости) способ принятия решений о том, надо или не надо вмешиваться в процесс, и если надо, то кому и когда. В пособии [4] приводится более общее и лаконичное определение: «Статистическое мышление — это умение принимать системные решения в мире, подверженном вариабельности». Принципы системного подхода:

- сегодняшние проблемы есть порождение вчерашних «решений»;
- легкий выход обычно приводит нас назад;
- причины и следствия разведены во времени и пространстве;
- винить некого.

Последнее означает, что винить надо себя! Примеров не системного подхода можно приводить сколько угодно. В этой связи укажем на идиоматическое выражение «Эффект кобры», применяемое для характеристики ситуации, когда принятый для решения без должного анализа проблемы способ зачастую ведет к противоположному результату.

Термин «эффект кобры» возник во времена английского колониального правления в Индии. Губернатор, чтобы избавиться от ядовитых змей, назначил награду за каждую сданную голову змеи. Вначале количество змей снизилось в результате их уничтожения. Однако потом индийцы начали разводить кобр, чтобы получать премию. Когда премия за убитую кобру была отменена, обесценившихся змей выпустили на волю, и оказалось, что их общее количество возросло.

Еще пример: уничтожение воробьев, масштабная кампания по борьбе с сельскохозяйственными вредителями, организованной в Китае в рамках политики Большого скачка (1958–1962). Уничтожение воробьев привело к тяжелым нарушениям экологического баланса, в результате которых резко увеличилась популяция насекомых, истреблявших урожаи, что привело к голоду. Можно вспомнить неудачу проводившейся в позднем СССР антиалкогольной кампании.

В книге немецкого экономиста Хорста Зибера (1938–2009) [*Зиберт Х. Эффект кобры: как избежать заблуждений в экономической политике* / пер. с нем. М.: Новое издательство, 2005. 270 с.] приводится много примеров из сферы экономики и политики, когда вла-

сти, принимая те или иные меры регулирования, не учитывали каким образом будут реагировать те лица, на которых рассчитаны эти меры воздействия.

Статистическое управление процессами — это основанная на статистическом мышлении и теории варибельности методология постоянного совершенствования процессов с использованием как статистических, так и иных методов.

8.2. Эволюция статистических исследований

Одна из глав романа И. Ильфа и Е. Петрова «Двенадцать стульев» начинается словами «Статистика знает все» и ироническими рассуждениями на эту тему: «Известно, сколько какой пищи съедает в год средний гражданин республики. Известно, сколько этот средний гражданин выпивает в среднем водки с примерным указанием потребляемой закуски. Известно, сколько в стране охотников, балерин, револьверных станков, собак всех пород, велосипедов, памятников, девушек, маяков и швейных машинок. Как много жизни, полной пыла, страстей и мысли, глядит на нас со статистических таблиц! ... От статистики не скроешься никуда. Она имеет точные сведения не только о количестве зубных врачей, колбасных шприцев, дворников, кинорежиссеров, проституток, соломенных крыш, вдов, извозчиков и колоколов, — но знает даже, сколько в стране статистиков. И одного она не знает. Не знает и не может узнать. Она не знает, сколько в СССР стульев».

Если говорить серьезно, то статистические исследования ведутся с незапамятных времен. В Китае за пять тысяч лет до н.э. проводился подсчет населения. По мере развития производительных сил требовалось все больше информации об источниках сырья, рынках труда и сбыта продукции. Начиная с XVI в., в некоторых странах начинают регулярно собирать сведения по рождаемости и смертности населения. По мере накопления опыта разрабатывались приемы организации, учета и обработки собранных сведений и постепенно сформировалась отрасль знаний, названная впоследствии «статистикой».

Этот термин происходит от латинского слова *status* и производных от него (нем. *Statistik*, от итал. *Stato* — государство), что в Средние века означало политическое состояние государства, для управления которым необходима разнообразная информация. Зарождение статистики как науки относят ко второй половине XVII в. Она возникла почти одновременно в Германии и Англии и развивалась по двум направлениям. В Германии это было основанное Г. Конрингом (1606–1681) государственное описание территории, населения, политического устройства страны без анализа закономерностей. Термин «Статистика» впервые употреблен немецким ученым Готфридом Ахенвалем

(1719–1772) в 1749 г. в качестве названия учебной дисциплины, преподаваемой в университетах Германии.

В Англии Уильям Петти (*Petty*, 1623–1687) основал «политическую арифметику» — выявление закономерностей в изучаемых явлениях на основе большого числа наблюдений. В своем сочинении *Political arithmetic* Петти раскрывает содержание входящих в него слов: «политическая» — самое значимое — земля, люди, затем — строения и т. д.; «арифметика» отражает важность количественных характеристик изучаемых объектов. На основе количественно анализа фактов предлагались способы решения возникающих проблем (например, в случае убытков от эпидемий — вкладывать средства в строительство больниц [Большая Российская энциклопедия, М., 2014. Т. 26. С. 690].

На деле это часто означало подбор по заданию политиков требуемых им данных. И ныне каждый день на нас пытаются повлиять, чтобы сподвигнуть на покупку «нужного» продукта или на выбор «правильного» кандидата: «Благодаря пасте “Чистые зубы” образование кариеса снижается на 23%»; «Политика *N* поддерживает 85% граждан»... Статистика оказывается объектом прямого манипулирования, когда она является частью процессов принятия решений государственного масштаба.

Немецкий и российский историк и статистик Август Людвиг Шлецер (1735–1809) в 1804 г. так определил связь истории и статистики: «История — это движущаяся статистика, а статистика — это застывшая история». В результате синтеза «государствоведения» и «политической арифметики» сформировалась наука «статистика». Немецкий статистик В. Бутте в 1808 г. дал одно из первых определений статистики: «Статистика это наука о познании и должном оценивании статистических данных, об их сборе и систематическом анализе».

Серьезные статистические исследования в нашей стране начались после того, как в 1863 г. по распоряжению Александра II при министерстве внутренних дел образован Центральный статистический комитет (ЦСК), который возглавил известный ученый П. Семенов-Тянь-Шаньский. Через три года вышел «Статистический временник Российской Империи», а в 1897 г. под руководством П. Семенова-Тянь-Шаньского проводилась первая всеобщая перепись населения.

Вскоре после Октябрьской революции было образовано Центральное статистическое управление (ЦСУ). При этом выяснилось, что независимость результатов статистических расчетов не устраивала власть большевиков. Для начала в ЦСУ провели «чистку» специалистов буржуазного происхождения. По словам советского экономиста К. В. Островитянова В. И. Ленин «целиком и полностью подчинил статистические приемы «классовому анализу деревни». (Цит. по: *Шейнин О. Б.* Воспоминания и раздумья на закате. Берлин, 2013. 74 с.) Наверно, правильнее сказать, не подчинил, а приспособил.

В 1930-е гг. обнаруживается все более сильное расхождение между реальными и официальными цифрами, т. е. между статистиками и политиками, должность руководителя ЦСУ стала расстрельной и вплоть до «хрущевской оттепели» статистикой заниматься было просто опасно. По мнению французских статистиков А. Блюма и М. Меспуле, И. Сталин «превратил использование чисел в одно из центральных оснований своей политической аргументации». «Статистика была источником информации и средством принятия решения, но она была также и орудием власти, так как должна была подтвердить точность государственной политики. Эта функция чисел наглядным образом проявляется в осуществлении планирования: здесь одно и то же число является одновременно и целью, которой необходимо достичь, и доказательством действия. Между тем и другим не должно быть расхождения» [Блюм А., Меспуле М. Бюрократическая анархия: статистика и власть при Сталине. М.: РОССПЭН, 2008. 328 с.]

Традиция скрывать данные или закрывать на них глаза, сохранилась и поныне. До сих пор у специалистов разных отраслей знания статистика ассоциируется не с инструментом, необходимым в работе, а скорее с изречением английского государственного деятеля XIX в. Бенджамина Дизраэли: «Есть ложь, наглая ложь и статистика». Об этом афоризме напоминает заглавие книги Дарелла Хаффа «Как лгать с помощью статистики» [82]. Причем в конце не стоит знак вопроса, т. е. это утверждение, сборник, так сказать, советов. Не случайно в ироническом смысле используется термин «официальная статистика», подчеркивающий тот факт, что на самом деле истинные данные отличаются от тех, что публично оглашаются.

Подобно «Доброму человеку из Сезуана» Бертольда Брехта мы привыкли к тому, что «дурной конец заранее отброшен, он должен, должен, должен быть хорошим». Вспоминается реплика одного из персонажей кинокомедии «Служебный роман»: «Если бы не было статистики, то мы бы и не узнали о том, как мы хорошо живем». Как представители инженерного мира, так и гуманитарных профессий, скептически относятся к выводам теории вероятностей. Чего стоит выражение Т. Д. Лысенко: «Наука — враг случайностей». Наша страна дорого заплатила за такие убеждения.

А. Н. Колмогоров заметил, что математическая статистика, как и закон — «что дышло: куда повернул, то и вышло». Чтобы это дышло (так в старину называли одиночную оглоблю в упряжке лошадей или другое приспособление для управления транспортным средством) поворачивать на пользу, а не во вред, нужно, кроме математической культуры, иметь известную моральную добропорядочность.

Математическая статистика выделяется из теории вероятностей в самостоятельную науку, хотя основные методы рассуждений в ней те же самые. Дело в том, что на практике распределение наблюдаемой

случайной величины редко бывает известно полностью. На результаты практически любого научного эксперимента влияют неучтенные в модели факторы, накладывается случайный шум. Методы математической статистики позволяют извлекать полезную информацию из зашумленных данных.

Иными словами, статистическая модель описывает такие ситуации, когда имеется неопределенность в задании распределения выборки, и задача математической статистики состоит в том, чтобы уменьшить эту неопределенность, используя информацию, полученную экспериментально.

Общие черты статистического метода в различных областях знания сводятся к подсчету числа объектов, входящих в те или иные группы, рассмотрению распределения количественных признаков, применению выборочного метода. В любом случае это связано с информацией — данными, которые определенным образом обработаны, интерпретированы и имеют смысл (отличный от самого факта наличия данных). Например, анализ крови — для врача-специалиста — информация, для не специалиста это — просто данные. Различие между информацией, знанием и пониманием иногда представляется в виде информационной иерархии *DIKW* (англ. *data, information, knowledge, wisdom* — данные, информация, знания, мудрость), где следующий уровень добавляет определенные свойства к предыдущему. Данные — это разнородные символы, информация — это данные, имеющие смысл и понятные специалистам, знание — это определенным образом обработанная и структурированная информация, которую можно использовать для принятия решений, наконец, мудрость — это основанная на знании способность создавать новое знание и принимать решения в условиях неопределенности. Конечно, границы между этими категориями очень условны.

Великому физика У. Томсону принадлежит такое определение: «Статистика — это математическая теория того, как узнать нечто о мире через опыт». Математическая статистика предполагает вероятностную природу данных и вывод, сделанный на основе статистики, формулируется в терминах теории вероятностей.

Задачи математической статистики в известной мере являются обратными к задачам теории вероятностей. Если в теории вероятностей мы считаем заданной вероятностную модель случайного явления и делаем расчет вероятностей интересующих нас событий, то в математической статистике исходим из того, что вероятностная модель не задана (или задана не полностью), а в результате эксперимента стали известны реализации каких-либо случайных событий. На основе данных испытаний математическая статистика подбирает подходящую вероятностную модель для рассматриваемого явления или процесса.

Например, постановка задачи теории вероятностей: вероятность выпадения «герба» при подбрасывании монеты известна и равна p . Какова вероятность того, что при n подбрасываниях монеты герб выпадет k раз? Постановка задачи математической статистики. Монету подбрасывали n раз, и «герб» выпал k раз. Что можно сказать о вероятности выпадения герба при одном подбрасывании?

Считается, что как наука математическая статистика начинается с работ немецкого математика К. Гаусса (1777–1855), который на основе теории вероятностей исследовал и обосновал метод наименьших квадратов, созданный им в 1795 г. и примененный для обработки астрономических данных.

В 1902 г. вышел первый номер журнала *Biometrika* с подзаголовком «Журнал для статистического изучения биологических проблем». Цель биометрической школы, как писал основатель и многолетний издатель журнала Карл Пирсон (1857–1936) «преобразовать статистику в ветвь прикладной математики... обобщить, отбросить или обосновать скудные методы старой школы политических и социальных статистиков, и, в общем, преобразовать статистику Англии из спортплощадки для любителей и спорщиков в серьезную отрасль науки».

В журнале публиковались работы, посвященные постановке математических задач в статистике. К. Пирсон разработал теорию корреляции, критерии согласия, алгоритмы принятия решений и оценки параметров. В его книге «Грамматика науки» статистика названа царницей наук, использование статистических методов в любой сфере человеческой деятельности, по мнению К. Пирсона, может служить критерием научности. Символично, что «Грамматика науки» предшествовала статистической революции в физике. Природа знания такова, что оно всегда «одевается в статистические одежды».

В 1930-е гг. американец Ежи Нейман (1894–1981) и сын К. Пирсона Эгон Пирсон (1895–1980) развили общую теорию проверки статистических гипотез, доказав лемму о статистической проверке гипотез, которую часто называют фундаментальной леммой математической статистики. Советские математики А. Н. Колмогоров (1903–1987) и Н. В. Смирнов (1900–1966) заложили основы непараметрической статистики. Непараметрическая статистика началась с критерия Колмогорова, предназначенного для проверки согласия выборочного распределения с заданным теоретическим. В годы Второй мировой войны американец А. Вальд (1902–1950) построил теорию последовательного статистического анализа.

Всесоюзное совещание статистиков в 1954 г. приняло решение, что статистика — это одна из экономических наук, а математическую статистику является отраслью математики [58, 69].

В итоге к 1960-м гг. в нашей стране сформировалась математическая статистика, в которой были получены интересные математиче-

ские результаты, но по ним трудно дать практические рекомендации. Тогда же появился термин **«прикладная статистика»** для обозначения научной дисциплины, призванной решать практические задачи анализа статистических данных.

Сегодня мы можем дать такое определение: **прикладная статистика** — научная дисциплина о понятиях, приемах и математических методах и моделях, предназначенных для сбора и обработки статистических данных с целью получения научных и практических выводов.

Хочется привести и определение, данное Б. В. Гнеденко: «Математическая статистика является наукой о методах количественного анализа массовых явлений, учитывающей одновременно и качественное своеобразие этих явлений».

Для «чистого» математика решить задачу означает доказать существование решения, указывать путь решения необязательно. «Прикладнику» важно не только знать путь решения, но и в некоторых случаях, чтобы путь этот был не слишком трудным, например, не требовал чрезмерных затрат времени и иных ресурсов. В прикладной статистике отражаются взаимоотношения математиков и инженеров.

Польский математик Гуго Штейнгауз (1887–1972) пишет: «Более четверти века сотрудничая с естествоиспытателями и врачами, я вижу, как из года в год растет понимание роли математических методов в соответствующих сферах. Но, с другой стороны, нельзя не заметить и другие явления, из которых сильнее всего меня беспокоит недостаток постоянной связи между страной естествоиспытателей и островом, населенным математиками. Даже в тех редких случаях, когда туристу-естествоиспытателю удастся высадиться на этот остров, никто из островитян не позаботится, пожалуй, чтобы путешественник поскорее попал по нужному адресу, так что путешественник обычно входит в первую понравившуюся ему избу. Иногда ему везет, а чаще всего — нет, ибо каждый, кто называет себя математиком, является им в том значении, которое отвечает потребностям естествоиспытателя. Случается также, что разочарованный турист возвращается домой с убеждением, что на острове живут одни глухонемые» [*Штейнгауз Г. Математика — посредник между духом и материей* / пер. с польского. М.: Бином. Лаборатория знаний, 2005. 351 с.]

Преодоление часто наблюдаемого в жизни взаимного непонимания между математиками и инженерами при постановке имеющих практическую направленность задач и является одним из направлений прикладной статистики.

В середине XX в. в связи с появлением, а затем и широким распространением компьютеров появилась возможность применять ранее недоступные сложные и трудоемкие методы. Внедрение в статистическую практику вычислительной техники позволило при решении задач математической статистики использовать методы статистического мо-

делирования (Монте-Карло). Именно при соединении статистической теории и практики ее компьютерной реализации заключается существо современного этапа развития методов статистического анализа данных.

8.3. С чего начинать статистическое исследование

Принятие решений на основе фактов — так звучит принцип *TQM* означающий необходимость отличать достоверные и надежные факты от ложных или сомнительных. Согласно требованиям стандартов ИСО серии 9000 применение статистических методов признано целесообразным на всех без исключения этапах жизненного цикла продукции, начиная с исследования требований рынка и кончая ее утилизацией после использования.

Применение этих методов, не требуя больших затрат, позволяет с заданной степенью точности и достоверности судить о состоянии исследуемых явлений (объектов, процессов) в системе качества, прогнозировать и регулировать проблемы на всех этапах жизненного цикла продукции и на основе этого вырабатывать оптимальные управленческие решения.

По ГОСТ Р 50779.11-2000 (ИСО 3534-2-93). «Статистические методы. Статистическое управление качеством. Термины и определения». *Стандарты ИСО о статметодах. ISO 9000ff: 2000. (ff — full family («полная семья»)). Так в Европе обозначают полное семейство стандартов. Ссылка на статметоды имеется в ISO 9001 раздел 9.1.* ГОСТ Р ИСО/ТО 10017-2005 «Статистические методы. Руководство по применению в соответствии с ГОСТ Р ИСО 9001» представляет собой руководство по выбору статистических методов при разработке, внедрении, поддержке и улучшении системы менеджмента качества в соответствии с ИСО 9001.

Статистический метод — метод исследования, основанный на рассмотрении статистических данных о совокупностях объектов.

Статистические методы контроля качества — измерение одного или нескольких показателей продукции или услуги, обработка результатов измерения методами математической статистики и сравнение получаемых результатов с установленными требованиями для определения соответствия.

Статистическое управление качеством — та часть управления качеством, в которой применяют статистические методы.

Статистические методы управление качеством — методы и виды деятельности оперативного характера, основанные на рассмотрении статистических данных о совокупностях объектов и используемые для выполнения требований к качеству.

Контроль и управление могут применяться на различных стадиях — от определения потребностей до оценки их удовлетворения (от эскиз-

ного проектирования образца до эксплуатации готового изделия). Контроль может рассматриваться как частный случай управления.

Статистический метод связан с понятием случайной величины — величины, область возможных значений которой определена, но при этом неизвестно, какое значение она принимает в отдельных случаях. Случайные величины бывают непрерывные и дискретные. Значение непрерывной случайной величины определяют путем измерения, и оно может принимать любое значение из области возможных. Дискретная случайная величина выражается, как правило, целыми числами.

Статистические данные должны удовлетворять двум основным требованиям: достоверности и сопоставимости. Сопоставимость необходима для обобщения статистических данных об отдельных явлениях, для этого они должны собираться приблизительно в одно время, по согласованной методологии и единой методике. Анализ статистических данных современная статистика подразделяет на пять этапов: выборка, очистка (или оценка качества данных), трансформация данных, *DM-методы (Data Mining, выявление неизвестной ранее, но полезной информации)*, интерпретация.

Об очистке данных. Для обеспечения качественного анализа необходимо проведение предварительной обработки данных, которая является необходимым этапом процесса *Data Mining*.

Оценивание качества данных. Данные, полученные в результате сбора, должны соответствовать определенным критериям качества. *Качество данных (Data quality)* — это критерий, определяющий полностью, точность, своевременность и возможность интерпретации данных.

Трансформация данных — последний этап перед анализом. Различные алгоритмы анализа требуют специальным образом подготовленные данные, например, необходимо выделение временных интервалов, преобразование непрерывных значений в дискретные и наоборот, сортировка, группировка и др.

Обычно в статистике различают три типа значений переменных: количественные, номинальные и ранговые. Количественные переменные выражаются числами, они могут быть упорядочены и для них имеют смысл различные вычисления (например, расчет среднего значения); номинальные переменные (например: пол, вид, цвет) являются нечисловыми, они означают принадлежность к некоторым классам и не могут быть упорядочены или непосредственно использованы в вычислениях. Такие признаки принято называть *атрибутивными*. Если атрибутивные признаки принимают одно из двух противоположных значений, их называют альтернативными; ранговые переменные занимают промежуточное положение: их значения упорядочены (например: состояние больного, степень предпочтения), но не могут быть сопоставимы количественно.

Если объект представлен одним признаком, то наблюдением является реализация случайной величины, а если несколькими признаками, то — реализацией случайного вектора. Многомерные данные представляются для статистического анализа в виде прямоугольной матрицы. Это могут быть измерения значений заданных переменных у нескольких объектов или в некоторых точках пространства или же это могут быть измерения значений переменных у одного объекта в различные моменты времени или при различных состояниях.

Двумерные статистические данные удобно рассматривать как точки внутри некоторой области на плоскости. Координатами точек являются измерения признаков X и Y соответственно.

Наблюдаемые значения x_1, x_2, \dots, x_n называют *реализациями* случайной величины X . Вариационный ряд и его члены представляют собой так называемые порядковые статистики, и используются в математической статистике как основа непараметрических методов. Вариационный ряд служит для построения функции эмпирического распределения, где n — число членов вариационного ряда. Крайние члены $x_{(1)}$ и $x_{(n)}$ называются экстремальными значениями вариационного ряда.

Порядковая статистика — член вариационного ряда, т. е. выборки, в которой ее члены расположены в порядке возрастания. Начиная статистические исследования обычно с описательной или дескриптивной (англ. *descriptive* — наглядный, описательный) статистики: определения минимума, максимума, выборочного среднего, дисперсии, среднеквадратического отклонения, медианы, моды и т. д.

Обозначим множество данных $X = (x_1, x_2, \dots, x_n)$, тогда выборочное среднее обычно обозначается горизонтальной чертой над переменной (\bar{x} , *произносится «х с чертой»*). Для обозначения среднего арифметического всей совокупности обычно используется греческая буква μ . Для случайной величины, для которой определено среднее значение, μ есть *вероятностное среднее* или математическое ожидание случайной величины.

Генеральной совокупностью в статистике называют множество объектов, которые *потенциально* могли бы попасть в выборку, если бы мы повторили процедуру формирования выборки. Разница между μ и \bar{x} в том, что μ характеризует генеральную совокупность, а \bar{x} — выборку. Поэтому, если выборку представлять случайным образом (в терминах теории вероятностей), тогда \bar{x} (но не μ) можно трактовать как случайную переменную, имеющую распределение вероятностей на выборке (вероятностное распределение среднего).

Обе эти величины вычисляются одним и тем же способом:

$$\bar{x}_{arithm} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n}. \quad (8)$$

Если X — случайная переменная, тогда ее математическое ожидание можно рассматривать как среднее арифметическое значений

в повторяющихся измерениях величины X . Это является проявлением закона больших чисел. Поэтому выборочное среднее используется для оценки неизвестного математического ожидания.

Среднее значение выражает характерную величину признака. Действие разнообразных факторов порождает вариацию усредняемого признака. Среднее значение является общей мерой их действия, равнодействующей всех этих факторов. Между средним и индивидуальными значениями признака существует диалектическая связь как между общим и отдельным. Среднее значение является важнейшей категорией статистического исследования. Многие явления общественной жизни становятся ясными, будучи обобщенными, в форме средних величин.

Основным условием правильного применения средней величины является однородность статистической совокупности, т. е. элементы сходны между собой по существенным признакам. Совокупность может быть однородна по одним признакам и разнородной по другим. Только в средних для таких совокупностей проявляются специфические особенности, закономерности анализируемого явления. Средняя вычисленная для неоднородной статистической совокупности, т. е. такой в которой объединены качественно различные явления, теряет свое научное значение. Имеется несколько других «средних» значений, в том числе, среднее квадратическое, среднее геометрическое, среднее гармоническое и различные средневзвешенные величины.

Наиболее распространенным показателем рассеивания значений случайной величины относительно ее математического ожидания *среднеквадратическое отклонение* (синоним: среднеквадратичное отклонение, близкие термины: стандартное отклонение, стандартный разброс). Среднеквадратическое отклонение измеряется в единицах измерения самой случайной величины и равно корню квадратному из дисперсии. *Среднеквадратическое отклонение* определяется по формуле:

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}. \quad (9)$$

Стандартное отклонение s (оценка среднеквадратического отклонения случайной величины x относительно ее математического ожидания на основе несмещенной оценки ее дисперсии):

$$s = \sqrt{\frac{n}{n-1} \sigma^2} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}, \quad (10)$$

где: σ^2 — дисперсия;

x_i — i -й элемент выборки;

n — объем выборки;

\bar{x} — среднее арифметическое выборки.

На практике полезно знать *правило трех сигм* (3σ) — практически все значения нормально распределенной случайной величины лежат в интервале $\bar{x} - 3\sigma; \bar{x} + 3\sigma$. Более строго — не менее чем с 99,7% достоверностью значение нормально распределенной случайной величины лежит в указанном интервале (при условии, что величина \bar{x} истинная — характеризует генеральную совокупность, а не полученная в результате обработки выборки).

Средним геометрическим нескольких положительных вещественных чисел называется такое число, которым можно заменить каждое из этих чисел так, чтобы их произведение не изменилось. Более формально:

$$\bar{x}_{geom} = \sqrt[n]{\prod_{i=1}^n x_i} = \sqrt[n]{x_1 \times x_2 \dots \times x_n}. \quad (11)$$

Среднее геометрическое двух чисел также называется их *средним пропорциональным*.

Средним гармоническим нескольких положительных чисел x_1, x_2, \dots, x_n называется число, обратное среднему арифметическому их обратных, то есть определяется выражением

$$\bar{x}_{garmon} = \frac{n}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{x_i}} = \frac{n}{\frac{1}{x_1} + \frac{1}{x_2} + \dots + \frac{1}{x_n}}. \quad (12)$$

Любое среднее значение лежит между минимумом и максимумом из всех чисел. *Неравенство Коши (неравенство о средних)*. Для любых неотрицательных чисел x_1, x_2, \dots, x_n верно неравенство:

$$\bar{x}_{kvadr} \geq \bar{x}_{arithm} \geq \bar{x}_{geom} \geq \bar{x}_{garmon}, \quad (13)$$

причем равенство достигается тогда и только тогда, когда $x_1 = x_2 = \dots + x_n$.

При малом количестве данных вместо среднего арифметического предпочтительнее применять *медиану* — срединное значение вариационного ряда — полученных значений, упорядоченных по возрастанию или по убыванию. Если число измерений четное, то медианой будет служить середина между двумя ближайшими к центру значениями. Термин «медиана» (центральное значение) был введен Гальтоном в 1882 г. Медиана определяется для широкого класса распределений (например, для всех непрерывных), в то время как математическое ожидание может быть не определено (например, у распределения Коши).

Свойство медианы: сумма абсолютных величин отклонений вариант от медианы меньше, чем от любой другой величины (в том числе и от средней арифметической):

$$\sum |x - Me| = \min. \quad (14)$$

Если имеется четное количество случаев и два средних значения различаются, то медианой, по определению, может служить любое число между ними (например, в выборке {1, 2, 3, 4} медианой, по определению, может служить любое число из интервала (2,3)).

Мода — наиболее вероятное значение — наиболее часто встречающаяся в данном ряде измерений величина. Термин «мода» и «стандартное отклонение» введен Пирсоном в 1894 г. Геометрически моду можно интерпретировать как абсциссу точки максимума кривой распределения.

Точечная оценка параметра зависит только от результатов испытаний X_1, X_2, \dots, X_n , но не от оцениваемого параметра. Человечеству с глубокой древности было известно, что в массовых случайных явлениях наблюдаются определенные закономерности. Суть сводится к следующему: индивидуальные особенности каждого отдельного случайного явления почти не сказываются на среднем результате массы таких явлений; случайные отклонения от среднего, неизбежные в каждом отдельном опыте, в массе взаимно погашаются, нивелируются, выравниваются. Именно эта *устойчивость средних значений* и представляет собой физическое содержание «закона больших чисел», понимаемого в широком смысле слова: при очень большом числе случайных явлений средний их результат практически перестает быть случайным и может быть предсказан с большой степенью определенности.

Иными словами, вероятностные закономерности проявляются в статистических данных в силу закона больших чисел Бернулли, доказавшего, что при большом числе испытаний частота события близка к его вероятности. Первая строго доказанная теорема, представляющая собой с современной точки зрения частный случай закона больших чисел, принадлежит швейцарскому математику XVII в. Якобу Бернулли. Так называемая «золотая теорема» опубликована в 1713 г. после смерти Бернулли. Теорему Бернулли можно сформулировать так: при неограниченном увеличении числа опытов n частота события A приближается (сходится по вероятности) к его вероятности P .

Закон больших чисел устанавливает условия сходимости статистической оценки параметра к его истинному значению при неограниченном увеличении числа наблюдений (n стремится к бесконечности). Но, как известно, на практике, приходится иметь дело со статистическим материалом весьма ограниченного объема. А тогда закон больших чисел не справедлив.

Отметим, что любое значение искомого параметра, вычисленное на основе ограниченного числа опытов, всегда будет содержать элемент случайности. Если, например, из четырех проверенных приборов, —

три оказались годными, а один дефектным, мы оценим его вероятность безотказной работы, как 0,75. Но это не будет действительной надежностью изделия. Это — случайная величина. Взяв другую выборку, мы, вероятно, получим и другой показатель. Такое приближенное, случайное значение *называется оценкой параметра*. Например, для математического ожидания оценкой может служить среднее арифметическое наблюдаемых значений случайной величины в n опытах. Из закона больших чисел следует, что при очень большом числе опытов среднее арифметическое будет с большой вероятностью весьма близко к математическому ожиданию. Если же число опытов невелико, то замена математического ожидания средним арифметическим приводит к ошибке, в среднем тем больше, чем меньше число опытов.

Мера качества и надежности данных, полученных на основе выборочного наблюдения. Для получения достоверных результатов выборочного определения на практике в основном используются оценки, обладающие такими теоретическими свойствами, как состоятельность, несмещенность и эффективность (эффективность, качество). Когда говорят об асимптотических свойствах оценок (или свойствах для больших выборок), то прежде всего имеют в виду их *состоятельность*, которая является обязательным требованием для любой практической задачи оценивания.

Состоятельность — при возрастании объема выборки значение оценки будет приближаться к соответствующему параметру генеральной совокупности и совпадать с ним при объеме выборки, равном численности исследуемой совокупности.

Иными словами, *состоятельной* называют оценку, которая при n , стремящемся к бесконечности, сводится по вероятности к оцениваемой величине. Иными словами, при увеличении числа наблюдений вероятность отклонения оценки от оцениваемого параметра на величину превосходящее заданное число, стремится к нулю.

Несмещенность — математическое ожидание оценки, взятое по всем возможным выборкам заданного объема, в точности равно соответствующему параметру (смещение оценки определяется как разность между ожидаемым значением и истинным значением). Итак, *несмещенной* называется оценка, математическое ожидание которой равно оцениваемой величине. Асимптотически несмещенная оценка — такая оценка, математическое ожидание которой совпадает с оцениваемым параметром при n , стремящемся к бесконечности.

Любая несмещенная оценка параметра φ («тэта»), дисперсия которой стремится к нулю с ростом n , является состоятельной оценкой параметра «тэта». В отличие от состоятельности свойство несмещенности не связано с числом наблюдений. Требование несмещенности означает на практике требование отсутствия систематической ошибки. Со смещением приходится на практике бороться.

Требованием к оценке является достаточно высокая степень концентрации ее распределения около истинного значения оцениваемой характеристики. Чем выше концентрация, тем лучше (точнее) соответствующая оценка. Выражением этого в определенной степени и является условие эффективности.

Эффективность (точность, качество) — характеристика, которая зависит от вариативности (изменчивости) оценки от выборки к выборке и измеряется дисперсией оценки. Чем меньше дисперсия оценки, тем она эффективнее. Эффективная оценка является оптимальной, и она единственна. Эффективность оценки — это отношение минимально возможной дисперсии в классе всех несмещенных оценок к дисперсии данной оценки. Можно сказать, эффективной называют такую оценку, которая имеет наименьшую дисперсию $\sigma^2 = \min$.

В 1912 г. английским статистиком, биологом и генетиком Рональдом Фишером (*Fisher*, 1890–1962) была сформулирована концепция максимального правдоподобия. Суть ее — то, что наблюдалось в эксперименте, как раз и должно было произойти. Поэтому все неизвестные, которые нам надлежит извлечь из эксперимента, надо находить таким образом, чтобы они как можно лучше согласовывались с имеющимися данными. Тогда оценки неизвестных и будут «наиболее правдоподобными» в свете имеющихся данных.

Применение методов математической статистики часто связано с обработкой и хранением больших массивов статистических данных. В этих случаях возникает проблема сокращения объемов исходных данных без потери информации о статистической модели. Р. Фишер в 1920-е гг. выдвинул идею о том, что для статистического анализа необязательно всегда нужно знать значения всех элементов выборки, достаточно знать лишь некоторые функции от результатов наблюдений — так называемые достаточные статистики, содержащие ту же информацию о параметре θ , что и сами результаты наблюдений.

Поэтому помимо состоятельности, несмещенности, эффективности оценка должна быть достаточной («исчерпывающей» по определению Б. В. Гнеденко), обеспечивая полноту использования всей содержащейся в выборке информации о неизвестном параметре θ . Всякая эффективная оценка является одновременно достаточной статистикой. Но достаточная статистика может существовать и при отсутствии эффективной оценки, т. е. условие достаточности является менее ограничительным, чем условие существования эффективной оценки.

Представляют интерес те достаточные статистики, которые позволяют заменить всю совокупность результатов наблюдений несколькими характеристиками. С помощью достаточной статистики можно найти наилучшие оценки параметров. Например, если наблюдаемые значения, представляют собой одинаково нормально распределен-

ные величины, то достаточными статистиками будут для них сумма и сумма квадратов. Если $X = (X_1, \dots, X_n)$ — выборка из равномерного распределения θ с неизвестным параметром $\theta > 0$, то достаточной статистикой в данном случае является максимальное значение выборки — крайний (максимальный) член вариационного ряда $X_{(n)}$, а для оценивания «параметра сдвига» достаточно знать значение минимального (первого) члена вариационного ряда $X_{(1)}$.

Выборочное среднее арифметическое и выборочная дисперсия являются оценками максимального правдоподобия (в определенном смысле наилучшими) для математического ожидания и дисперсии соответственно, если результаты наблюдения — выборка из нормального распределения. В непараметрической постановке они являются состоятельными оценками математического ожидания и дисперсии, однако не всегда наилучшими.

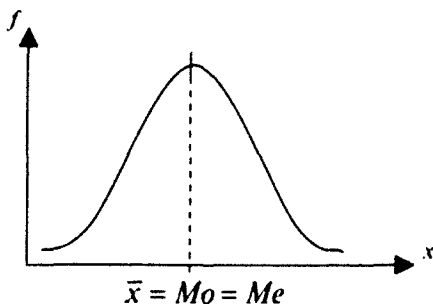
В 1953 г. британский статистик Джордж Бокс (*Box*, 1919–2013) ввел термин «робастность» — нечувствительность к малым отклонениям от предположений (англ. *robust* — крепкий, здоровый). В некотором смысле понятие «робастности» противоположно «чувствительности». Одно из главных применений робастности — это исключение из рассмотрения сильно отклоняющихся наблюдений. Пример робастного метода — переход от среднего к медиане. Проще всего показать это на простом примере.

Пусть, например, числа 1, 2, 3, 4, 5 — результаты измерений некоторого показателя. Среднее арифметическое и медиана в данном случае равны 3. Теперь представьте себе, что при очередном измерении получился результат — 45. Скорее всего это следствие какой-то ошибки. И при столь малом числе результатов он резко бросается в глаза. Но в большом числе данных, такой промах не всегда легко заметить. В результате среднее арифметическое будет равно 10, тогда как медиана станет равной 3,5, т. е. почти не изменится. Точно так же, вместо дисперсии или квадратичной ошибки можно использовать выборочный размах, или более устойчивый интерквартильный размах.

Поскольку медиана более робастна по сравнению со средним арифметическим, в некоторых случаях предпочтительнее использовать ее. Например, средняя зарплата сотрудников компании 100 тысяч рублей. Эта цифра никак не характеризует обеспеченность сотрудников, потому что руководитель может получать больше миллиона рублей в месяц, а большинство рядовых сотрудников ненамного больше МРОТ (принятая в РФ аббревиатура, раскрываемая как «Минимальный размер оплаты труда»). Справедлива в этом случае шутка «Практически все имеют доход ниже среднего». Если медианное значение в рассматриваемом случае составляет 50 тысяч рублей, то половина сотрудников зарабатывает в месяц больше того значения, а половина — меньше.

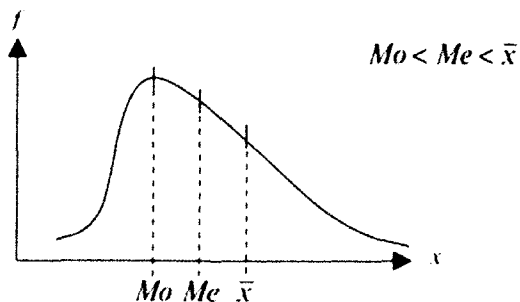
Нельзя использовать понятие среднего, как синоним «типичного», например, средний доход населения, средняя температура больных в больнице, среднее количество осадков за несколько сезонов в некоторой области и т. п. Недаром американский ученый, лауреат нобелевской премии по экономике Милтон Фридман (*Friedman*, 1912–2006) писал: «Прогнозировать средние экономические показатели — все равно что уверять не умеющего плавать человека, что он спокойно перейдет реку вброд, потому что ее средняя глубина не больше четырех футов».

Пуассон установил, что такой статистике, как среднее арифметическое, противопоказано иметь дело со случайными наблюдениями, распределения которых обладают «тяжелыми хвостами». Робастной может оказаться и мода (для дискретных и сгруппированных данных).

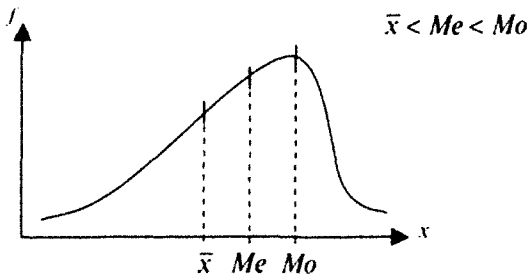


При симметричной форме распределения частоты любых двух вариантов, равностоящих в обе стороны от центра распределения, равны между собой: $A_s = 0$.

Правосторонняя асимметрия



Положительная величина показателя асимметрии указывает на наличие правосторонней асимметрии. В этом случае $X_{cp} > Me > Mo$. Отрицательная величина показателя асимметрии указывает на наличие левосторонней асимметрии. В этом случае $X_{cp} < Me < Mo$.

Левосторонняя асимметрия

Для нормального распределения математическое ожидание, медиана и мода равны друг другу. В случае относительно симметричных распределений среднее арифметическое, медиана, мода и среднее геометрическое почти совпадают, а в случае асимметричных распределений существенно отличаются друг от друга. При положительном значении показателя асимметрии

Числовые характеристики случайных событий допускает наглядную интерпретацию. Если толковать значения x_1, \dots, x_n как координаты материальных точек, расположенных на одной прямой и имеющих массу 1, то среднее арифметическое \bar{x} будет их центром тяжести, а дисперсия s^2 — моментом инерции относительно среднего арифметического.

Сказав об основных свойствах статистических оценок, отметим, что не существует единственного критерия, по которому следует сравнивать все оценки. Как справедливо заметил американский статистик Эрих Леман (*Lehmann*, 1917–2009), который ввел термин «теория принятия решений»: «Статистические задачи не имеют однозначного решения».

Помимо точечной оценки применяется метод доверительных интервалов. Р. Фишер предложил вместо поиска функции от результатов испытаний — оценки неизвестного параметра, находить две функции от результатов испытаний (но не от оцениваемого параметра), для которых вероятность покрытия неизвестного параметра отрезком равна заданной величине. Функции θ_1 и θ_2 называются доверительными границами, а (θ_1, θ_2) — доверительным интервалом.

Отметим одно обстоятельство. Ширина доверительного интервала и его положения на числовой оси случайны, зависят от результатов испытаний. Поэтому точнее толковать доверительную вероятность не как вероятность попадания точки θ в доверительный интервал, а как вероятность того, что случайный доверительный интервал накроет точку θ . Можно дать и еще одно практически важное истолкование понятия доверительного интервала: его можно рассматривать как ин-

тервал значений параметра, совместимых с опытными данными и не противоречащих им. Чем ниже доверительная вероятность, тем уже (меньше) доверительный интервал. При низких значениях доверительной вероятности (0,5–0,6) точечная оценка при малом числе данных может оказаться вне доверительного интервала.

Методы статистического контроля и управления качеством, обычно, основаны на предположении о наличии стабильного процесса и возможности получить неограниченную выборку. Это положение с переходом на мелкосерийное, и тем более штучное, производство существенно меняется, и используемые стандартные методы статистических выводов перестают работать. При малых выборках существенно увеличивается ширина доверительных интервалов, пропорциональная $1/n$, где n — объем выборки. Если точность оценок при $n = 100$ приблизительно равна 10% (приблизительно потому, что в оценке ширины доверительного интервала присутствуют и другие множители), то при $n = 10$ —32%.

Если объем испытаний невелик, то ширина доверительного интервала настолько велика, что оценка надежности по методу доверительных интервалов теряет смысл. Например, испытывается n изделий. Если результат испытаний положительный (отказов не было), то верхняя доверительная граница для вероятности безотказной работы — единица, а нижняя находится по формуле:

$$P_{\text{н}}(t) = (1 - \gamma)^{1/n}, \quad (15)$$

где γ — доверительная вероятность.

Если $n = 1$, то это означает, что с вероятностью 0,9 надежность не ниже 0,1 или с вероятностью 0,1 надежность не ниже 0,9. Если же результат испытаний отрицательный, то ответ получаем симметричный — нижняя доверительная граница для вероятности безотказной работы становится равной нулю, а верхняя $P_{\text{в}}(t) = \gamma$.

Необходимый объем испытаний для того, чтобы получить ответ с заданной достоверностью γ и подтвердить, что надежность не ниже $P_{\text{мин}}(t)$ может быть рассчитан по формуле:

$$n = \lg(1 - \gamma) / \lg P_{\text{мин}}. \quad (16)$$

Подчеркнем, что при испытании n изделий не должно произойти ни одного отказа. Если же таковые будут иметь место, то необходимый объем испытаний существенно возрастет.

8.4. Методы размножения выборок

В 1949 г. Морис Кенуй (*Quenouille*) предложил процедуру, позволяющую значительно снизить выборочное смещение. Идея заключалась в том, чтобы последовательно исключать из рассмотрения по одному

наблюдения, обрабатывать всю оставшуюся информацию и предсказывать результат в исключенной точке.

Пусть дана выборка $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$. Для изучения распределения предлагается сформировать n «похожих» выборок, полученных из исходной ($x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$), исключением одного результата наблюдения. Получается n новых (размноженных) выборок объемом $(n - 1)$ каждая. По каждой из них можно рассчитать значение интересующей статистики (с уменьшенным на 1 объемом выборки).

Доказано, что по вновь сформированным выборкам можно судить о распределении статистики. Дж. Тьюки расширил его возможности и предложил название «складной нож», потому что его действие напоминает складной нож — простой инструмент, которым можно решить множество различных проблем, пускай и менее эффективно, чем при помощи предназначенных для этого средств.

Развивая идею «складного ножа», профессор Стэнфордского университета Бредли Эфрон (*Efron*, p. 1938) предложил в 1977 г. [*Эфрон Б. Нетрадиционные методы многомерного статистического анализа: сб. статей. М.: Финансы и статистика, 1988. 263 с.*]. Использовать компьютер для генерирования выборок на основе заданных результатов наблюдений $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$. А дальше — как для «складного ножа». Этот метод под названием «бутстреп» получил бурное развитие. С точки зрения теории устойчивости, бутстреп — это способ изучить устойчивость статистических выводов в окрестности полученной выборки. Таким образом, бутстреп был предложен как некоторое обобщение процедуры складного ножа.

Идея бутстрепа состоит в том, чтобы извлекать из выборки почти неограниченное число данных, не проводя новых опытов. Представим, что у нас есть результаты опытов — N значений параметров. Эти значения написаны на шарах, которые помещены в урну. Для того, чтобы сформировать одну бутстреп-выборку исследователь N раз вынимает по одному шару, записывая начертанное на нем значение, и возвращает шар в урну. Извлеченные подряд N шаров, образуют одну выборку-аналог. Повторяя эту процедуру M раз, можно получить M бутстреп-выборок.

На число таких повторений накладывается одно естественное ограничение: $M < NN$. Но это ограничение имеет практическое значение лишь для выборок очень малого объема ($N < 5$), так как уже при $N = 5$ должно быть $M < 3125$. Эфрон предлагает считать, что полученные бутстреп-выборки обладают теми же свойствами, что и исходная выборка. Таким образом получается огромное число данных, по которым можем судить об устойчивости, вариабельности, других свойствах статистических оценок параметров случайной величины. Нужно только умело распорядиться свалившимся богатством. Бутстреп относится к методам с интенсивным использованием

ЭВМ и выглядит соблазнительно, когда эмпирических данных мало, а электронной памяти достаточно.

Главное достоинство бутстрепа по сравнению с традиционными методами статистической обработки, что при построении интервальных оценок не требуется знать распределение точечных оценок и, следовательно, ни к чему знать распределение и самой случайной величины. С использованием бутстрепа можно строить доверительные границы.

В заключение главы сделаем одно замечание общего характера. Со школьной скамьи мы знаем «золотое правило механики», согласно которому ни один из простых механизмов не дает выигрыша в работе; во сколько раз выигрываем в силе, во столько же раз проигрываем в расстоянии. Может быть, можно назвать «золотым правилом математической статистики» следующее утверждение — по имеющемуся числу данных точность и достоверность вывода находятся в обратной зависимости — выигрывая в точности, мы проигрываем в достоверности, и наоборот.

Вопросы для самопроверки

1. Дайте определение случайности и детерминизма.
2. В чем суть вирусной теории менеджмента?
3. Что такое статистическое мышление?
4. Приведите примеры статистического мышления и справедливости вирусной теории из собственного опыта.
5. В чем суть статистического метода исследования и его отличие от вероятностного подхода?
6. Приведите примеры дискретных и непрерывных случайных величин.
7. Дайте определение генеральной совокупности и выборки, математического ожидания и среднего арифметического.
8. Что такое среднеквадратического отклонение? Как влияет увеличение дисперсии на количество значений случайной величины с нормальным законом распределения, попадающих в диапазон ± 2 ср. квадр. откл.?
9. В случае нормального распределения случайной величины что больше мода, медиана или среднее значение?
10. Что такое состоятельность, несмещенность и эффективность статистической оценки?
11. Что понимается под робастностью статистической оценки?
12. В чем суть методов размножения выборок?

9. ИНСТРУМЕНТЫ СТАТИСТИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА

С помощью семи статистических методов может быть выполнено 95% анализа процесса.

К. Исикава

У А. П. Чехова сказано: «Национальной науки нет, как нет национальной таблицы умножения». В наше время с этим утверждением классика некоторые ученые не согласны даже, когда речь о математике, физике и других фундаментальных науках, тем более любая дисциплина, в названии которой присутствует понятие «управление», зависит от социальных и национальных факторов. Неслучайно Каору Исикава, президент Японского общества по контролю качества заявил: «Есть два объяснения японского “экономического чуда”. Первое — мы повсеместно применяли статистические методы, второе — мы японцы».

Поражение во Второй мировой войне подорвало экономику Японии, ведущие компании потеряли своего главного заказчика вооруженные силы, практически все отрасли промышленности переживали тяжелейший кризис. Японская школа управления качеством сформировалась вскоре после войны под влиянием американской школы, прежде всего, Деминга. «Япония добилась своего экономического взлета на основе хорошего менеджмента. В 1950 г. высшее звено менеджеров Японии научилось думать о стране в целом как о системе, каждый компонент которой является определенным вкладом в систему. Каждый компонент оценивается не на основе признаков по принципу конкурирования, а на основе его вклада в систему в целом» [Деминг Э. Обращение к участникам конференции «Мировой опыт — экономике СССР» // Курс на качество. 1992. № 1. С. 3–5].

В 1979 г. Союз японских ученых и инженеров (*JUSE — Union of Japanese Scientists and Engineers*) собрал воедино семь достаточно простых методов контроля качества (инструментов качества) [75]. Эти

инструменты основаны на применении графических средств анализа статистических данных. Применение любого из методов не требует специальных знаний, овладение ими не представляет особого труда не только для инженерно-технических работников, но и для рабочих.

Помимо высказывания Исикавы, взятого в качестве эпиграфа к настоящему разделу, находим у него такие слова: «Основываясь на опыте своей деятельности, могу сказать, что 95% всех проблем фирмы могут быть решены с помощью этих семи принципов. Они просты, однако без них невозможно овладеть более трудными методами» [60].

Главная цель «Семи простых инструментов контроля качества» — это выявление проблемы, подлежащей первоочередному решению, на основе контроля процесса, сбора, обработки и анализа полученных данных для последующего улучшения качества. В число семи простых методов входят: контрольный листок, диаграмма Парето, схема Исикавы, гистограмма, график рассеяния (диаграмма разброса), стратификация (расслаивание) и, наконец, контрольная карта Шухарта. Семь методов образуют единство, но считается, что их можно применять в произвольном порядке. Обсуждение этого вопроса ниже.

9.1. Контрольный листок

Контрольный листок — инструмент для удобного сбора данных и их автоматического упорядочения для облегчения дальнейшего использования собранной информации.

Применение любого статистического метода начинается со сбора данных и их упорядочения. Хотя контрольный листок и относится к «семи инструментам контроля качества», он играет среди них вспомогательную роль. Контрольный листок (*checksheet*) не надо путать с «Контрольным списком» (*checklist*) — средством, помогающим удостовериться в том, что все необходимые действия в ходе операции были выполнены.

Контрольный листок — это бланк, на котором заранее нанесены названия и диапазоны контролируемых показателей. Форма контрольного листка разрабатывается в соответствии с конкретной производственной ситуацией. Чаще всего применяются следующие виды контрольных листков:

- контрольный листок для регистрации измеряемого параметра в ходе производственного процесса (фиксируется частота различных отклонений от номинала);
- контрольный листок для регистрации видов несоответствий (подсчитывается количество несоответствий);
- контрольный листок для оценки воспроизводимости и работоспособности технологического процесса (через определенные

промежутки времени рассчитывается характеристика технологического процесса).

В регистрационной таблице в соответствующей графе проставляются условные знаки, соответствующие количеству наблюдаемых событий (рис. 14). В общем случае в контрольном листке указываются: объект изучения (например наименование и чертеж изделия или детали); таблица регистрации данных о контролируемой характеристике объекта (например отклонение от заданного размера); конкретное место анализа (цех, участок); должность и фамилия работника, регистрировавшего данные; дата и продолжительность наблюдения.

Количество событий	Первый вариант регистрации	Второй вариант регистрации
1	I	.
2	II	:
3	III	::
4	IIII	:::
5	IIII	L ::
6	IIII I	L :::
7	IIII II	C ::
8	IIII III	U ::
9	IIII IIII	□ ::
10	IIII IIII	⊗ ::
11	IIII IIII I	⊗ :::

Рис. 14. Пример контрольного листка

При подготовке контрольных листков нужно следить за тем, чтобы использовались наиболее простые способы их заполнения. В современных условиях, когда для управления процессами используются компьютеры, контрольные листки предпочтительно заполнять непосредственно в памяти ПЭВМ, отказавшись от использования бумажных бланков. Достоинства электронной формы контрольного листка: удобство обработки и анализа данных, высокая скорость получения необходимой информации, возможность одновременного доступа к информации многих людей. Контрольный листок разрабатывается в следующем порядке:

1. Определяются события, которые необходимо регистрировать.
2. Назначается период сбора данных.
3. Задается категория данных — целочисленные или интервальные.
4. Разрабатывается форма контрольного листка.

5. Проводится инструктаж сотрудников, ответственных за сбор информации.

6. Собираются данные, которые регистрируются по каждому наблюдению в соответствующей категории.

7. Результаты суммируются по каждой категории и по всему интервалу наблюдений.

8. Проводится анализ данных для последующей обработки с помощью других инструментов качества.

Одна из форм контрольного листка приведена в табл. 4.

Таблица 4

Контрольный листок

По всем моделям	Число отказов	%
Интегральные схемы	8	6,8
Конденсаторы	77	65,2
Сопrotивления	4	3,4
Трансформаторы	8	6,8
Переключатели	18	15,3
Трубки	3	2,5
Итого	118	100

Самое главное, чтобы данные честно фиксировались и информация, собранная в контрольном листке, оперативно анализировалась. Как сказал Норберт Винер «Действительно жить — это жить, располагая правильной информацией». Сбор данных — не самоцель, а средство выявления фактов, которые стоят за ними. При статистической обработке результатов хорошо помнить афоризм Томаса Гексли: «Математика есть только жернов, и, засыпав плохое зерно, мы не можем получить хорошей муки».

9.2. Диаграмма Парето

9.2.1. Закон «80/20»

В 1897 г. итальянский социолог и экономист Вильфредо Парето (1848–1923) установил, что материальные блага распределены неравномерно и вывел зависимость между величиной дохода и количеством получающих его лиц. В общем виде эта зависимость выражается формулой

$$N = A \cdot X^{-s},$$

где: N — число людей с доходов не меньшим X ;

$A > 0$ и $s > 0$ — параметры распределения (s называется постоянной Парето или параметром формы).

После изучения достаточно обширного статистического материала Парето пришел к выводу, что параметры этого распределения примерно одинаковы в разных странах и в разное время. «Кривая распределения доходов отличается замечательной устойчивостью, она меняется незначительно, хотя сильно преобразуются обстоятельства времени и места, при которых ее наблюдают», — писал он в книге «Социалистические системы» (1901).

Закон Парето оказался универсальным и независимым от социальных и политических условий. При этом оказалось, что существует неизменное математическое соотношение между численностью группы людей (в процентах от общей численности рассматриваемого населения) и долей богатства или дохода, контролируемой этой группой: 20% населения владеют 80% материальных ценностей.

Причем такой дисбаланс, как сказано выше, остается неизменным при обработке статистических данных, относящихся к различным периодам времени и разным странам. Распределение Парето получило распространение в различных задачах экономической статистики, поскольку оно хорошо описывает распределение доходов, превышающих некоторый уровень. Ведь налоговые органы обычно интересуются распределением доходов тех лиц, годовой доход которых превосходит некоторый предел, установленный законами о налогообложении.



В. Парето

На основании своего открытия Парето выдвинул социологическую гипотезу, в которой придавал значение роли элиты. Позднее эта «теория» для неблагоприятных целей использовались в Италии фашистским режимом Муссолини. В то же время В. Парето называли «Карлом Марк-

сом от буржуазии», имея, очевидно, в виду, что Парето, как и Маркс, подчеркивал значение классов и идеологии в определении поведения.

Десятилетия значение принципа 80/20 оставалось недооцененным и лишь после Второй мировой войны удалось продемонстрировать его возможности. Филолог из Гарварда Джордж К. Зипф (1902–1950) открыл принцип наименьшего усилия, который гласил, что ресурсы (люди, товары, время, знания и т. п.) самоорганизуются так, чтобы свести к минимуму затраченную работу, и, таким образом, приблизительно 20% любого ресурса производят 80% деятельности.

Принцип Парето получил название «Закон 80/20» (80% следствий вызывается 20% возможных причин), распространяющийся на разные сферы человеческой деятельности, например, 20% усилий дают 80% результата, а остальные 80% усилий — лишь 20% результата. Соотношение Парето привело к открытию частных проявлений «Закона 80/20»: 80% всего объема работы выполняют 20% сотрудников (закон Лотки), 80% профильной информации сосредоточено в 20% научных журналов (закон Бредфорда). Преподаватель экономики управления и стратегии бизнеса Школы бизнеса при Бирмингемском университете Р. Кох собрал коллекцию проявлений принципа 80/20. В монографии под названием «Принцип 80/20» он называет закон Парето «величайшей тайной нашего времени» [66].

Примеры справедливости принципа Парето из области бизнеса: 20% ассортимента продукции дают 80% от общего объема продаж в денежном выражении, 20% исходных продуктов определяют 80% стоимости готового изделия, 20% клиентов определяют 80% доходов компании. 80% благотворительных фондов формируется из 20% существующих источников, 80% продукции производит 20% работающих, в многомерной регрессии 80% изменчивости откликной переменной объясняется 20% регрессоров, 80% проблем возникает на 20% установок, наконец, 80% потерь от брака или переделок происходит из-за 20% возможных причин.

Принцип Парето справедлив и в тайм-менеджменте: 80% информации мы получаем из 20% источников, 80% принимаемых решений укладывается в 20% времени, потраченного на совещания и планерки, 20% рабочего времени обеспечивают 80% производительной работы, то есть того, что определяет ее успех. Можно привести примеры из социальной сферы: 20% преступников совершают 80% преступлений; 20% водителей виновны в 80% дорожно-транспортных происшествий; 20% вступивших в брак ответственны за 80% разводов (т. е., которые постоянно то вступают в брак, то разводятся, сильно искажают статистику, что дает пессимистично-однобокую картину нестабильности заключаемых браков). Наконец, 20% детей используют 80% возможностей, предоставляемых системой образования в данной стране.

И даже дома: 80% всего времени вы носите 20% имеющейся у вас одежды, 80% всех ложных тревог при срабатывании противоугонной

сигнализации вызывается 20% возможных причин. Двигатель внутреннего сгорания также великолепно подтверждает справедливость этого принципа: 80% энергии, выделившейся при сгорании топлива, теряется, а колесам передается лишь 20% всей энергии. Выходит, что на практике 4/5 приложенных усилий не имеют к получаемому результату почти никакого отношения.

Таким образом, принцип 80/20 утверждает, что диспропорция является неотъемлемым свойством между причинами и результатами, вкладываемыми и получаемыми средствами, прилагаемыми усилиями и вознаграждениями за них. Выражение «80/20» хорошо описывает данную диспропорцию: 20% вложенных средств ответственны за 80% отдачи; 80% следствий проистекает из 20% причин, 20% усилий дают 80% результатов.

Этот принцип очень важен поскольку он противоречит тому, что мы привыкли считать логичным — все проблемы проистекают из множества причин и нет смысла искать среди них ключевые. Что все возможности одинаково ценны, поэтому неважно, какую из них мы выберем. У Гете есть афоризм: «Наиболее важное никогда нельзя оставлять на милость самого несущественного». Иными словами, если важно все, то не важно ничего. Когда в организации постоянно занимаются слишком большим количеством «срочных и главных» дел, она теряет способность успешно продвигаться к действительно существенным целям.

Джурану пришла идея использовать Принцип 80/20 для того, чтобы искоренить выпуск бракованной продукции, повысить ее надежность. В 1975 г. он установил универсальность этого принципа и применил его, предложив назвать «принципом Парето», для контроля качества.

9.2.2. Построение диаграммы Парето

Диаграмма Парето — инструмент ранжирования, позволяющий выявить основные причины проблемы и расставить приоритеты.

Метод сводится к построению столбиковой диаграммы (греч. *diagramma* — рисунок, чертёж), в которой каждый столбик отражает относительный вклад в проблему отдельного фактора, причем все они расположены в убывающем порядке слева направо.

Целесообразно пользоваться разными классификациями и составить несколько диаграмм Парето, наблюдая явление с разных точек зрения (например, доля отказов, экономические потери, время простоя, вызванное отказами и т. д.). Диаграмма Парето может использоваться и в противоположном случае: если положительный опыт отдельных цехов и подразделений хотят внедрить на всем предприятии, с помощью диаграммы Парето выявляют основные причины успехов.

Различают два вида диаграмм Парето: по результатам деятельности и по причинам. В первом случае выявляют главную проблему, во втором — ее основные причины. Например, если речь идет о качестве,

то возникают следующие типичные проблемы: несоответствия, ошибки, рекламации, ремонт, возвраты продукции. Построение диаграммы Парето производится в следующей последовательности.

1. Определяются показатели, по которым предполагается собирать статистическую информацию.

2. Определяются показатели, характеристики которых будут измеряться (обычно это число событий, имевших место в связи с данным показателем). Разрабатывается форма для регистрации данных.

3. Собираются данные и распределяются по соответствующим показателям.

4. Составляется таблица, в первой графе которой приводятся анализируемые факторы, во второй — абсолютные данные, характеризующие число случаев их обнаружения в рассматриваемый период, в третьей — суммарное число факторов по видам, в четвертой — их процентное соотношение и в пятой — кумулятивный (накопленный) процент случаев обнаружения факторов.

Перед заполнением таблицы данные располагают в порядке убывания. В табл. 5 приведен пример обработки исходных данных для построения диаграммы Парето в случае анализа качества изготовления литых деталей.

Таблица 5

Исходные данные для построения диаграммы Парето

Виды дефектов Деталей	Количество дефектов	Суммарное количество дефектов	Процентное соотношение дефектов по видам	Кумулятивный процент дефектов
Усадочные Раковины	48	48	41,7	41,7
Пористость	32	80	27,8	69,5
Трещины	23	103	20,0	89,5
Неметалличе- ские включения	4	107	3,5	93,0
Прочие дефекты	8	115	7,0	100,0
Итого	115	—	100,0	

Отдельные редко встречающиеся виды отказов целесообразно объединить под общим заголовком «Прочие». Группу «Прочие» надо поместить в последнюю строку.

5. Построение диаграммы. При этом по оси абсцисс откладывают данные графы 1, а по оси ординат — данные графы 2, располагая их в порядке убывания частоты встречаемости. «Прочие факторы» (дефекты) всегда располагают на оси ординат последними. По этим исходным данным строят столбиковую диаграмму (рис. 15), а затем, используя данные графы 5 и дополнительную ординату, обозначающую

кумулятивный процент, наносят кривую Лоренца, названную в честь американского экономиста, который в 1907 г. графически проиллюстрировал «принцип 80/20».

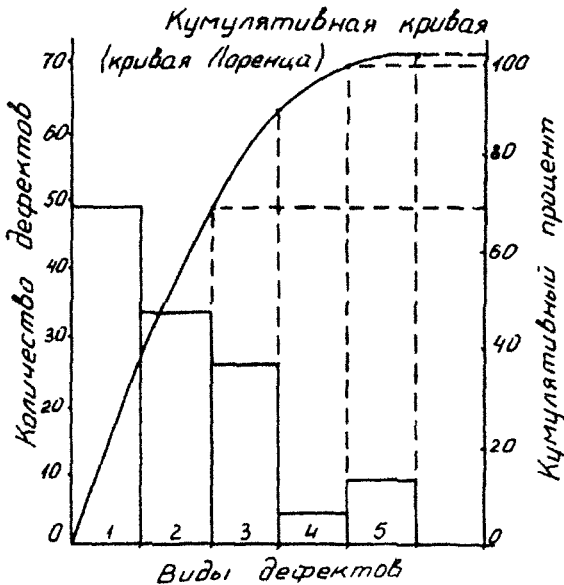


Рис. 15. Диаграмма Парето по видам дефектов литых деталей:

- 1 — усадочные раковины; 2 — пористость; 3 — трещины;
4 — неметаллические включения; 5 — прочие дефекты

6. Интерпретация диаграммы и определение мер по устранению причин наиболее значимых показателей. Анализ диаграммы, построенной по данным табл. 5, показывает, что усадочные раковины и пористость в литых деталях составляет 80% всех обнаруженных дефектов. Следовательно, с устранения именно этих дефектов следует начинать работу по улучшению качества изготовления деталей.

Метод Парето применяется и в других отраслях науки, например, в логистике он называется «А, В, С-анализ». Столбики разделяются на группы А, В, С по числу случаев или по сумме потерь. На графике строится кривая кумулятивной суммы, по соотношению отрезков которой, относящихся к группам А, В, С, можно легко оценить фактическое положение дел.

После выявления проблемы путем построения диаграммы Парето по результатам важно определить причины ее возникновения. При использовании диаграммы Парето для выявления результатов деятельности и причин наиболее распространенным методом является АВС-

анализ — определение трех групп, имеющих три уровня важности для управления качеством:

- группа А — наиболее важные, существенные проблемы, причины, дефекты. Относительный процент значимости группы А в общем количестве дефектов (причин) обычно составляет от 60 до 80%. Соответственно устранение причин группы А имеет большой приоритет, а связанные с этим мероприятия — самую высокую эффективность;
- группа В — причины, которые в сумме имеют не более 20%;
- группа С — самая многочисленная группа, но при этом включает в себя наименее значимые причины и проблемы.

Диаграмма Парето дает возможность сфокусировать усилия и ресурсы на устранении наиболее значимых проблем. Недостаток этого инструмента в том, что не учитывается стоимость последствий возникающих несоответствий и дефектов. После проведения корректирующих мероприятий диаграмму Парето можно вновь построить для проверки эффективности проведенных улучшений.

Предлагаемый инструмент дает возможность лучше визуализировать причины несоответствий и реагировать на них.

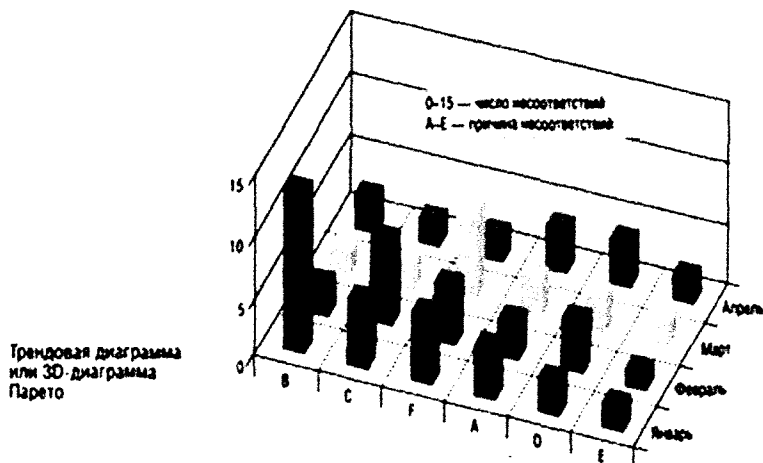


Рис. 16. Пример 3D-диаграммы Парето

В этой связи представляет интерес 3D-диаграмма Парето (или трендовая диаграмма Парето), в которой к добавлена временная шкала, позволяющая наблюдать изменение показателей по каждой категории причин несоответствий за определенный период (например, месяц или квартал). Такая диаграмма показывает не только сравнительное влияние причин проблем, но и эффект от корректирующих действий по

их предотвращению [Levinson W.A. The 3-D Pareto Chart. A better graph to improve visualization and error response // Quality Progress. 2016. May].

На рис. 15 показан пример такой диаграммы, иллюстрирующей динамику влияния шести причин несоответствий за четыре месяца. Предложенный инструмент оказывает помощь в выполнении требований п. 7.3 стандарта ISO 9001:2015, в соответствии с которым «лица, выполняющие работу под управлением организации, должны быть осведомлены... о своем вкладе в результативность системы менеджмента качества, включая пользу от улучшений результатов деятельности». Благодаря трендовой диаграмме работники сразу видят результат от проведения корректирующих действий, в которых они приняли участие.

9.3. Схема Исикавы

Схема Исикавы — инструмент, позволяющий выявить отношение между показателями качества и воздействующими на него факторами. Можно сказать и так: инструмент, обеспечивающий системный подход к определению фактических причин возникновения проблемы.

В 1953 г. профессор Токийского университета Каору Исикава (1915–1989), обсуждая проблему качества на одном из заводов, суммировал мнение инженеров в форме причинно-следственной диаграммы (*cause and effect diagram*), позднее названной его именем. Схема Исикавы (из-за формы ее часто называют «рыбьей костью» или «рыбьим скелетом») дает наглядное представление не только о совокупности тех факторов, которые влияют на изучаемый объект, но и о причинно-следственных связях (рис. 17).



К. Исикава

При построении схемы Исикавы к центральной стрелке, отображающей объект анализа, подводят первичные стрелки — главные факторы, влияющие на объект, затем к каждой из них стрелки, изображающие вторичные факторы и т. д. до тех пор, пока на схеме не будут упомянуты все факторы, оказывающие заметное влияние на объект анализа. Каждая из стрелок, нанесенных на схему, представляет собой, в зависимости от ее положения, либо причину, либо следствие. Можно предложить следующую последовательность построения схемы Исикавы.

1. Сформулировать проблему — определить показатель качества — тот результат, которого хотели бы достичь.

2. Провести прямую («хребет»), определить главные причины, которые влияют на показатель качества, соединяя их с «хребтом» стрелками в виде «больших костей хребта» (главных причин).

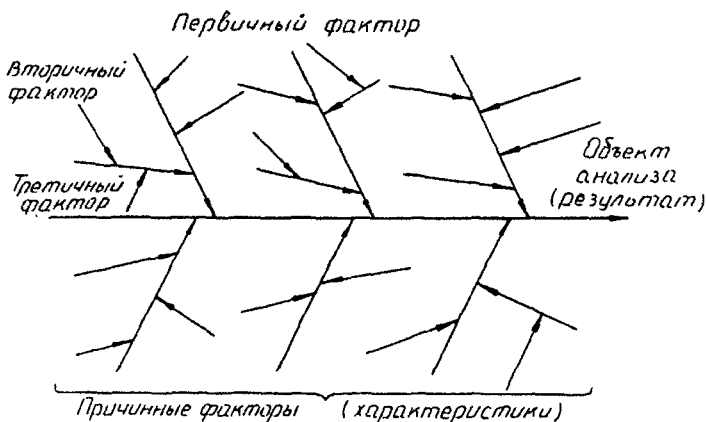


Рис. 17. Типичный вид схемы Исикавы

3. Определить вторичные причины, влияющие на главные причины и расположить их в виде «средних костей», примыкающих к «большим». Определить причины третичного порядка, которые влияют на вторичные причины, и расположите их в виде «мелких костей», примыкающих к «средним».

4. Проранжировать причины (факторы) по их значимости, используя для этого диаграмму Парето, и выделить наиболее важные, которые предположительно оказывают наибольшее влияние на показатель качества.

5. Нанести на диаграмму всю необходимую информацию: ее название; наименование изделия, процесса или группы процессов; имена участников процесса; дату и т. д.

Трудность применения схемы Исикавы в такой постановке в том, что информация для ее построения собирается из всех доступных

источников, выявляются и фиксируются все факторы. В результате часто получается громоздкая диаграмма, которая недостаточно четко структурирована, а потому не позволяет делать выводы.

Поэтому рекомендуется при определении первичных факторов использовать **мнемонический прием** (от греч. *mneomonikon* — искусство запоминания) *5m* (иногда *4m* и *6m*), определяя процесс формирования качества как взаимодействие *5m*: *material* (материал), *machine* (оборудование), *man* (исполнитель), *method* (метод), *measuring* (измерения).

На рис. 17 приведена схема Исикавы, построенная на основе использования мнемонического приема *4m*, при построении этой диаграммы были приняты во внимание только четыре группы причин дефектов: персонал, технология, машины и оборудование, сырье. Цель — выявление причины появления дефекта «концевые пороки» при производстве тентового материала с поливинилхлоридным покрытием для автотранспорта.

На рис. 18 приведен «рыбий скелет», отражающий реальную картину анализа причин значительных доработок в одной компании. Посмотрим, например, как возникают проблемы, требующие последующей доработки.

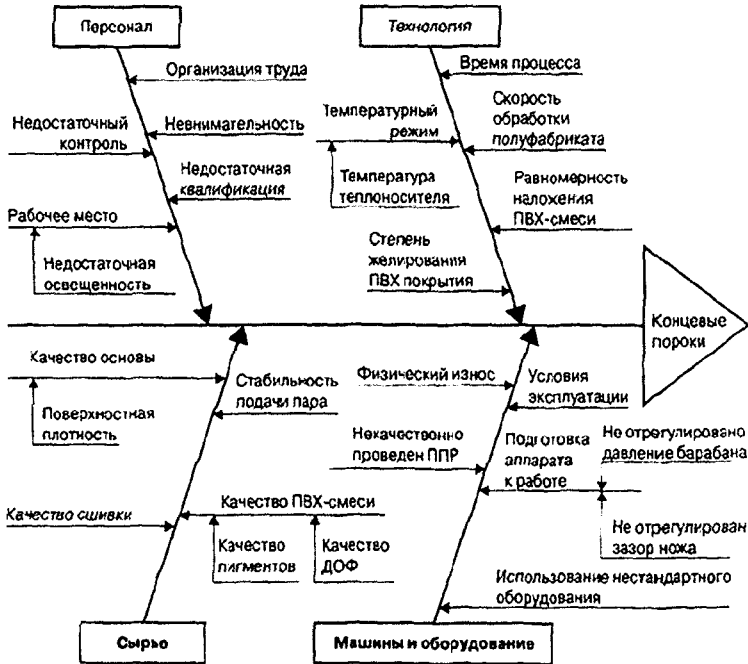


Рис. 18. Схема Исикавы, построенная с использованием мнемонического приема *4m*

1. В производственных помещениях очень темно. Почему?
 2. Потому что директор не разрешает включать все лампы. Почему?

3. Чтобы сэкономить на электроэнергии. Почему?

4. Потому что он чересчур экономный (очень жадный).

Анализ, проведенный аналогичным образом для других «костей», выявил одну и ту же коренную причину — жадность.

Другой пример:

1. Устройство выпадает из крепежного гнезда. Почему?

2. Потому что в собранном виде его не удается плотно вставить в отверстие. Почему?

3. Потому что диаметр компонента меньше требуемого. Почему?

4. Потому что компоненты имели неправильные размеры. Почему?

5. Потому что средства измерения оказались не откалиброванными. Почему?

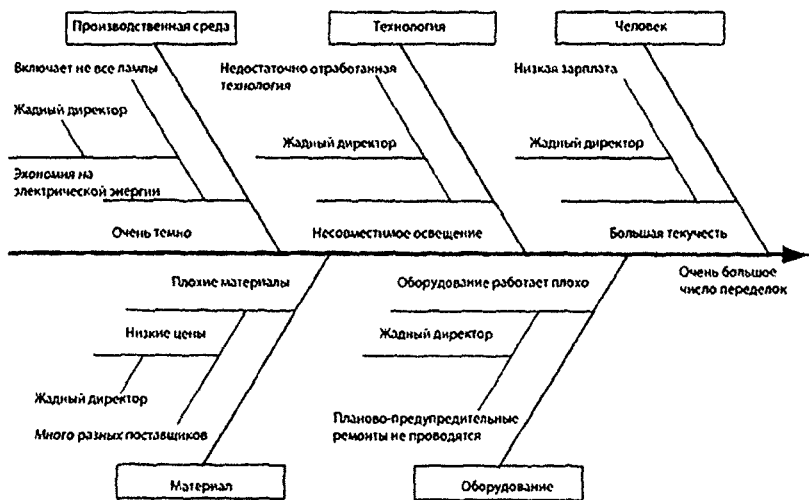


Рис. 19. Пример сочетания схемы Исикавы mnemonicского приема 5т и подхода «пять почему?»

Коренная причина — никто не отвечает за калибровку средств измерений. Схема Исикавы позволяет стимулировать творческое мышление, представить взаимосвязь между причинами и сопоставить их относительную важность. Она обладает рядом достоинств:

- позволяет графически отобразить взаимосвязь исследуемой проблемы и причин, влияющих на эту проблему;
- дает возможность провести содержательный анализ цепочки взаимосвязанных причин, воздействующих на проблему;

- удобна для применения и понимания персоналом. Для работы со схемой Исикавы не требуется высокая квалификация сотрудников, и нет необходимости проводить длительное обучение.

В то же время при построении диаграммы не рассматривается логическая проверка цепочки причин, ведущих к первопричинам, т. е. отсутствуют правила проверки в обратном направлении от первопричины к результатам. Кроме того, используя этот инструмент, сложно определить взаимосвязи исследуемой проблемы и причин, если проблема комплексная, т. е. является составной частью более сложной проблемы.

9.4. Гистограмма

Гистограмма — инструмент представления данных, сгруппированных по частоте попадания в определенный (заранее заданный) интервал. Последние являются основаниями столбиков одинаковой ширины, на которые разбивается ряд измерений, высота столбиков пропорциональна числу наблюдений, попавших в данный интервал. Предназначен для определения формы распределения совокупности однородных данных.

Гистограмма (от греч. *Histos* — ткань, в данном случае — столб) — это графическое обобщение вариаций в наборе данных, которое позволяет увидеть закономерности, трудно различимые в простой таблице с набором цифр. Иногда гистограмму называют частотным распределением, так как она показывает частоту появления измеренных значений параметров объекта.

Разработка метода гистограмм приписывается французскому статистiku А. М. Гэри, который в 1833 г. ввел новый тип столбикового графика для анализа данных о преступности. Он расположил столбики так, чтобы показать число преступлений, совершаемых лицами разного возраста. Так как Гэри представил данные в виде картинки, а не в форме колонок с цифрами, было легче сделать выводы относительно преступности во Франции. Дж. Тьюки приписывается афоризм, что простейший график содержит больше информации, чем груда цифр. По существу, именно на основе графического анализа представляется возможным сформулировать гипотезы о структуре данных.

Гистограмма позволяет зрительно оценить величину разброса данных, понять вариабельность и принять решение о том, на чем следует сфокусировать внимание с целью улучшения процесса. С помощью гистограммы сравнивают показатели качества с требованиями нормативно-технической документации, состояние технологического процесса до и после принятия мер. Если на контролируемый параметр существует поле допуска, то по гистограмме можно увидеть в какую

сторону и как смещается значение контролируемого показателя относительно поля допуска.

Построение гистограммы ведется в следующей последовательности. Пусть мы имеем ряд наблюдений: x_1, x_2, \dots, x_n . Оценивается размах анализируемого параметра:

$$R = x_{max} - x_{min}. \quad (17)$$

Определяется количество интервалов (число столбиков гистограммы). Правильный выбор числа интервалов очень важен, поскольку если оно слишком мало или, напротив, излишне велико, то гистограмма не даст требуемого представления о реальной форме распределения собранных данных. Существуют различные способы для определения количества интервалов. Чаще всего используется эмпирическая формула Старджесса:

$$k = 1 + 3,3 \lg n, \quad (18)$$

где: k — количество интервалов;

n — объем выборки, т. е. количество исходных данных (рекомендуется k принимать в пределах 6–10 при $n = 100$ –150 и $k = 10$ –20 при $n > 150$).

Брукс и Каррузер рекомендуют определять количество интервалов k при заданном объеме n измерений из соотношения $k = 5 \lg n$. Строго говоря, по последней формуле число интервалов не должно превышать величины $5 \lg n$. Есть и простое эмпирическое правило: число интервалов равно квадратному корню из числа имеющихся данных. На практике можно рекомендовать следующее: исходя из имеющихся измерений подсчитать число интервалов по формулам Старджесса, Брукса и Каррузера и по эмпирическому правилу, а затем выбрать любое приемлемое значение.

Устанавливают точку отсчета первого интервала (например, в точке x_{min}). Определяется ширина интервала $d = R/k$.

Вид гистограммы зависит от объема выборки и количества интервалов: чем больше объем выборки и меньше ширина интервала, тем ближе гистограмма к непрерывной кривой. Достоинства гистограммы, как инструмента контроля качества в ее наглядности и простоте построения. В настоящее время есть возможность строить гистограммы в компьютере, например в Excel.

9.4.1. Основные формы гистограмм

Полезную информацию о характере распределения случайной величины можно получить, определив форму гистограммы. Наиболее часто встречающиеся на практике типы гистограмм приведены на серии рис. 20 и могут быть использованы в качестве образцов при анализе процессов.

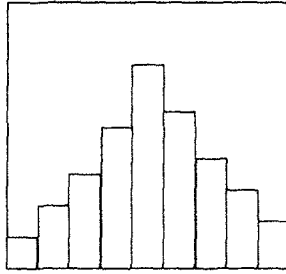


Рис. 20а. Симметричная (колоколообразная) форма гистограммы

Симметричная, или колоколообразная форма. Середина гистограммы приходится на середину размаха данных. Гистограмма имеет симметричный вид. Наивысшая частота оказывается в середине и постепенно снижается к обоим концам. Она указывает на стабильность процесса.

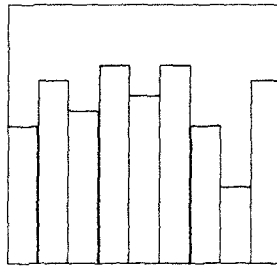


Рис. 20б. Мультиимодальная форма гистограммы

Гребенка (мультиимодальная форма). Интервалы через один имеют более низкие (высокие) частоты. Такая форма встречается, когда число единичных наблюдений, попадающих в интервал, колеблется от интервала к интервалу или когда действует определенное правило округления данных.

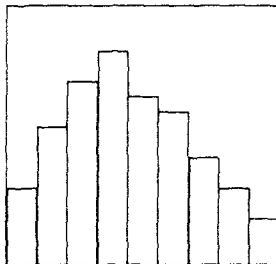


Рис. 20в. Положительно скошенное распределение

Положительно скошенное распределение (отрицательно скошенное распределение). Среднее значение гистограммы локализуется слева (справа) от центра размаха. Частоты довольно резко спадают при движении влево (вправо) и, наоборот, медленно — при движении в обратном направлении. Форма асимметрична. Такая форма встречается, когда левое (правое) значение поля допуска недостижимо.

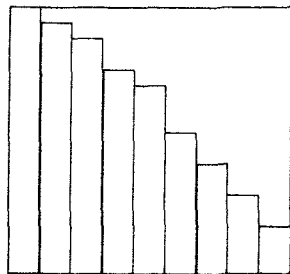


Рис. 20г. *Распределение с обрывом справа*

Распределение с обрывом справа (распределение с обрывом слева). Среднее значение гистограммы локализуется далеко слева (справа) от центра размаха. Частоты круто спадают при движении влево (вправо) и, наоборот, медленно в обратном направлении. Форма асимметрична. Это одна из тех форм, которые часто встречаются при 100% контроле изделий из-за плохой воспроизводимости процесса, а также когда проявляется резко выраженная положительная (отрицательная) асимметрия.

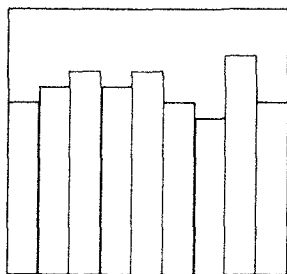


Рис. 20д. *Равномерное распределение*

Равномерное или прямоугольное распределение (плато). Частоты в разных интервалах образуют плато, поскольку все интервалы имеют более или менее одинаковые ожидаемые частоты. Такая форма получается в случае смесей нескольких распределений, в которых средние значения близки. Анализ такой гистограммы целесообразно проводить, используя метод расслоения.

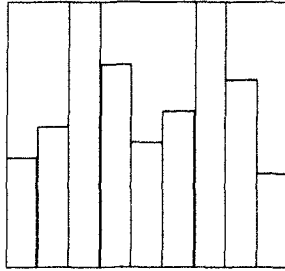


Рис. 20е. Двухпиковая (бимодальная) форма

Двухпиковая (бимодальная) форма. В окрестностях центра диапазона данных частота низкая, т. е. по пику с каждой стороны. Такая форма встречается, когда смешиваются два распределения с далеко отстоящими средними значениями.

При интерпретации гистограмм необходимо помнить о следующем:

- прежде чем провозгласить свои заключения, убедитесь, что данные не устарели, а представительны для текущих условий процесса. Майрон Трайбус сравнил использование старых показателей с управлением автомобилем через зеркало заднего вида;
- не делать выводов, основанных на малых выборках (на основании эмпирического правила для построения гистограммы должно быть не менее 40 наблюдений);
- помнить, что присутствует некоторая субъективность в представлении формы гистограммы и интерпретации ее — это лишь теория, которая должна быть подтверждена дополнительным анализом и наблюдениями за процессом.

Всегда хорошо помнить мудрые слова Эдварда Деминга, сказанные по другому поводу: «Любая методика может быть полезна, если понята и соблюдаются ее ограничения».

9.5. Диаграмма рассеяния

Диаграмма рассеяния — инструмент, позволяющий определить вид и тесноту связи между двумя параметрами.

Диаграммы рассеяния применяются для выявления зависимости одной переменной величины (показателя качества, параметра технологического процесса, характеристики явления и т. п.) от другой. Применяется для подтверждения взаимосвязи, выявленной в результате применения причинно-следственной диаграммы (схемы Исикавы). Обычно определяется связь между двумя переменными, которые могут относиться к характеристике качества и влияющему на нее фактору,

двум различным характеристикам качества, двум факторам, влияющим на одну характеристику качества.

Между различными явлениями в природе и характеризующими их величинами существует множество взаимосвязей, отражающих их взаимное влияние. В математике для описания связей между переменными величинами используют понятие функции F , которая ставит в соответствие каждому определенному значению независимой переменной X определенное значение зависимой переменной Y . Зависимость $Y = F(X)$ является однозначной (для данного значения X существует единственное значение Y) и называется функциональной.

Например, величина электрического тока находится в функциональной зависимости от приложенного к проводнику напряжения. Однако имеется много факторов, которые также оказывают влияние на величину электрического тока, хотя и в меньшей мере. В некоторых случаях именно они влияют на качество продукции. Подавляющее число взаимосвязей между величинами имеет не функциональный (детерминированный) характер, а стохастический (случайный). Так, например, объем продаж невозможно точно прогнозировать с изменением цены, производительность обработки заготовок на станках вероятностно зависит от режимов резания и т. д.

При технологической подготовке производства обычно не удается на основании теоретических знаний предусмотреть все особенности процесса, учесть влияние всех факторов. При этом часто возникает вопрос, оказывает ли данный фактор влияние на интересующую нас величину. Диаграмма рассеяния дает возможность, например, выяснить, как технологический фактор X какого-то процесса влияет на выходной параметр Y изделия, изготавливаемого в этом процессе. Например, выяснение зависимости накопившейся невыполненной работы на число ошибок при вводе данных в компьютер.

Такого рода статистическая зависимость между переменными величинами называется корреляционной. Она возникает тогда, когда один из признаков зависит не только от второго, но и от ряда случайных факторов или условий, от которых зависят оба фактора. Корреляционная зависимость свидетельствует о том, что изменения одного признака соответствуют определенному изменению другого.

Пары данных и составляют диаграмму рассеяния, которое называют также полем корреляции.

Построение диаграммы выполняется в следующей последовательности:

1. Собираются парные данные (x, y) , между которыми исследуется зависимость, и заполняется таблица.
2. Определяются максимальные и минимальные значения для x и y . На графике ордината обычно характеризует величину, которую

хотели бы предсказать, например, для числа ошибок, а абсцисса ту переменную, которая явилась причиной, например, объем накопившейся невыполненной работы. Пары данных и составляют диаграмму рассеяния.

3. Строится график, на который наносятся данные.

4. На график наносятся необходимые обозначения.

Наиболее часто встречающиеся виды диаграмм рассеяния приведены на рис. 21. После построения диаграммы рассеивания необходимо изучить связи между x и y , которые могут быть линейными и нелинейными, положительными или отрицательными. Для оценки степени корреляционной зависимости обычно вычисляют коэффициент корреляции по формуле:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}}, \quad (19)$$

где: x_i, y_i — значения параметров x и y для i -го измерения;

\bar{x}, \bar{y} — средние арифметические значения величин x и y ;

n — число измерений в выборке (объем выборки).

Расчитанный таким образом коэффициент корреляции характеризует наличие только линейной связи между признаками. Случайные величины (X, Y) называются некоррелированными, если их коэффициент корреляции равен нулю. Из независимости случайных величин следует их некоррелированность; напротив, некоррелированность не означает независимости. Существует многообразие *нелинейных* связей между признаками, которые не коррелированы. Рекомендуемое значение для выполнения корреляционного анализа n больше 30. Использование коэффициента корреляции дает содержательные результаты, если мы имеем дело с *нормально распределенными выборками*. Если нормальность не просматривается, полезно одновременно использовать обычный r_N и *ранговый* коэффициент корреляции $r_N^{(s)}$, который называют коэффициентом корреляции Спирмена (1863—1945) в честь английского психолога, который ввел его в 1904 г. [14].

Его можно вычислять по обычной формуле для коэффициента корреляции, используя ранги членов вариационного ряда ($r_{(i)}$ есть *ранг* R_i первого члена выборки x_i). Коэффициент ранговой корреляции обладает большей робастностью, чем r_N . Иными словами, если в выборке часть данных «испорчена» при измерениях, неудачном отборе и т. п., то величина $r_N^{(s)}$ устойчива к подобным «сбоям в данных». Ранговый коэффициент корреляции Спирмена, во-первых, не меняется при любых монотонных преобразованиях шкал, во-вторых, устойчив к всевозможным сбоям в данных (если их немного) и, наконец, почти

не зависит от закона распределения исследуемых признаков на плоскости.

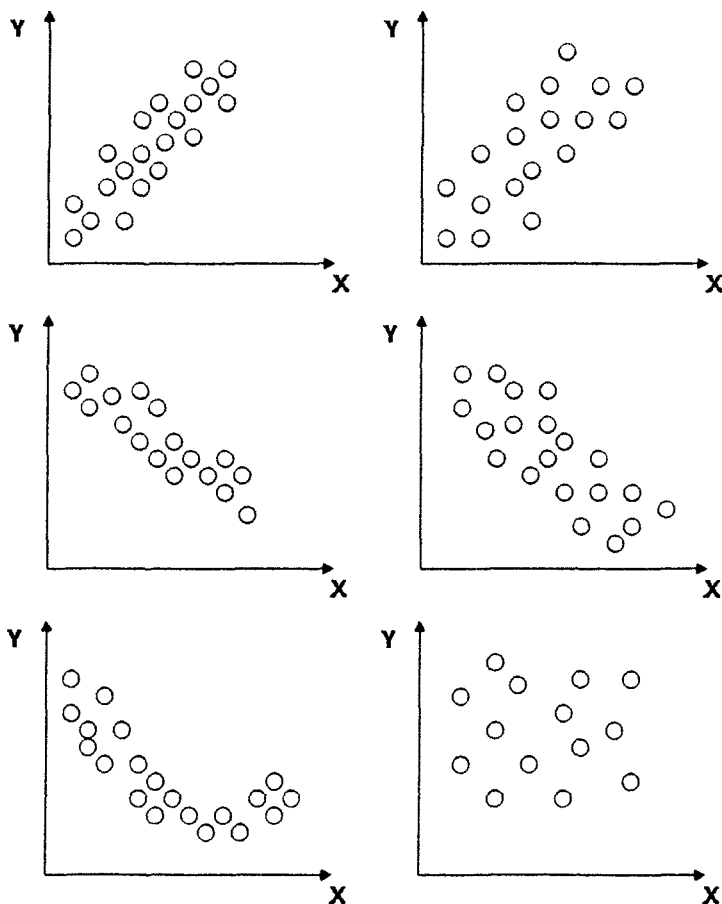


Рис. 21. Основные виды диаграмм рассеяния:

- а* – положительная корреляция; *б* – слабая положительная;
- в* – отрицательная; *г* – слабая отрицательная;
- д* – нелинейная корреляция; *е* – отсутствие корреляции

Важно помнить, что, если две переменные кажутся связанными, это не означает, что они таковыми являются. Термин «ложные» корреляции используется, когда расчетное значение коэффициента корреляции высокое, но его нельзя интерпретировать как зависимость одного признака от другого. Причины ложных корреляций могут быть разные, но в основном они вызываются двумя: *латентными* (скры-

тыми от наблюдателя) признаками, которые определяют значения обоих изучаемых признаков, или наличием двух или более кластеров (групп), внутри которых корреляция между признаками отсутствует, но сами кластеры группируются в пространстве около точек, лежащих на прямой линии.

Например, высокий коэффициент корреляции получается при установлении «связи» между числом студентов в регионе и количеством экономических преступлений, между числом травм в городах России и числом учителей средних школ, поскольку в этих случаях оба признака прямо пропорциональны числу жителей в регионе. Установлено, что цена продуктов питания и стоимость жилья связаны друг с другом, но на деле обе эти величины связаны с инфляцией или с ростом стоимости производства. Кажущаяся связь представляет собой ловушку для исследователей. Рассказывают историю об одном государственном деятеле, который обнаружил, что в его государстве имеется весьма сильная корреляция между ростом продажи пива и увеличением доходов школьных учителей. Отсюда он сделал вывод, что не следует повышать учителям зарплату, так как они начнут потреблять больше пива.

«Когда статистики добрались до книг регистрации жителей города Стокгольма, они обнаружили там массу самых разнообразных записей за сто лет. Их заинтересовали данные по числу новорожденных в семьях этого города и по числу аистов, которые, согласно правилам, регистрировались. Корреляция между этими двумя показателями оказалась практически неотличимой от единицы! Наконец-то удалось научно «доказать», что аисты приносят детей. Сторонники точки зрения, что детей находят в капусте, были посрамлены. Понятно, что в данном случае секрет прост: и дети, и аисты зависят от уровня материального благосостояния жителей» [*Адлер Ю. П., Шнер В. Л.* Практическое руководство по статистическому управлению процессами. М.: Альпина Паблишер, 2019. 234 с.]

Возможны и случаи кажущегося отсутствия связи, обусловленного многими причинами: малым числом данных, не позволяющего установить наличие связи, чрезмерно большой ошибкой измерения, скрывающей наличие связи и т. п. Поэтому правильно диаграмма рассеяния может быть оценена теми, кто хорошо знаком с исследуемым процессом. Выводы статистик должен делать совместно со специалистом в той области, из которой возникла конкретная задача. Кто-то проницательно заметил «статистике часто принадлежит первое слово, но никогда — последнее!».

Необходимо помнить, что коэффициент корреляции, рассчитанный по статистическим данным, является случайной величиной и к полученному значению нельзя относиться как к физической константе, характеризующей наблюдаемые объекты. Выводы о наличии или отсутствии корреляционной связи надо делать осторожно.

9.6. Стратификация (расслаивание)

Стратификация (от латинских слов *stratum* — слой и *facio* — делаю) — метод разделения полученных данных на отдельные группы в зависимости от выбранного стратифицирующего фактора. Если удачно осуществить стратификацию по факторам, можно выявить главную причину появления разброса параметров, уменьшить его и добиться повышения качества продукции.

Понятие страты заимствовано из геологии (пласты горных пород). Распространена социальная стратификация — форма социально-групповой дифференциации, имеющей иерархический характер. В этом случае часто о социальных слоях (элита, средний класс, рабочий класс и т. д.). Критерием места, занимаемого человеком в системе социальной стратификации, может выступать, например, уровень власти, богатства и многое другое.

Целью стратификации является преобразование неоднородной совокупности данных в набор однородных подсовкупностей, что позволяет применять статистический анализ. Иногда стратификация дополняет результаты, полученные по диаграммам рассеивания. Бывает, что диаграмма рассеивания не показывает наличие связи, а после стратификации такую связь оказывается возможным установить.

Стратификация помогает выяснить причину появления дефекта, если обнаруживается разница в данных между «слоями». Например, если стратификация проведена по фактору «оператор», то при значительном различии в данных можно определить влияние того или иного оператора на качество изделия; если по фактору «оборудование» — влияние использования разного оборудования. При анализе источника дефектной продукции, поставляемой предприятию несколькими поставщиками, целесообразно в качестве стратифицирующего фактора выбрать поставщиков и произвести стратификацию дефектной продукции по поставщикам. При проведении стратификации необходимо, чтобы соблюдались два условия:

- разброс значений случайной величины внутри слоя должен быть как можно меньше по сравнению с исходной совокупностью;
- различие между слоями (различия между средними значениями случайных величин слоев) должно быть как можно больше.

В производственных процессах для расслаивания часто используется описанный ранее мнемонический прием, основанный на подборе английских слов, начинающихся на букву *M* и определяющих основные факторы стратификации.

1. *Man (manpower)* (персонал) — стратификация по исполнителям (по их квалификации, стажу работы, полу и т. п.).

2. *Machine* (машина) — стратификация по машинам, станкам, оборудованию (по-новому и старому оборудованию, марке, конструкции, выпускающей фирме и т. п.).

3. *Material* (материал) — группировка по виду материала, сырья, комплектующих (по месту добычи или производства, фирме-изготовителю, партии сырья, сорту материала и т. п.).

4. *Method* (метод, технология) — расслоение по способу производства (по температурному режиму, технологическому приему, номеру цеха, бригады, участка, смене, рабочим и т. п.).

5. *Measurement* (измерение) — по методу измерения, типу измерительных средств, классу точности прибора и т. п.

6. *Media Environment* (окружающая среда) — по температуре, влажности воздуха в цехе, магнитным и электрическим полям, солнечному излучению и т. п.

Наиболее часто производится группировка статистических данных по первым четырем факторам. Рассматривая каждый из них, можно выявить факторы второго порядка, оказывающие влияние на разброс показателей качества, зависящие от того или иного показателя первого порядка. Факторами стратификации второго порядка могут быть следующие:

- оборудование (тип и форма, конструкция, срок службы, расположение);
- человеческий фактор (заказчик, оператор, рабочий, поставленный в замену, мастер, стаж работы);
- исходные материалы (изготовитель, торговая марка, партия);
- методы (методы операций, условия операций — температура, давление и т. д., система сдачи продукции);
- время (дата, первая или вторая половина дня, день или ночь, день недели);
- изделие (тип, сорт, качество, партия).

На практике метод стратификации используют многократно, расслаивая данные по различным признакам. Преимущества, которые дает стратификация, связаны с возможностью обработки определенных групп данных по отдельности, что позволяет выявить зависимости, которые при работе со всей совокупностью могут не проявляться. Расслоение данных позволяет получить представление о скрытых причинах дефектов или выявить неочевидные пути улучшения качества продукции. Кроме того, упрощается анализ статистических данных.

К недостаткам этого метода можно отнести необходимость предварительного учета факторов стратификации. Если факторы будут выбраны неверно, то стратификация не даст ожидаемого результата. Этот инструмент может служить дополнением к рассмотренным ранее.

9.7. Контрольная карта

9.7.1. Назначение контрольной карты

Контрольная карта — инструмент, позволяющий контролировать протекание процесса и воздействовать на него, предупреждая его отклонения от предъявленных к процессу требований.

В отличие от шести остальных простых инструментов качества, которые дают возможность зафиксировать состояние процесса в определенный момент времени, контрольные карты позволяют следить за состоянием процесса и при необходимости воздействовать на него, предупреждая выход из-под контроля.

Э. Деминг в своем труде «Выход из кризиса» отмечая, что качество должно быть встроено в производство, а не обеспечено контролем, добавлял: «что действительно нужно менеджменту, так это контрольные карты». А другому творцу японского экономического чуда К. Исикаве принадлежат слова: «контроль качества начинается с контрольной карты и завершается ею».

Контрольная карта Шухарта является главным инструментом и основой статистического мышления. Можно сказать, что она — инструмент совершенствования любых процессов деятельности. Контрольная карта Шухарта применяется в самых различных сферах деятельности (в образовании, медицине, сфере услуг, при анализе бизнеса, государственном управлении и т. п.) [83]. Применение контрольной карты определяет процедуру статистического регулирования технологических процессов. При Всеобщем управлении на основе качества статистическое регулирование технологических процессов становится элементом системного подхода [78]. Понятие «производственный процесс» шире, чем «технологический процесс».

Производственный процесс — совокупность всех действий людей и орудий труда, необходимых на данном предприятии для изготовления и ремонта продукции (по ГОСТ 14.004-83. Технологическая подготовка производства. Термины и определения основных понятий).

Технологический процесс — часть производственного процесса, содержащая целенаправленные действия по изменению и (или) определению состояния предмета труда (по ГОСТ 3.1109-82. Термины и определения основных понятий).

Точность технологического процесса — свойство технологического процесса, обуславливающее близость действительных и номинальных значений параметров по их распределению вероятностей. (по ГОСТ 15895-77).

Стабильность технологического процесса — есть свойство технологического процесса, обуславливающее постоянство распределений вероятности его параметров в течение некоторого интервала времени без вмешательства извне (ГОСТ РВ 15.307-2002).

Стабильность процесса характеризуется величиной разброса параметра, определяемой хронической (от гр. *chronikos* — долговременный) вариацией, вызываемой общими причинами, и спорадической (от гр. *sporadikos* — рассеянный, отдельный, появляющийся от случая к случаю), зависящей от особых причин.

Хроническая вариация естественна для рассматриваемого процесса. С ней приходится мириться и устранить, возможно, лишь изменив характер процесса. Если на систему ничто не воздействует, ее вариабельность остается неизменной. В этом случае поведение системы можно предсказать. Спорадическая вариация связана с особенностями данного процесса производства — износом инструмента, ослаблением креплений, изменением температуры охлаждающей жидкости и т. п. Это причины вариаций и следует устранять при наладке процесса.

Устранение особых причин вариаций требует вмешательства в процесс и осуществляется людьми, занятыми в нем, оно может только ухудшить ситуацию, если особые причины отсутствуют. Устранение общих причин означает вмешательство в систему и требует действий со стороны высшего руководства. Оно неэффективно, если присутствуют только особые причины вариаций.

Таким образом, вмешательство в технологический процесс требуется тогда, когда выпускаемая продукция еще удовлетворяет требованиям, но показатели процесса свидетельствуют о наличии изменений, связанных с неслучайными воздействиями.

Общими причинами вариаций называют те причины, при которых все отклонения параметров (характеристик) процесса на подходящей контрольной карте находятся внутри заданных границ и не обнаруживают ни серий, ни других неслучайных структур. В этом случае процесс называют статистически управляемым, или стабильным.

Специальными причинами вариаций называют причины, которые на подходящей контрольной карте соответствуют выходящим сериям и другим неслучайным структурам. Если специальные причины вариаций присутствуют на контрольной карте, то процесс называют статистически неуправляемым, или нестабильным.

Итак, цель введения контрольных карт — отделить внутреннюю случайную вариабельность процесса (общие причины) от вариабельности, связанной с некоторой конкретной (специальной) причиной, которую следует найти и устранить. Вот, что пишет Деминг: «Погасить пожар вовсе не значит улучшить процесс. Выявление и устранение особых причин вариации, определяемых точками, выходящими за границы контрольной карты, тоже не улучшение. Это просто возвращение процесса туда, где он и должен был находиться с самого начала» [46, с. 68].

Устранение особой причины не должно повлиять на контрольные пределы карты, а если сделан шаг к совершенствованию системы, то старые пределы, скорее всего (хотя и не обязательно), придется поменять.

Система не может неопределенно долго оставаться в стабильном состоянии (по второму началу термодинамики энтропия мира стремится к максимуму. Если замкнутую систему предоставить самой себе, то она из-за спорадических вариаций рано или поздно придет в состояние хаоса). Для того, чтобы поддерживать процесс в управляемом состоянии (с точки зрения термодинамики) необходимо вводить в систему энергию извне. С этой точки зрения контрольную карту Шухарта можно рассматривать как индикатор того, что система требует дополнительной энергии. Задача состоит в том, чтобы минимизировать расход дополнительной энергии. Контрольная карта связана с понятием «временной ряд» — совокупность значений контролируемого параметра, измеренных через равные промежутки времени.

На контрольной карте Шухарта по горизонтальной оси в выбранном масштабе откладывается время или показатель, связанный со временем, например последовательные номера произведенных изделий, а по вертикальной оси — значение контролируемого параметра. Она имеет центральную линию (CL), соответствующую номинальному по техническим условиям значению характеристики, и две статистически определяемые контрольные границы относительно центральной линии, которые называются верхней контрольной границей (UCL) и нижней контрольной границей (LCL). Они представляют собой максимально допустимые пределы изменения значений контролируемой характеристики.

Вид контрольной карты для управляемого состояния представлен на рис. 22.

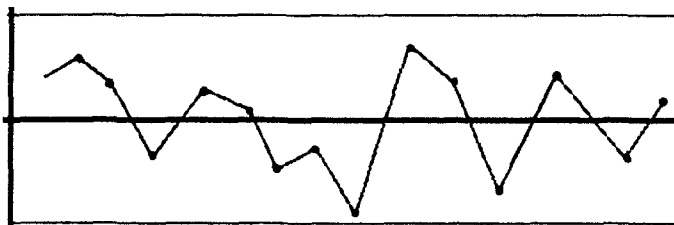


Рис. 22. Вид контрольной карты для управляемого состояния

Выход точки за границу регулирования служит сигналом о разладке. В этом случае технологический процесс останавливается для выявления и устранения особых причин. Контрольные границы на карте Шухарта находятся на расстоянии 3σ от центральной линии,

где σ — стандартное отклонение используемой статистики. Границы $\pm 3\sigma$ указывают, что около 99,7% значений характеристики подгрупп попадут в эти пределы при условии, что процесс находится в статистически управляемом состоянии. Шухарт не считал трехсигмовые границы обязательными, но почти столетний опыт применения контрольных карт подтвердил правильность такого выбора. Предполагается, что процесс имеет нормальное распределение $N(\mu_0, \sigma)$ при налаженном производстве и $N(\mu_1, \sigma)$ при наступлении разладки. Позднее выяснили, что разладка может проявляться и в виде изменения технологического рассеивания, т.е. процесс считается налаженным, если параметр имеет нормальное распределение $N(\mu, \sigma_0)$, и $N(\mu, \sigma_1)$ при наступлении разладки.

На стадии предварительного анализа состояния технологического процесса оцениваются его параметры в предположении, что процесс имеет нормальное распределение с математическим ожиданием μ_0 и средним квадратическим отклонением σ_0 . Для этого отбирается определенное количество единиц продукции при нормальном ходе производства и рассчитываются оценки параметров μ и σ . Значения параметров, соответствующих разлаженному процессу, либо задают с помощью экспертов, либо определяют при анализе забракованной продукции.

Границы регулирования должны показывать зону вариабельности, обусловленную системой, т.е. вариабельность процесса, когда в систему ничто не вмешивается. Поэтому, если на этапе предварительных исследований обнаруживаются точки, сигнализирующие о присутствии особых причин, их следует из расчета границ исключить.

Иногда контрольные границы определяют на основе установленных стандартных значений статистических характеристик. В этом случае по картам определяют, насколько отличаются выборочные значения от заданных, например, в соответствии с требованиями нормативно-технической документации или по экономическим соображениям.

В учебном пособии [4, с. 59] такой подход признается ошибочным: «Одна из часто встречающихся ошибок применения контрольных карт Шухарта состоит в том, что в качестве границ карты берутся заданные в ТУ допуски. Это неверно. Допуск — это голос потребителя, значение, которое отделяет приемлемые для потребителя значения процесса от неприемлемых. Но ниоткуда не следует, что созданная нами система (процесс) имеет именно те границы, какие нужны потребителю. Контрольные карты Шухарта позволяют найти те границы процесса, которые на практике оказались реализованными в нашей системе. Мы должны услышать голос процесса, чтобы сравнить его с голосом потребителя».

Приведем еще цитату из того же учебного пособия, в котором авторы используют при упоминании контрольной карты Шухарта аббревиатуру ККШ: «Большинство публикаций о применении ККШ рассматривают их как средство оперативного мониторинга и наладки процесса по “сигналам разладки”. А в авторском замысле им отводилась другая роль — диагностического инструмента, предназначенного для определения статистической управляемости процесса, т. е. наличия или отсутствия особых причин вариабельности. Другими словами, распространенный подход состоит в том, чтобы по обнаружении сигнала на ККШ, проводить подналадку процесса. А мы, следуя Шухарту, призываем: обнаружив сигнал на ККШ, ищите специальную причину вариаций и устраняйте ее. В первом случае мы фактически действуем по циклу $P-D-A$, пропуская этап анализа $PDSA$. Интерпретация ККШ нужна, прежде всего, не для вмешательства в процесс, а с целью получения из наших данных информации, требуемой для принятия решений на основе фактов (что соответствует одному из принципов TQM)» [4, с. 78].

Шухарт подчеркивал принципиальную разницу между отсутствием признаков неуправляемости и выводом, что процесс находится в управляемом состоянии, поскольку особые причины могут появляться и исчезать в моменты времени между измерениями контролируемого параметра.

Величина размаха наряду со средним значением характеризует стабильность системы. Поэтому необходимо совместное рассмотрение поведения этих двух индикаторов. Горизонтальная ось карты выборочных размахов та же, что и у карты средних. А по вертикальной оси откладываются значения выборочных размахов, которые вычисляются как разность между максимальным и минимальным значениями в каждой подгруппе.

Для практического пользования контрольными картами может быть полезно руководство [77]. К семи простым методам относятся семь вариантов карты Шухарта:

- 1) средних арифметических и размахов;
- 2) медиан и размахов;
- 3) индивидуальных значений;
- 4) доли дефектной продукции (p);
- 5) числа дефектных единиц продукции (pn);
- 6) числа дефектов (c);
- 7) числа дефектов на единицу продукции (u).

В зависимости от вида данных и методов их статистической обработки выделяют различные контрольные карты по количественным и качественным признакам (рис. 23).

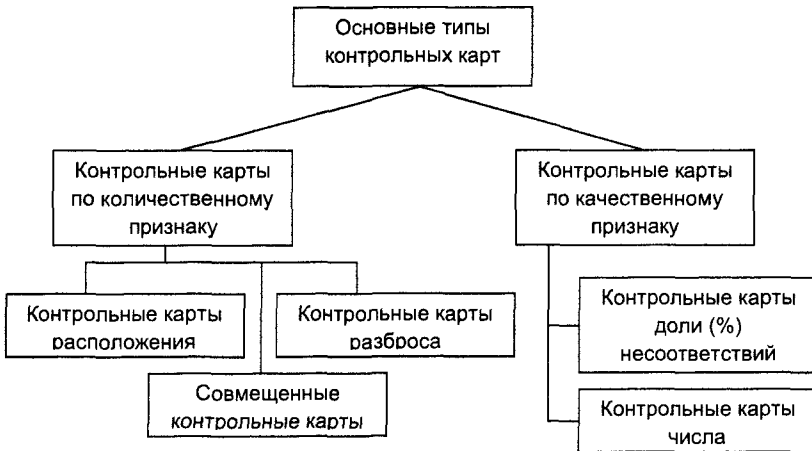


Рис. 23. Основные типы контрольных карт

9.7.2. Контрольные карты по качественным признакам

Данные бывают непрерывными и дискретными. Дискретные данные сопоставляют с качественными признаками, а непрерывные — с количественными. Количественные данные — это результаты измерений параметров, их численных значений.

Качественные данные — результаты наблюдений наличия (или отсутствия) определенного признака для каждой рассматриваемой единицы выборки и подсчета числа единиц выборки, имеющих данный признак. Эти данные являются дискретными или альтернативными, т. е. имеют два возможных уровня значений — да (нет), проходит (не проходит), соответствует (не соответствует), присутствует (отсутствует), годен (не годен) и т. д.

Поскольку дискретные величины представляют собой число появлений некоего признака (атрибута) изделий, они иногда называются атрибутами. Существует два коренных отличия атрибутов от факторов (непрерывных величин). Во-первых, в отличие от факторов атрибуты обладают естественной неустранимой дискретностью. Во-вторых, любой подсчет должен предусматривать выбор «области определения» или «множества возможных значений».

На самом деле все реальные распределения дискретны, случайные величины принимают лишь конечное число значений. Это вытекает хотя бы из того, что результаты наблюдений записываются с помощью небольшого числа (обычно от двух до пяти) значащих цифр. Именно поэтому элементы реальных выборок могут совпадать, хотя в случае непрерывных функций распределения вероятность совпадений равна нулю.

Использование дискретных данных соответствует *непараметрическому статистическому критерию* — статистическому критерию, получаемые с помощью которого статистические выводы, не зависят от распределений вероятностей случайных величин, по результатам наблюдений которых проверяют статистическую гипотезу. Вместо термина «непараметрический критерий» часто употребляют термин «критерий, свободный от распределения». Термин «непараметрический» показывает, что в основу гипотезы не кладется никаких допущений о конкретном виде распределения и что производится проверка наличия предполагаемой функции распределения.

Преимущество непараметрических статистических методов: в отличие от параметрических методов аналитической статистики непараметрических (ранговые) методы более универсальны — применимы для количественных и качественных признаков без ограничений на законы распределения изучаемых признаков, не требуют сложных вычислений выборочных параметров, обладают наглядностью и простой алгоритмов реализации.

Разработка непараметрических методов важна, поскольку во многих случаях характеристики технологических параметров неизвестны или подвержены изменениям. Построение корректных границ области управляемости процесса на контрольных картах Шухарта возможно, если исходные данные принадлежат единственному классу нормально распределенных величин. Выбор вида закона распределения случайной величины является постулатом, принимаемым без доказательства, и как тут не вспомнить высказывание британского математика, философа и общественного деятеля Бертрана Рассела (1872–1970): «Метод постулирования того, что нам требуется, обладает многими преимуществами, но такими же преимуществами обладает воровство перед честным трудом».

Часто проверке гипотезы о виде закона распределения проверяют с помощью критерия Пирсона «хи-квадрат». Но если критерий не отвергает гипотезу, например, о нормальности, это вовсе не означает, что имеет место закон Гаусса. Эмпирические данные могут не противоречить множеству других законов распределения, которые будут столь же «истинными». Поэтому ответ всегда получается неопределенным, кроме случая, когда гипотеза отвергается. Венгеро-американский математик и популяризатор науки. Дьердь Пойя (1887–1985) как-то заметил: «Природа говорит “нет” громовым голосом, а вместо “да” что-то невнятно промямливает».

Замечание о «нормальности» распределения

Классические параметрические критерии, распространенные в начале XX в., требуют предположения о нормальном распределении генеральных совокупностей, из которых извлечены выборки. На

практике такие генеральные совокупности встречаются редко. Так в начале обзора [Gail F. Fahoome. Twenty nonparametric statistics and their large sample approximations // Journal of Modern Applied Statistical Methods. No 2. Wayne State University. 2002. P. 248–268] говорится, что при исследовании 440 выборок «...никакие распределения среди исследованных не прошли все тесты на нормальность, и очень немногие оказались даже приближенно нормальными».

В 1809 г. Гаусс опубликовал работу, в которой было представлено распределение, ныне называемое его именем. Это был ответ на просьбу берлинских астрономов, пытавшихся составить уравнение для описания траектории движения Луны, и столкнулись с тем, что каждый раз результаты получаются разными. В результате они попросили Гаусса помочь им правильно обработать результаты измерений. Гаусс нашел удобную для вычислений формулу. Постепенно по мере все более широкого применения нормального распределения как бы появился некий закон, которому обязаны подчиняться любые результаты наблюдений.

Эта формула завоевала мир и держит его в своих объятиях более 200 лет, позволяет пользоваться шаблоном.

Американский математик Дж. Тьюки заметил: «Предполагаемые достоинства средней арифметической были использованы для введения гауссовского распределения, а предполагаемая «истинность» гауссовского распределения была использована для доказательства оптимальности средней арифметической. Нет сомнения в том, что этот круговорот был очевиден для многих, работавших в этой области...».

Об этом же и высказывание Липмана (цитируемом А. Пуанкаре в своем труде «Исчисление вероятностей», Париж, 1912 г.): «Каждый уверен в справедливости закона ошибок, экспериментаторы — потому, что они думают, что это математическая теорема, математики — потому, что они думают, что это экспериментальный факт». Сравнительно простые математические свойства нормального закона делают его удобным в применении. Приведя высказывание Липмана, Г. Крамер добавляет: «Стоит отметить, что обе стороны совершенно правы, если только это их убеждение не слишком безусловно: математическое доказательство говорит нам, что *при некоторых ограничительных условиях* мы вправе ожидать нормального распределения, а статистический опыт показывает, что в действительности распределения являются *приближенно нормальными*» [Крамер Г. Математические методы статистики / пер. с англ. М.: Госиздат иностр. литерат., 1948. 632 с.].

Преимущество контрольных карт по альтернативному признаку состоит в возможности быстро получить общее представление о различных аспектах качества анализируемого изделия. Кроме того, этот

тип контрольных карт более понятен менеджерам, которые не разбираются в тонкостях методов контроля качества.

Границы регулирования на контрольных картах для альтернативных данных рассчитывают на основе биномиального распределения или распределения Пуассона. Наиболее часто используют четыре типа карт «С», «U», «Np» и «P».

С-карта или карта дефектов. В таких контрольных картах строится график числа дефектов (в партии, в день, на один станок и т. п.). При этом делается предположение, что дефекты контролируемой характеристики продукции встречаются сравнительно редко, а контрольные границы для данного типа карт рассчитываются на основе распределения Пуассона (распределения редких событий).

U-карта. В карте данного типа строится график относительной частоты дефектов, то есть отношения числа обнаруженных дефектов к n — числу проверенных единиц продукции (здесь n обозначает, например, объем партии). В отличие от С-карты, для построения карты данного типа не требуется постоянство числа единиц проверяемых изделий, поэтому ее можно использовать при анализе партий различного объема (*распределение Пуассона*).

Если подгруппа или проба состоит из нескольких единиц продукции (или товара) и число единиц от пробы к пробе меняется, то вместо карты «с» можно воспользоваться *картой «u»*, где значение «u» равно

$$u = \frac{c}{n} = \frac{\text{Общее число наблюдаемых в пробе дефектов}}{\text{Число единиц в пробе}} \quad (20)$$

Тогда карту «С» можно считать частным случаем карты «U» для $n = 1$.

Np-карта. В контрольных картах этого типа строится график для числа дефектов (в партии, в день, на станок), как и в случае С-карты. Однако контрольные пределы этой карты рассчитываются на основе биномиального распределения, а не распределения Пуассона. Поэтому данный тип карт должен использоваться в том случае, когда обнаружение дефекта не является редким событием (например, когда обнаружение дефекта происходит более чем у 5% проверенных единиц продукции) (*Биномиальный закон*).

P-карта. В картах данного типа строится график процента обнаруженных дефектных изделий (в расчете на партию, в день, на станок и т. д.). График строится так же, как и в случае U-карты. Однако контрольные границы для данной карты находятся на основе биномиального распределения (для долей), а не распределения редких событий. Поэтому P-карта наиболее часто используется, когда появление дефекта нельзя считать редким событием (*Биномиальный закон*).

Чтобы понять в каком случае использовать биномиальное распределение, в каком распределение Пуассона можно воспользоваться следующим простым советом. Если известен весь объем совокупности, из которой выбирается контролируемая подгруппа, то следует применять биномиальное распределение. Если полный объем совокупности неизвестен, то надо воспользоваться распределением Пуассона (иногда такую ситуацию описывают, как «число наблюдений больше числа проверенных объектов»). Подробнее особенности биномиальной и пуассоновской моделей рассматриваются в разделе 11.

9.7.3. Контрольные карты по количественным признакам

Карты для контроля количественных признаков применяются в тех случаях, когда параметр продукции или процесса может быть измерен (размеры деталей, продолжительность процесса, температура, электрические параметры и т. д.). Применение таких карт, если оно в принципе возможно, предпочтительнее использования карт для контроля по качественному признаку, так как позволяет получить более подробную информацию о состоянии процесса.

Как отмечалось выше при использовании параметрических методов существует опасность неудачного выбора вида функции, и это может привести к неверным выводам. Иными словами, если мы применяем параметрический подход к данным с неизвестным распределением, то потери эффективности оценок могут отличаться не в лучшую сторону как угодно сильно.

Вместе с тем, знание вида закона распределения позволяет уменьшить необходимое число опытов при сохранении заданной достоверности. Индийский статистик Рагу Радж Бахадур (1924–1997) показал, что, если данные строго подчиняются нормальному закону, а мы применяем непараметрические методы, то их эффективность в сравнении с классическим параметрическим подходом будет в «пи» раз хуже. Практически это значит, что оценки неопределенности данных будут в три раза шире классических. В работе [33] проведено сравнение точности статистических оценок, полученных на основе параметрического и непараметрического критериев, в случае законов распределения отличных от нормального (экспоненциального, Вейбулла) по ширине доверительного интервала. Показано, что точность оценки в случае применения параметрического метода по сравнению с непараметрическим выше в два раза и возрастает при увеличении доверительной вероятности и уменьшении объема выборки.

Практически это означает, когда исследователь имеет возможность получить практически неограниченное число данных (при демографических, социологических, некоторых случаях медицинских исследований), имеет смысл пользоваться методами непараметрической статистики. При обработке данных испытаний на надежность изделий

электронной техники, дорогостоящих и выпускаемых малыми партиями, целесообразно применять параметрические методы.

Традиционный математический переход от дискретных величин к непрерывным диктуется физическими предпосылками. Вид распределения контролируемого показателя иногда можно обосновать, исходя из физических соображений. Эксцентриситет, биение, погрешности формы детали (конусность, овальность), а также погрешности взаимного расположения поверхностей могут быть аппроксимированы распределением Рэлея; концентрация раствора в химическом процессе иногда может быть описана с помощью логнормального распределения, и т. п. Иногда подлежащий корректировке параметр имеет нормальное распределение.

Контрольные карты по количественным признакам — это, как правило, сдвоенные карты, одна из которых изображает изменение среднего значения параметра, а другая — его разброса, который вычисляется на основе размаха R (разницы между наибольшим и наименьшим значениями контролируемого параметра) или среднеквадратического отклонения процесса S .

К важнейшим видам *контрольных карт по количественному признаку* относятся следующие: карта средних значений (карта « \bar{x} »), карта индивидуальных значений (ее можно считать видом карты средних значений при объеме пробы равной единице), карта медиан и комбинированные контрольные карты: карта « \bar{x}/s », карта « \bar{x}/R » (R — размах ряда измерений) и карта « \tilde{x}/R » (\tilde{x} — медиана ряда измерений), дающие значительно больше информации, чем карты с одной характеристикой. Кроме того, имеется ряд вариантов других видов карт, например карта крайних значений и т. д., построение и ведение которых описано в специальной литературе.

При построении карты размахов или карты выборочных стандартных отклонений по каждой выборке находятся соответственно размах или стандартное отклонение, которые наносятся на карту с установленными на ней контрольными границами. Если карта среднего позволяет обнаружить разладку технологического процесса относительно центра настройки, то карты размахов или стандартных отклонений предназначены для обнаружения разладки точности.

Использование контрольных карт Шухарта остается актуальным и ныне, однако, предоставляя информацию о текущем состоянии процесса, они не показывают тенденций его изменения и предназначена для обнаружения резких изменений контролируемого параметра, например при поломке резца. В то же время постепенную разладку эти карты «чувствуют» не сразу. Это объясняется тем, что статистики, отражающие состояние процесса, рассматриваются независимо друг от друга, т. е. каждый последующий результат выборочного контроля никак не учитывает предыдущую информацию. В отличие от Японии,

в Америке в основном используют кумулятивные (лат. *cumulo* — накапливать) контрольные карты, которые показывают, к чему стремится процесс, но не показывают его текущего состояния. О применении кумулятивных контрольных карт говорится в разделе 12.

На практике часто возникает ситуация, когда все точки находятся в зоне между границами регулирования, но и без анализа ясно, что с процессом что-то происходит. Например, расположение группы последовательных точек около одной контрольной границы, но не выход за нее свидетельствует о нарушении уровня настройки оборудования или сильное рассеяние точек относительно средней линии указывает на снижение точности технологического процесса. Со временем перечень признаков, по которым можно визуальнo оценить статистическую управляемость процесса был расширен и появились специальные характеристики поведения процесса.

Серия — это такое состояние, когда точки неизменно оказываются по одну сторону от средней линии, причем число таких точек называется длиной серии (рис. 24). Серия длиной в семь точек рассматривается как ненормальная.

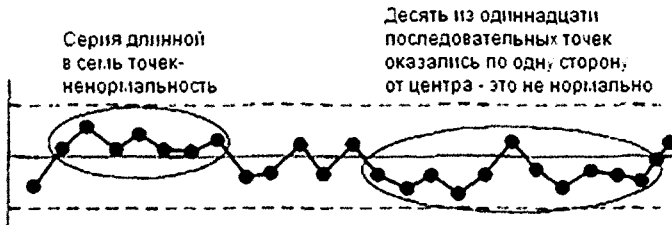


Рис. 24. Серия

Тренд (дрейф) — это проявление ненормального состояния процесса, когда точки (не менее семи подряд) образуют непрерывно повышающую или понижающую кривую (рис. 25).

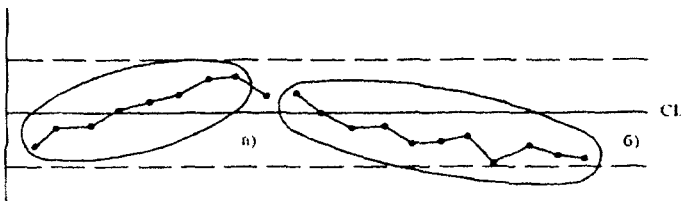


Рис. 25. Тренд (дрейф): а) поднимающийся тренд, б) падающий тренд

Приближение к контрольным пределам. Рассматриваются точки, которые приближаются к 3-сигмовым контрольным пределам, причем, если из трех последовательных точек две оказываются за 2-сигмовы-

ми линиями, то такой случай надо рассматривать как ненормальный (рис. 26).

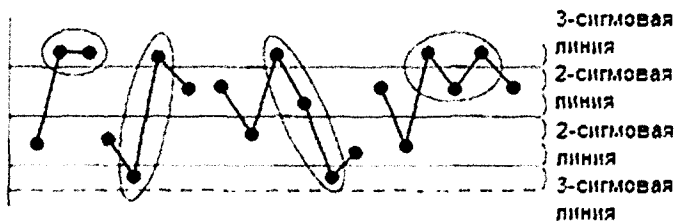


Рис. 26. Приближение к контрольным границам

Периодичность. Когда кривая имеет периодическую структуру (то подъем, то спад) с примерно одинаковыми интервалами времени, это тоже ненормально (рис. 27).

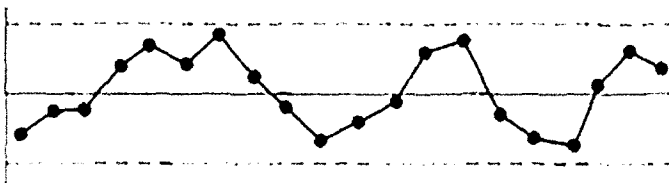


Рис. 27. Периодичность

Приближение к центральной линии. Если на контрольной карте большинство точек концентрируется в пространстве, ограниченном 1,5-сигмовыми линиями, делящими пополам расстояние между центральной линией и каждой из контрольных границ, то причина, скорее всего, в неподходящем способе разбиения данных на подгруппы (рис. 28).

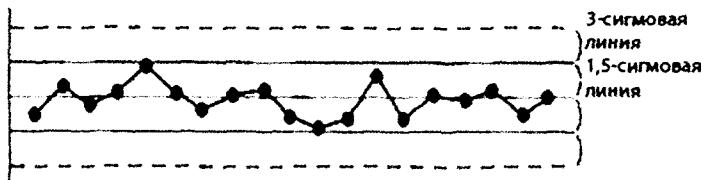


Рис. 28. Приближение к центральной линии

Предлагались и более сложные схемы регулирования. Грамотное построение контрольной карты представляет собой сложную задачу и требует определенных знаний. Однако, любая пусть первоначально неэффективная контрольная карта, — необходимое средство для на-

ведения порядка в контроле технологического процесса. Вспоминая о своей работе по статистическому регулированию технологических процессов Б. В. Гнеденко (1912–1995) пишет: «Для того, чтобы полезное новое стало привычным и вошло в жизнь, необходимо показать его полезность не вообще, а для самого работника... Мы показывали не только на словах, но и на деле, что минуты, потерянные на заполнение контрольной карты, позволяют дать больше продукции, которая будет принята как качественная, а следовательно, возрастет и заработок рабочего».

Общий вывод: математические формулы, используемые при построении контрольных карт, весьма просты, однако применение методов статистического контроля требует не только знания статистических законов, но и понимания технологических особенностей процесса. Посмотрев на контрольную карту и приняв во внимание собственный опыт и знания, технолог должен принять решение, считать ли выход за контрольные границы сигналом разладки или нет. Контрольная карта может быть подобрана только совместными усилиями технолога и статистика. Формальное применение контрольных карт бессмысленно.

9.8. Алгоритм применения семи простых инструментов качества

Мы приводили высказывание президента Японского общества по контролю качества Каору Исикавы о том, что 95% проблем, возникающих на производстве, решаются с помощью семи простых инструментов качества. Возможно, что столь высокий процент — это эмоциональное преувеличение, но эффективность инструментов не вызывает сомнения. Применение любого из методов доступно сотруднику независимо от квалификации и не требует специальных знаний. Обычно, когда говорится о «великолепной семерке» инструментов качества подчеркивается, что они могут применяться в любой последовательности.

В отличие от математики, где от перемены мест слагаемых сумма не меняется, по нашему мнению, при использовании одних и тех же инструментов качества, но в разной последовательности можно получить различные результаты [36, 37].

9.8.1. О последовательности применения простых инструментов качества

При составлении плана контроля продукции нужен системный подход. Прежде всего нужно определить цель применения инструментов качества, например, совершенствование контроля и регулирования производственного процесса, анализ отклонений от установленных

требований, контроль готовой продукции. Высказывалось мнение, что контрольный листок и стратификация позволяют выявить проблему, а гистограмма, диаграмма рассеяния и контрольная карта способствует анализу ситуации. Что касается диаграммы Парето и схемы Исикавы, то они в некотором смысле универсальны и способствуют и выявлению проблемы, и ее анализу.

Независимо от цели применения семи инструментов качества начинать следует с контрольного листка. Тезис о том, что необязательно использование всех семи инструментов не вызывает сомнения. Если нежелательный фактор (причина несоответствия) был обнаружен после применения части инструментов и его можно устранить с помощью простого решения, это надо сделать незамедлительно без применения остальных методов.

Приведем несколько наиболее характерных, на наш взгляд, последовательностей применения инструментов контроля качества.

Контрольный листок — гистограмма. Может использоваться для наиболее простых ситуаций, когда после сбора информации и представления ее в виде гистограммы можно сразу же принимать решения о необходимых мерах.

Контрольный листок — Стратификация — схема Исикавы. Целесообразно применять при контроле качества услуг. Разделение данных на слои поможет построить «рыбью кость». В данном случае причинно-следственная диаграмма выполняет ведущую роль, а стратификация является вспомогательной.

Контрольный листок — Контрольная карта Шухарта — диаграмма разброса — схема Исикавы — гистограмма. Такая методика хорошо подходит для контроля процесса, если причины не явно выражены. После получения первичных данных по контрольной карте, диаграмме разброса и с помощью схемы Исикавы выявляются причины разладки и принимаются необходимые меры для ее предотвращения. Гистограмма в данном случае поможет взглянуть на данные контрольной карты с «другой стороны», то есть представить информацию более наглядно.

9.8.2. Алгоритм эффективного применения «Семи простых инструментов качества»

В общем случае последовательность применения семи инструментов может быть следующая (рис. 29). Сначала определяют, каким образом можно собирать информацию о процессе, для чего используется контрольный листок, форма которого разрабатывается в зависимости от поставленной цели и задачи. После внесения в контрольный листок всей необходимой информации на основании ее анализа строится диаграмма Парето, которая поможет выявить наиболее важные несоответствия, которые больше всех влияют на понижение уровня

качества данного изделия и на которые следует обратить внимание в первую очередь.



Рис. 29. Алгоритм применения семи инструментов качества

Результаты анализа диаграммы Парето могут служить входом для последующего построения схемы Исикавы. Для этого из небольшой группы факторов, выявленных с помощью диаграммы Парето, выбирается первый по значимости и составляется схема Исикавы, пытаясь логически предположить основные варианты причин по категориям: технология, люди, сырье, оборудование, хранение.

В случае недостаточности полученных данных с помощью диаграммы Парето следует собрать дополнительную информацию (разработать новый контрольный листок, содержащий больше данных).

Далее, анализируя каждый параметр с помощью контрольной карты, находится тот, у которого отклонения значений от номинала является наибольшим. На основе данных анализа контрольной карты строится гистограмма, с помощью которой зрительно оценивается закон распределения разброса данных.

В дальнейшем необходимо стратифицировать данные гистограммы на несколько, исследуя закон распределения в зависимости от нескольких факторов (рабочих смен, вида оборудования, поставщиков функциональных деталей). На следующем этапе применяется диаграмма разброса. Целесообразно построение нескольких диаграмм разброса по разным факторам, влияющим на качество. В итоге выявляется причина наибольшего количества несоответствий. В конце можно составить еще одну схему Исикавы. После найденного первого фактора мы возвращаемся опять к диаграмме Парето, и исследуем следующий вид неисправности по тому же алгоритму.

На следующем шаге определяют, стабилен ли процесс, присутствуют ли общие или специальные причины вариаций. При наличии специальных причин проводится анализ с помощью схемы Исикавы. С помощью диаграммы Исикавы можно определить параметры для построения контрольных карт.

Если присутствуют только общие причины вариаций, то при проведении повторных операций алгоритма сравниваются новые данные с предыдущими, принимаются решения о проведении мероприятий по улучшению процесса, либо о его коренном изменении. После проведения первоначального анализа процесса может появиться необходимость изменения формы контрольных листов (они должны содержать больше информации), можно строить новые контрольные карты, а также применять дополнительные методы для анализа.

Вероятно, единого алгоритма на все случаи жизни не существует. Для каждого технологического или любого другого процесса последовательность применения инструментов может меняться. Но если удастся построить рациональный алгоритм, то можно надеяться, их применение позволит решить более 95% проблем и это не будет преувеличением.

* * *

Завершая описание семи инструментов контроля, отметим, что инструментарий называется «семь японских методов». Вместе с тем эту методологию можно считать интернациональной. В ней используются идеи итальянца Парето, немца Гаусса, американца Шухарта, русского Чебышева, а расслоение использовали еще в древнем Египте. Но японцы первыми показали миру, что дает простой инструментарий, когда он используется по принципу *Total*: везде и всеми.

Вопросы для самопроверки

1. Назовите семь инструментов контроля качества, дайте их общую характеристику.
2. В чем суть закона «80/20»? Приведите примеры справедливости его в вашей области деятельности.
3. Что дает диаграмма Парето?
4. Схема Исикавы и ее модификации.
5. Что такое мнемонический прием?
6. Правила построения и интерпретации гистограммы.
7. Для чего строится диаграмма рассеяния?
8. Что характеризует коэффициент корреляции, в каких пределах он изменяется?
9. В чем причины ложных корреляций?
10. Что позволяет выявить стратификация?
11. Что такое контрольная карта Шухарта, ее назначение?
12. Контрольные карты по качественным и количественным признакам, их достоинства и недостатки.

10. МЕТОДЫ УМЕНЬШЕНИЯ ВАРИАБЕЛЬНОСТИ

Лучший способ избавиться от проблемы — решить ее.

Б. Франсис

10.1. Методы Тагути

Г. Тагути с конца 1940-х гг. изучал вопросы совершенствования процессов производства и разработал систему, цель которой быстрое повышение экономических показателей компании и качества продукции путем оптимизации конструкции изделий и процессов их изготовления. В 1996 г. Г. Тагути опубликовал девять заповедей качества, первая звучит так: все недостатки продукта закладываются в него на этапе разработки.



Г. Тагути

По Тагути прежде, чем начинать производство нужно методом математического моделирования определить и устранить конструк-

торские и технологические дефекты. Эта методология, включающая и философию, и набор практических инструментов управления качеством, получила название «Методы Тагути».

Этот термин появился в США, сам же Г. Тагути называл свою концепцию «инжиниринг качества» (от англ. *engineering* — инженерное искусство), основанный на «робастном проектировании». Оно не требуется при производстве уникальных изделий, изготавливаемых в единственном экземпляре, но совершенно необходимо, если требуется однородность массовой продукции.

Принципы Тагути сводятся к следующему.

1. Мера качества изделия — общие потери, которые несет из-за него общество. В этой связи вспомним парадоксальное определение термина «качество», данное Г. Тагути.

2. Для выживания в бизнесе необходимо непрерывное улучшение качества и снижение затрат. Поэтому качество нельзя рассматривать безотносительно к цене.

3. Для постоянного улучшения качества требуется непрерывное уменьшение разброса выходных характеристик изделия относительно их заданных значений.

4. Потери потребителя из-за разброса выходной характеристики пропорциональны квадрату величины разброса.

5. Качество и цена изделия в значительной степени определяются на этапе проектирования и производства.

6. Разброс выходных характеристик изделия (или процесса) может быть уменьшен путем использования нелинейности влияния параметров изделия (или процесса) на эти характеристики.

7. Чтобы идентифицировать значения параметров изделия (или процесса), которые уменьшают разброс выходных характеристик, можно использовать статистически планируемые эксперименты.

Главное в философии Тагути — это повышение качества с одновременным снижением расходов, при этом качество и стоимость рассматриваются совместно. Они связаны общей характеристикой, называемой функцией потерь (*Loss Function*), причем одновременно рассматриваются потери как со стороны потребителя (вероятность аварий, отказов, невыполнения основных функций, неудовлетворение требований заказчика и т. д.), так и со стороны производителя (затраты ресурсов и т. п.). Задачей проектирования является удовлетворение обеих сторон.

На практике определяются средние значения характеристик и их разброс, и, если он не выходит за пределы допустимого, характеристика принимается. Затем рассчитывается стоимость изделия и если она оказывается выше заданной, то методом последовательных приближений добиваются, чтобы уровень качества и стоимость соответствовали расчетным.

Прямой путь к постоянному совершенствованию — это снижение variability процессов. Заданное значение должно рассматриваться как оптимальное, кстати говоря, оно не обязательно должно быть в середине поля допуска. Чем больше разброс параметров продукции на выходе процесса, тем с меньшей вероятностью предприятие может прогнозировать, что каждое отдельно взятое изделие будет соответствовать техническим требованиям.

Пусть y — выходная характеристика; m — заданное значение y ; $I(y)$ — потери (например, в денежном выражении), которые несет потребитель в течение срока службы изделия из-за отклонения y от m .

Классический подход к качеству предполагает наличие номинального значения и поля допуска (допустимого отклонения от номинала). Традиционный взгляд, сформировавшийся в соответствии с системой Тейлора, предполагает, что изделия считаются в равной степени качественными (потери отсутствуют), если их характеристики находятся внутри поля допуска (лежат в диапазоне между y_n и y_b), и браком, когда они выходят за пределы этого поля. Причем величина потерь не зависит от того, насколько далеко выходит характеристика за границы допуска (рис. 30). В связи с этим делались попытки улучшения качества изделий путем уменьшения поля допуска (на этом, в частности, строились военные стандарты).

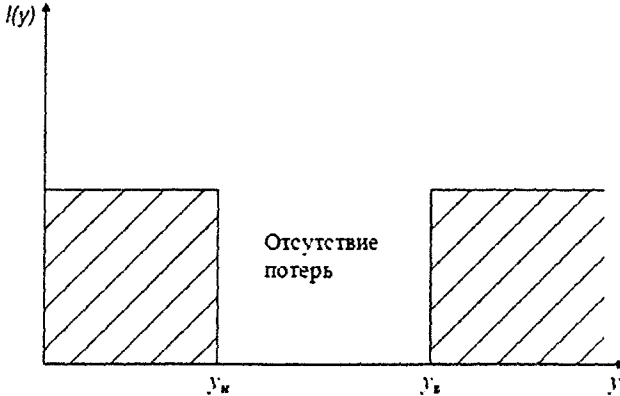


Рис. 30. Традиционное представление о зависимости потерь потребителя от отклонения характеристики

Постулат Тагути заключается в том, что качество меняется постоянно, как только характеристики начинают отклоняться от номинального значения, любое отклонение от номинала приводит к прямым или косвенным потерям для предприятия-изготовителя, гарантийных служб или потребителей. Чем больше отклонение выходной характеристики y от ее заданного значения m , тем больше потери потребителя

$l(y)$. По сути дела, он предлагает уходить от «допускового мышления»: попали в допуск и ладно. Очень важно еще знать — куда попали, насколько близко к границам.

Определить действительный вид функции $l(y)$ трудно. По принципам Тагути потери потребителя из-за вариации выхода пропорциональны квадрату отклонения выходной характеристики от ее заданного значения. Иными словами, функция потерь определяется, как коэффициент затрат, умноженный на квадрат разности между заданным и измеренным значениями характеристики качества.

Простейшая квадратичная аппроксимация функции потерь (рис. 31) имеет вид:

$$l(y) = k(y - m)^2 + l_{min}, \quad (21)$$

где: l — потери (например, в рублях);

y — значение характеристики;

k — константа Тагути (коэффициент потерь);

l_{min} — минимальные потери при оптимальном значении характеристики;

m — оптимальное значение характеристики.

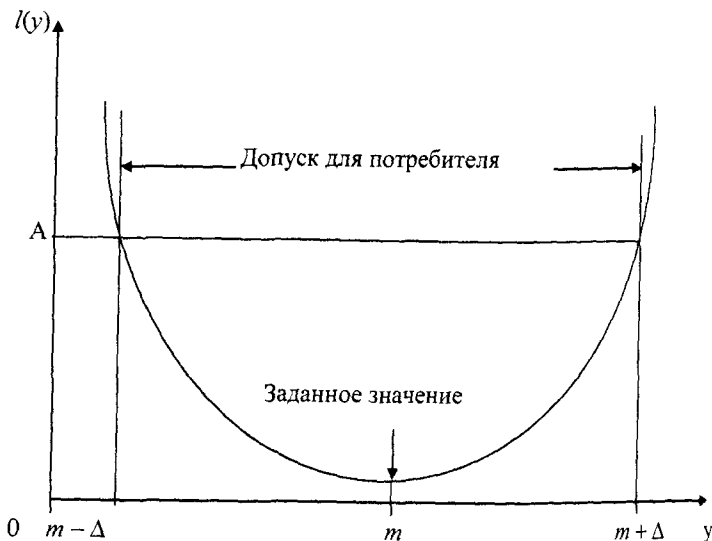


Рис. 31. Зависимость потерь потребителя от заданного допуска

Неизвестную константу k можно определить, если $l(y)$ известно для конкретного значения y . Предположим, что интервал $(m - \Delta, m + \Delta)$ — допуск, т. е. изделие функционирует неудовлетворительно, если y выходит за его границы, а затраты потребителя на ремонт или

замену изделия составляют A условных единиц. Тогда $A = k\Delta^2$, $k = A/\Delta^2$. Методы Тагути позволяют проектировать изделия и процессы, нечувствительные к влиянию так называемых «шумов» — переменных факторов, вызывающих разброс значений параметров.

Вместо того чтобы уменьшить variability отдельных составляющих, устанавливая жесткие границы допусков, Тагути считал необходимым тщательный отбор параметров проектирования, чтобы более надежная конструкция оказалась способна противостоять вариациям, вызванным нежелательными причинами.

Отношение сигнал/шум, принятое в радиотехнике, которое в данном случае рассматривается, как отношение «идеальное производство/действительное состояние», стало основным инструментом инжиниринга качества. У потребителя существует вполне определенное мнение относительно того, как должна функционировать продукция в идеале, или об *идеальной функции*.

Назовем фактор, выбранный в качестве аргумента для идеальной функции, *сигналом*, характеризующим не только продукцию, но и режим эксплуатации. Как и в радиотехнике *шум* в данном случае представляет собой явление случайное и безусловно вредное. Отношение «сигнал/шум» интерпретируется всегда одинаково: чем больше отношение, тем лучше. По существу, эта величина связана с коэффициентом вариации относительно заданного значения. Тагути вводит понятие отклоняющего фактора (или «шума»), являющегося причиной разброса характеристик.

Выражение $(\mu/\sigma)^2$ — показатель отношения «сигнал/шум», где μ — желаемое целевое значение, σ^2 — вариация, т. е. шум. Шумы можно разбить на четыре группы: две характеризуют внутренние причины вариации по отношению к продукции и две — внешние. Как внутренние, так и внешние причины могут быть объективными и субъективными.

Одна группа внутренних шумов обусловлена теми различиями, которые закладываются в продукцию при производстве, например, параметры варьируются в пределах заданных допусков (субъективные причины), другая процессами старения в эксплуатации: сопротивление резисторов в электрических цепях с течением времени растет, пружины — слабеют, автомобильные шины — изнашиваются и т. п. (объективные причины).

Внешние шумы обусловлены различиями в условиях применения продукции: одна группа вызывается особенностями эксплуатации продукции (субъективные причины, например, нарушение инструкции по эксплуатации), другая — параметрами окружающей среды (причины объективные).

Если обозначить значение параметра на входе (множество входных данных, начиная от качества станка, материала и квалификации работника вплоть до чистоты помещения) через M , составля-

ющие «шума» (дефекты материала, ошибки рабочего) через $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$, значение параметра на выходе через y , то y будет функцией M и «шума»:

$$y = f(M, x_1, x_2, \dots, x_n). \quad (22)$$

Отношение «сигнал/шум» в общем виде записывается так:

$$C/Ш = \frac{(df/dM)^2}{(df/dx_1)^2 \times yx_1^2 + \dots + (df/dx_n)^2 \times yx_n^2}. \quad (23)$$

Тагути предложил 72 формулы для расчета отношения «сигнал/шум», большинство которых связаны со спецификой соответствующих отраслей техники (электроники, автомобилестроения, химии и т. д.). Однако существуют три стандартные общеупотребительные формулы:

- Тип N : оптимальные номинальные характеристики (размеры, выходное напряжение и т. д.)

$$C/Ш = 101g \frac{(Sm - Ve)/n}{Ve}, \quad (24)$$

где

$$Sm = \frac{(\sum y_i)^2}{n};$$

$$Ve = \frac{\sum y_i^2 - (\sum y_i)^2/n}{n-1};$$

y_i — параметр i -го наблюдения;

n — количество наблюдений.

- Тип S : оптимальные минимальные характеристики (шум, загрязнение и т. д.):

$$C/Ш = 101g (\sum y_i)^2 / n. \quad (25)$$

- Тип B : оптимальные максимальные характеристики (прочность, мощность и т. д.):

$$C/Ш = 101g \sum (1/y_i)^2 / n. \quad (26)$$

Стандартными методами находится модель:

$$C/Ш = c(x_1, x_2, \dots, x_n). \quad (27)$$

Тагути разбивает управление качеством на три стадии.

Системное проектирование (проектирование конструкции) — процесс применения научных и инженерных знаний к разработке изделия. По модели изделия определяются начальные значения параметра

тров изделия. При этом учитываются требования как потребителя, так и условия производства.

Параметрическое проектирование — процесс идентификации таких значений параметров изделия (или процесса), которые уменьшают чувствительность конструкции к источникам вариации («шумам»).

Проектирование допусков — процесс определения допусков вблизи номинальных значений, которые идентифицированы на стадии параметрического проектирования.

Основная концепция методов Тагути заключается в следующем: в процессе проектирования должны быть рассмотрены критерии качества с учетом отклонений в процессах производства и эксплуатации.

Резюмируя, можно назвать *робастным проектированием* такое, которое направлено на снижение вариаций в функционировании продукции за счет уменьшения шумов. Методы Тагути входят в другое направление, известное как «Шесть сигм», в котором составляют раздел, представляющий методы проектирования продукции и процессов — *Design for Six Sigma (DFSS)*.

Идеи Тагути в течение 30 лет составляли базу инженерного образования в Японии. В США эти методы стали известны в 1983 г. после того, как компания *FORD Motors* впервые начала знакомить с ними своих специалистов. Невнимание к методам Тагути — одна из причин серьезного отставания от Японии многих производственных компаний США и Западной Европы.

10.2. Концепция «Шесть сигм»

«Шесть сигм» — это подход к совершенствованию бизнеса, основанный на поиске и исключении причин ошибок или дефектов в бизнес-процессах путем сосредоточения на тех выходных параметрах, какие оказываются критически важными для потребителя. Можно сказать, что это высокоорганизованный процесс, который помогает сконцентрироваться на разработке и производстве продукции и предоставлении услуг, близких к совершенству.

Это стратегический подход, который справедлив для всех процессов, любой продукции и различных отраслей. Стремление добиться уровня «шесть сигм» появилось в компании «Мотороле» в 1979 г., где пришли к выводу, что высококачественные изделия производить дешевле, благодаря низким издержкам.

Известно, что значительная часть доходов компании тратится на исправление продукции дефектной или низкого качества. У большинства отечественных предприятий доля затрат на устранение дефектов продукции в процессе ее изготовления, испытаний и эксплуатации составляет до половины общего объема затрат на производство. До 45% выходов из строя радиоэлектронной аппаратуры (РЭА) происходит по причине отказов элементной базы.

Как здесь не вспомнить один из законов Мэрфи: «Всегда не хватает времени, чтобы выполнить работу как надо, но на то, чтобы ее переделать, время всегда находится».

Согласно концепции «шесть сигм» следует стремиться к достижению самого малого разброса контролируемого параметра по сравнению с полем допуска. Со статистической точки зрения задача заключается в том, чтобы «загнать» естественный разброс параметра в процессе производства продукции в такие границы, чтобы он укладывался в поле допуска 12(!) раз, что, как раз, и составляет $\pm 6\sigma$.

Диапазон $\pm 3\sigma$ называется в технологии «полем рассеивания», и обозначается ω . Отношение поля рассеивания к полю допуска — называется показателем точности процесса, который выражается в процентах и показывает часть поля допуска, покрываемую рассеиванием процесса.

$$K_p = \frac{\omega}{\Delta} \quad (28)$$

Обычно и ширину поля допуска, и разброс измеряют в сигмах, т. е. через величину стандартного отклонения. Величина, обратная показателю точности, называется индексом воспроизводимости C_p , вычисляемая как отношение ширины установленного поля допуска к фактическому разбросу параметра.

$$C_p = \frac{Y_B - Y_H}{6\sigma_1} \quad (29)$$

где: σ_1 — собственная изменчивость процесса — часть изменчивости, вызываемая только обычными причинами;

C_p — безразмерная величина, показывающая во сколько раз ширина поля допуска больше характеристики технологического процесса — чем выше значение C_p , тем ниже уровень дефектности. При этом использование шестисигмового интервала неявно предполагает нормальное распределение данного параметра, среднее значение которого находится в середине поля допуска.

Воспроизводимость — это характеристика только стабильных процессов. Индекс воспроизводимости процесса позволяет определить, может ли естественная («хроническая») вариация обеспечить удовлетворение заданных допусков. Если $C_p = 1$, то границы допуска совпадают с естественными границами процесса. Доля брака составляет 0,27%; или — доля бракованных изделий составит 2700 изделий на миллион — 2700 ppm (ppm — parts per million — принятая единица измерения уровня несоответствий). *Вышеупомянутый стандарт рекомендуется в качестве минимально приемлемого значения при $C_p = 1,33$ (дефектность составит 63 ppm); при $C_p = 1,67$ уровень дефектности составит 6 ppm. Концепции «шесть сигма» соответствует $C_p > 2$.*

Иногда используется значение индекса пригодности процесса P_p , стабильность которого не подтверждена, и определяемая формулой

$$P_p = \frac{y_B - y_H}{6\sigma_T}, \quad (30)$$

где: σ_T — полная изменчивость процесса — изменчивость, вызываемая как обычными, так и особыми причинами.

В статье [59] подчеркивается различие между воспроизводимостью и пригодностью процесса: воспроизводимость определяется размахом на основе внутригрупповой изменчивости, а пригодность — на основе стандартного отклонения (т. е. учитывает межгрупповую изменчивость). Если процесс стабилен (отсутствуют особые причины изменчивости), то нужно ориентироваться на индекс воспроизводимости, в противном случае — на индекс пригодности.

Индекс пригодности характеризует реальное состояние процесса, а индекс воспроизводимости свидетельствует о возможностях процесса, которых можно достичь, если устранить особые причины изменчивости. Если индексы воспроизводимости и пригодности существенно отличаются по величине, это свидетельствует о наличии особых причин изменчивости в процессе.

На практике в первую очередь необходимо добиться стабильности процесса, а затем заниматься повышением его индекса воспроизводимости. Стабильность и воспроизводимость процесса — разные характеристики. Стабильным процесс называют в том случае, если по контрольным картам видно отсутствие особых причин его изменчивости. Воспроизводимость — показатель качества процесса, заметим, что в реальной жизни встречаются стабильно «плохие» процессы.

Индекс воспроизводимости является удобной мерой оценки вариабельности процесса, простым средством контроля состояния технологического процесса и мерой его совершенствования. Вместе с тем значение C_p можно подогнать под требование «шесть сигм» путем изменения границ поля допуска. И нельзя забывать, что при использовании этого показателя молчаливо предполагается нормальное распределение параметра процесса.

Очевидно, для каждого параметра любого процесса индекс воспроизводимости C_p в концепции «шесть сигм» будет равен двум. Известно, что концепция «шесть сигм» основана на том, что удовлетворяющие данному критерию процессы производят не более 3,4 ppm. Строго говоря, эти две цифры не соответствуют друг другу, так как значению $C_p = 2,0$ отвечает уровень дефектности — два дефекта на миллиард изделий.

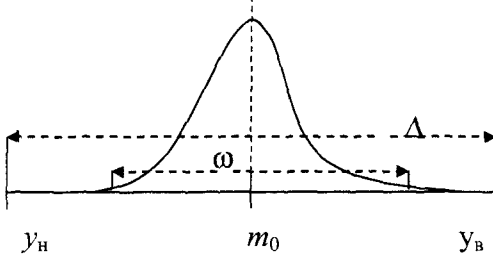
Это несоответствие объясняется тем, что центр распределения смещается относительно середины поля допуска. Это отклонение характеризуется коэффициентом точности настройки $K_{тн}$

$$K_{\text{ТН}} = \frac{|m_x - m_0|}{\Delta}, \quad (31)$$

где: m_0 — середина поля допуска,
 m_x — фактическая середина распределения параметра.

На рис. 32а показан случай, когда коэффициент точности равен нулю (идеальная настройка) и случай сильного смещения (рис. 32б). В последнее время появилось понятие «Чувствительный к положению среднего индекс воспроизводимости C_{pk} », который характеризует количественное соотношение между фактическим расположением диапазона изменения процесса и границами поля допуска. C_{pk} не может быть больше C_p . Если $C_{pk} = C_p$, процесс — центрирован, среднее значение параметра совпадает с его номинальным значением и достигнут минимально возможный при данном значении индекса воспроизводимости уровень дефектности.

а)



б)

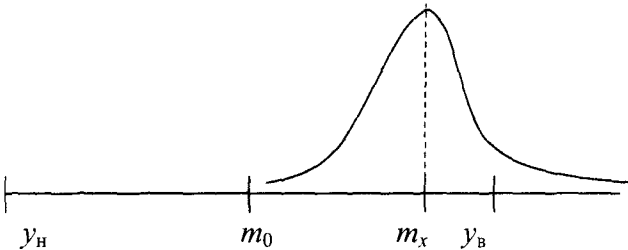


Рис. 32. Идеальная настройка (а) и сильное смещение (б)

Концепция «шесть сигм» допускает смещение центра распределения в пределах $1,5\sigma$ в ту или иную сторону. Величина $1,5\sigma$ взята из опыта фирмы «Моторола», где установили, что настройка (центр распределения) «гуляет» в пределах $1,5\sigma$.

Концепция «Шесть сигм» (подход *DFSS* — *Design for Six Sigma*) строилась классической схеме непрерывного совершенствования на основе постоянного применения цикла Шухарта–Деминга. Вот как понимали на Мотороле этапы этого цикла.

Первый этап «Планируй» — формулировки целей и задач, выявление ключевых параметров для достижения успеха, составление плана и организация команды.

Второй этап «Делай» — обучение, тренировка, внедрение.

Третий этап «Проверяй» — измерение показателей, характеризующих улучшение, оценка эффективности, анализ и корректировка плана.

Четвертый этап «Внедряй» — корректировка применения, непрерывность совершенствования, стандартизация, изучение потребностей, бенчмаркинг, перепроектирование.

Впоследствии в рамках концепции «Шесть сигм» цикл Шухарта–Деминга трансформировался в цикл *DMAIC*:

Define — Определяй: определение целей проекта и выявление ключевых моментов, на которые необходимо обратить внимание.

Measure — Измеряй: сбор информации о текущем положении дел, оценка масштабов проблем.

Analyze — Анализируй: выявление основных причин проблем с качеством и их подтверждение с использованием соответствующих средств анализа данных (схемы Исикавы, дисперсионного анализа, планирования экспериментов, регрессионного анализа, визуализации зависимостей и др.).

Improve — Улучшай: применение специальных средств (диаграмма Парето, стратификация, контрольные карты Шухарта, планирование эксперимента и др.) устранения проблем, выявленных на предыдущем этапе.

Control — Управляй: оценка результатов предыдущего этапа и наблюдение за процессом.

В последнее время наблюдается тенденция к дополнению этого цикла рядом дополнительных стадий. Руководители «Академии шесть сигм» Харри и Шредер считают, что эта программа должна состоять из восьми ступеней: *Recognize* (Осознай) — *DMAIC* (как описано выше) — *Standardize* (Стандартизируй) — *Integrate* (Интегрируй).

Качество согласно концепции «шесть сигм» — это состояние, при котором заявленная ценность реализуется и обеспечивается как для потребителя, так и для поставщика. «Ценность» отражает тот факт, что потребители хотят покупать товары или услуги с минимальными возможными затратами, а компании хотят производить высококачественные товары и услуги с минимальными издержками. Концепция «Шесть сигм» основана на том, что существует прямая зависимость (положительная корреляция) между числом дефектов и увеличением производственных затрат.

Генеральный директор академии «Шесть сигм» США М. Харри приводит такой пример (сравнение 3 и 6 сигм). «Если ковер, покрывающий пол зала от стены до стены площадью 100 кв. м, очистить до уровня трех сигм, примерно 0,25 кв. м площади останется невычи-

щенной; если ковер очистить до уровня шесть сигм, невычищенный участок составит величину с булавочную головку» [83]. Представим себе выход процесса, состоящего, например, из 20 последовательных операций, на каждой из которых обеспечивается заданный процент выхода. Если этот процент соответствует подходу на основе «трех сигм», то на выходе имеем $(0,9973)^{20} = 0,947$, т. е. около 5% брака, тогда как при подходе «шесть сигм» имеем $(0,9999966)^{20} = 0,99993$, т. е. брак равен 0,007%.

В ходе внедрения данного подхода возникла академия «шесть сигм», где специалисты различных организаций проходили обучение, по окончании которого получали звание «Черный пояс шести сигм». Аналогия с восточными единоборствами вызвана тем, что в боевых искусствах, например карате, участник должен непрерывно совершенствоваться, последовательно осваивая все более сложные приемы, за что награждается поясами разных цветов.

Выделяют шесть основных элементов, составляющих квинтэссенцию системы «Шесть сигм»:

- ориентация на потребителя. Потребители определяют уровень качества работы. Они ожидают высокое качество продукции, надежность, адекватную цену, своевременную доставку, хорошее обслуживание и пр. В каждом элементе ожиданий потребителя скрыты требования к качеству. Организация должна выявить и удовлетворить все эти требования;
- управление на основе данных и фактов с широким использованием статистических методов;
- определение процессов и методов управления процессами. Чтобы повышать качество работы необходимо смотреть на процессы с точки зрения потребителя. Все элементы процессов, не приносящие ценности потребителю, должны быть устранены;
- управление, основанное на прогнозировании;
- безграничное сотрудничество. Командная работа и вовлечение персонала. Результаты работы организации это труд ее сотрудников. Для достижения высокого качества каждый сотрудник должен быть заинтересован в работе и заинтересован в достижении высоких результатов;
- стремление к совершенству без боязни поражений.

Как и любая концепция, «шесть сигм» имеет не только поклонников, но и противников, основные возражения которых сводятся к следующему:

- главным для «черных поясов» не удовлетворение потребителя, а ответ на вопрос: «Какую экономию даст этот проект?»;
- программы «Шесть сигм» эффективны только в компаниях с сильной директивной культурой, если «нажим сверху» ослабевает, все усовершенствования останутся;

- обучение клиента в академии «шесть сигм» стоит чрезвычайно дорого и по силам только для огромных компаний;
- концепция «Шесть сигм» не использует систему глубинных знаний Деминга — это очередное модное проходящее увлечение.

В связи с этим определим место концепции «Шесть сигм» среди других подходов к решению проблемы качества.

В чем новизна «Шести сигм»?

- увязываются с бизнес-целями организации при полной поддержке лидеров бизнеса;
- включает статистическое управление процессами (SPC) в набор инструментов качества;
- преследует ту же цель, что и концепция «Ноль дефектов», но определяют количественный прогресс в уровне показателей как меру.

Чем «Шесть сигм» отличаются от других подходов?

«Шесть сигм» и кружки качества. Если кружки качества сосредоточены на повышении качества на уровне цеха, то «Шесть сигм» действуют на всех уровнях организации.

«Шесть сигм» и всеобщее управление на основе качества. В TQM инициативы проектов исходят преимущественно с рабочих мест, а в «Шести сигмах» — связаны с бизнес-стратегией.

Хотя методология «Шесть сигм» и TQM используют много одинаковых инструментов, например, диаграмму Парето, схему Исикавы, гистограммы, диаграмму рассеяния и т. д., между двумя подходами имеются существенные различия. Методология «Шесть сигм» больше внимания уделяет голосу потребителя и шире использует статистические методы по сравнению с TQM.

«Шесть сигм» и ИСО 9000. ИСО 9000 используются для документирования процедур, применяемых в системах менеджмента качества, и служат дополнением к «Шести сигмам». Организации не обязательно иметь системы менеджмента качества по ИСО 9000 до внедрения «Шести сигм». Однако факт применения «Шести сигм» может помочь ей в сертификации по ИСО 9000.

Основные этапы развития «Шести сигм»:

1. 1980-е гг. «Шесть сигм» — это программа по обнаружению дефектов и улучшению качества продукции.
2. 1990-е гг. «Шесть сигм» — это широкомасштабная программа изменений, которая затрагивает всех сотрудников компании. Основное внимание уделяется вопросам экономии и снижения себестоимости.
3. 2000-е гг. — это одна из наиболее популярных систем управления эффективностью бизнеса.

4. 2010-е гг. — это интегрированная концепция *Lean Six Sigma*, объединяющая концепцию «Бережливое производство» (*Lean manufacturing*), сфокусированную на устранение потерь и непроизводительных затрат, и концепцию «Шесть сигм» (*Six Sigma*), нацеленную на снижение вариативности процессов и стабилизацию характеристик продукции [48].

В методическом пособии [61] разбираются особенности внедрения проектов Шесть Сигм в России, учитывающее особенности не только отечественного производства, но и нашего менталитета. Взаимосвязь концепций «Шесть сигм» и «Бережливого производства»:

- «Бережливое производство» не устанавливает требований к форме реализации концепции;
- «Бережливое производство» недостаточно сфокусировано на запросах потребителей;
- в «Бережливом производстве» дефекты и несоответствия признаются одним из основных источников потерь на предприятии. В то же время «Бережливое производство» не позволяет достичь статистической управляемости процесса;
- дефекты — главная мишень концепции «Шесть сигм» — являются только одним из многих видов потерь на предприятиях;
- в «Шесть сигм» не учитывается связь между качеством и удовлетворенностью потребителей;
- «Шесть сигм» не может существенно повысить скорость процесса.

В монографии, посвященной концепции «шесть сигм» есть слова: «Статистика — это своего рода мощный микроскоп, делающий видимым то, что раньше было от него скрыто». Математическая статистика — это раздел математики, а как сказал выдающийся математик, основоположник кибернетики Норберт Винер «Высшее назначение математики состоит в том, чтобы находить скрытый порядок в хаосе, который нас окружает».

Вопросы для самопроверки

1. Назовите основные элементы философии качества Тагути.
2. Что такое функция потерь?
3. Охарактеризуйте различие между традиционным представлением о зависимости потерь потребителя от величины заданного допуска и принципом Тагути.
4. Что такое «шумы» в соответствии с принципом Тагути? Охарактеризуйте внешние и внутренние шумы.
5. Что такое «робастное проектирование»?
6. В чем суть концепции «Шесть сигм»?
7. Объясните связь допуска и поля рассеяния.

8. Что такое индекс воспроизводимости процесса, как он определяется и что характеризует?
9. Значение индекса воспроизводимости процесса в концепции «шесть сигм»?
10. Что такое идеальная настройка и какое смещение считается допустимым в концепции «шесть сигм»?
11. Назовите ступени преобразованного в концепции «шесть сигм» цикла Шухарта–Деминга *PDCA*.
12. Рассчитайте в соответствии с концепцией «Шесть сигм» допустимый брак для производственного процесса, включающего 10 последовательных операций, 30 последовательных операций.
13. В чем смысл интегрированной системы *Lean Six Sigma*?

11. ВЫБОРОЧНЫЙ КОНТРОЛЬ ПРИ ПРИЕМКЕ ПРОДУКЦИИ

Правильное решение, принятое с опозданием, является ошибкой.

Д. Э. Якокка

11.1. Выборочный контроль. Экономические критерии. Основные определения

Контроль качества может быть сплошным, когда контролируется каждая единица продукции, или выборочным, если заключение о качестве партии продукции делается на основе анализа выборки. В некоторых случаях выборочный контроль становится неизбежным, если испытание приводит изделие в состояние, непригодное к дальнейшему употреблению. Например, проверка фотобумаги на светочувствительность означает ее порчу. Точно так же испытание электронного прибора на срок службы приводит к отказу или существенно снижает его ресурс. В такой обстановке не остается иного выхода, как применение выборочного статистического приемочного контроля.

Выборочный контроль подразделяется:

- по изменениям в результате контроля: на разрушающий и неразрушающий (например, для контроля прочности изделия его необходимо довести до разрушения);
- по времени проведения: на входной (контроль сырья и полуфабрикатов), промежуточный (статистическое регулирование технологических процессов), выходной (приемка и сертификация готовой продукции);
- по жесткости: на нормальный, усиленный (в форсированном режиме) и облегченный;
- по контролируемому параметру: на количественный (в этом случае производится измерение контролируемого показателя) и качественный (о контролируемом объекте делается заклю-

чение, годен он или негоден, соответствует предъявляемым требованиям или не соответствует). Стандарт рекомендует использовать термин «несоответствие», как невыполнение установленного требования, хотя на практике более распространенным является термин «дефект».

Статистические методы выборочного приемочного контроля получили развитие в годы Второй мировой войны, поскольку во время войн проблемы обостряются, и было необходимо принимать огромные партии однородной продукции, а проверять ее сплошь не было возможности, в том числе, и потому что для сплошной проверки требовалось такое количество рабочей силы и времени, что ни то, ни другое не могло быть обеспечено в условиях военного времени.

Заметим, что применение выборочного контроля не является самоцелью. Встречаются ситуации, когда вместо выборочного контроля предпочтительно использовать сплошной контроль или вообще отказаться от проверок. Вопрос экономической целесообразности выборочного контроля Б. В. Гнеденко излагал следующим образом. Пусть мы имеем возможность подсчитать ущерб $E_{бр}$ от браковки партии и ущерб $E_{пр}$ от приемки партии, содержащей повышенное количество дефектных изделий. Обе эти величины зависят от уровня дефектности q , определяемого отношением числа дефектных единиц продукции M , содержащихся в партии, к объему партии N :

$$q = \frac{M}{N}. \quad (32)$$

Поскольку с увеличением q величина $E_{бр}$ убывает (бракуется меньшее число годных изделий), а $E_{пр}$ — возрастает, получаем следующие зависимости E от q , изображенные на рис. 33.

При некотором критическом уровне дефектности $q = q_{кр}$ графики $E_{бр}$ и $E_{пр}$ пересекаются. В этом случае становится безразличным забраковать или принять партию, поскольку ущерб от каждого из этих решений будет один и тот же. Разница лишь в том, что при браковке такой партии ущерб несет изготовитель, а при приемке — потребитель.

При статистическом приемочном контроле имеется три вида затрат и потерь.

1. Затраты непосредственно на проведение контроля единиц продукции, включенных в выборку.

2. Потери в случае неверного решения о браковке партии продукции (в которой на самом деле доля дефектной продукции соответствует требованиям нормативно-технической документации).

3. Потери в случае неверного решения о приемке партии продукции (в которой на самом деле доля дефектной продукции не соответствует требованиям нормативно-технической документации).

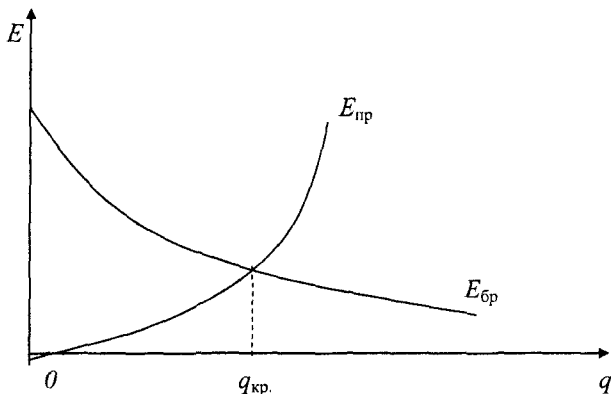


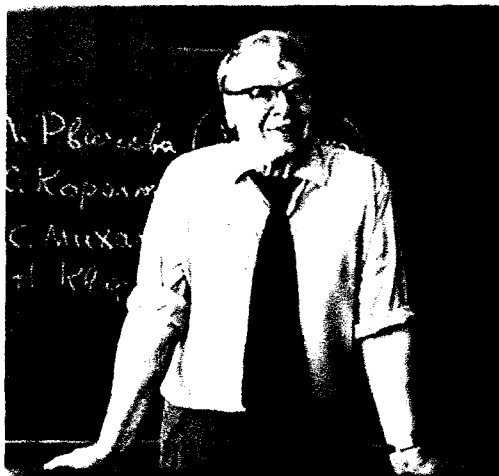
Рис. 33. Зависимость экономического ущерба в случае браковки ($E_{бр}$) и приемки ($E_{пр}$) от качества партии

Для оценки целесообразности выборочного контроля А. Фейгенбаум предлагает рассчитывать предварительно «точку безубыточности» (ТБ) для отдельно взятой детали по формуле:

$$ТБ = \frac{А}{Б}, \quad (33)$$

где: А — стоимость контроля одной детали;

Б — стоимость ремонта одного узла, не отвечающего техническим условиям.



Б.В. Гнеденко читает лекцию в городе Шумен, Болгария
(из архива Д.Б. Гнеденко)

Естественно, рассматриваются ситуации, когда эта величина существенно меньше единицы и ее можно сопоставить с ожидаемой долей брака в партии. Возможны три типичные ситуации:

- если ожидаемая доля брака несколько выше ТБ, наиболее экономичен сплошной контроль;
- если ожидаемая доля брака приблизительно равна или немного ниже ТБ, то целесообразно использовать выборочный контроль;
- если ожидаемая доля брака значительно ниже ТБ и стабильна, то есть смысл отказаться от контроля.

Можно сказать, что если качество выпускаемой продукции низкое, то лучше проводить сплошной контроль, по мере улучшения его можно перейти на выборочный контроль, но, при дальнейшем росте качества продукции и затраты на проверки увеличиваются, и в этом случае лучше вообще отказаться от контроля. В последнем случае возникает знакомая всем производителям тупиковая ситуация — чем выше качество, тем труднее его подтвердить.

Проблема оптимизации планов испытаний на надежность в общем виде весьма сложна: ее решение зависит от большого числа разнородных факторов. Слово «оптимальный» (от лат. *optimus* — наилучший) означает наиболее благоприятный, наилучший. Обычно, для оптимизации требуется соответствующая математическая постановка задачи и оптимальность обычно исчезает при отклонении от исходных предпосылок. Так, среднее арифметическое в качестве оценки математического ожидания является оптимальной оценкой только тогда, когда исходное распределение — нормальное, в то время как состоятельной оценкой — всегда, лишь бы математическое ожидание существовало.

Более практична задача нахождения рациональных планов испытаний. Понятия «рациональный план испытаний» нет ни в одном из нормативно-технических документов, регламентирующих терминологию в области надежности. Между тем слово «рационализация» (от лат. *rationalis* — разумный, *ratio* — разум) означает усовершенствование, улучшение чего-либо. Очевидно, задачу рационализации следует ставить лишь применительно к конкретному виду или категории испытаний. В дополнение к терминам, приведенным в предыдущих разделах, укажем на следующие, регламентированные ГОСТ 15895-77.

Контролируемая партия продукции — совокупность единиц продукции одного наименования, типонаминала или типоразмера и исполнения, произведенная в течение определенного интервала времени в одних и тех же условиях и одновременно представленная для контроля.

При малосерийном производстве партия продукции может изготавливаться длительный интервал времени (месяц и более).

Объем партии — число единиц продукции, составляющих партию.

Выборочный контроль — контроль, при котором решение о контролируемой совокупности или процессе принимают по результатам проверки одной или нескольких выборок.

Выборка — единицы продукции (наблюдаемые значения), отобранные из контролируемой партии или потока продукции для контроля и принятия решения о соответствии установленным требованиям.

Объем выборки — число единиц продукции (наблюдаемых значений), составляющих выборку.

Если у каждого объекта в выборке измеряется значение одного параметра, то выборка называется одномерной, если регистрируются значения двух или нескольких параметров, то многомерной. На основе анализа выборочных данных необходимо получить достоверные сведения о характеристиках генеральной совокупности.

Один из основоположников выборочного метода в социологии норвежский статистик А. Киэр (*Kiaei*, 1838–1919) на 5-й сессии Международного статистического института (1895) ввел понятие репрезентативности (от фр. *repr'esentatif* — представительный) выборки, заметив при этом: «Весьма существенно отметить, что точность результатов исследования зависит не от большего или меньшего числа наблюдений, а от способа получения верного представительства».

Математическое определение репрезентативной выборки — рас-
пределение исследуемой величины x в выборке $F(x)$ должно представлять основные особенности генеральной совокупности. Можно сказать и так: репрезентативность — это соответствие характеристик, полученных в результате выборочного обследования объекта, характеристикам этого объекта в целом.

План контроля — совокупность требований и правил, которые следует соблюдать при решении о приемке партии продукции.

Примечание. Под совокупностью требований и правил понимается объем контролируемой партии, уровень и вид контроля, тип плана выборочного контроля, объем выборки, контролируемые нормативы, решающие правила.

План выборочного контроля — совокупность данных об объемах выборок и контрольных нормативах.

Контроль по количественному признаку — контроль качества продукции, в ходе которого определяют значения параметра, а последующее решение о контролируемой совокупности или процессе принимают в зависимости от сравнения их с контрольным нормативом.

Контроль по качественному (альтернативному) признаку — контроль качества продукции, в ходе которого каждую проверенную ее единицу относят к определенной группе, а последующее решение о контролируемой совокупности или процессе принимают в зависимости от соотношения чисел ее единиц, оказавшихся в разных группах.

Итак, выборочный контроль можно проводить по признаку «годен-брак» (надежность объекта характеризуется вероятностью отказа или числом дефектных единиц продукции в партии) или путем измерения с требуемой точностью проверяемых параметров.

В первом случае показателем качества служит доля дефектных единиц продукции, во втором — контролируется уровень параметров закона распределения моментов наступления отказов. Оба вида контроля обладают специфическими достоинствами. Контроль по вероятности отказа проще планировать; методика, основанная на контроле числа дефектных изделий, не зависит от вида функции распределения отказов и потому более универсальна. Однако в этом случае используется лишь часть информации, содержащейся в результатах испытаний, что приводит к увеличению необходимого объема выборки.

11.2. Постановка задачи выборочного контроля

Результат выборочных испытаний всегда случаен. Это означает, что при сколь угодно высоком значении фактической надежности контролируемой партии существует отличная от нуля вероятность ее забракования (она может быть строго равна нулю при контроле по качественному признаку, если q в формуле (32) равно нулю), и наоборот, партия, обладающая низкой надежностью, может быть принята (за исключением ситуации, когда q в формуле (32) равно единице).

Принято различать несколько уровней качества. *Приемлемый уровень качества* (AQL — *acceptable quality level*) — максимальный уровень несоответствий (приемочный уровень дефектности) в партии продукции, который рассматривается изготовителем и потребителем, как удовлетворительный. *Предельное качество* (LQ — *limit quality*), или *браковочный уровень качества* (RQL — *rejectable quality level*) — минимальный уровень несоответствий, который рассматривается изготовителем и потребителем, как неудовлетворительный при приемке. Очевидно, вероятность приемки партии, имеющей AQL , должна быть высокой, а RQL — низкой.

В математическом плане задача выборочного контроля относится к статистической проверке гипотез.

Статистическая гипотеза — предположение о виде или параметрах распределения случайной величины, которое может быть проверено статистически, т. е. опытным путем.

Статистическая проверка гипотез применяется для того, чтобы использовать полученную по выборке информацию для суждения о законе распределения генеральной совокупности. С помощью *статистических методов* или *критериев* для проверки гипотезы устанавливается, соответствуют ли взятые из выборки данные выдвинутой гипотезе или нет, т. е. нужно ли *принять* или *отвергнуть гипотезу*.

Пусть выдвигается гипотеза H_0 о том, что математическое ожидание $\mu = \mu_0$. Следует решить какое отклонение, полученного на опыте значения x от истинного μ_0 , должно служить основанием для отказа от гипотезы H_0 . Для этого устанавливают следующее. Если событию $\{|\bar{X} - \mu_0| \geq d\}$ отвечает вероятность, меньшая или равная заданному пределу α ($0 < \alpha < 1$), то отклонение $d = |\bar{x} - \mu_0|$ называется *значимым* или *статистически достоверным*; в этом случае гипотезу H_0 отклоняют. Если же вероятность рассматриваемого события больше α , то отклонение является *случайным* или *статистически недостоверным*, что не влечет за собой отклонения гипотезы H_0 .

Однако это не свидетельствует о справедливости гипотезы H_0 , а лишь означает, что выборочный результат ей не противоречит. Значение α называется *ошибкой первого рода*, или *уровнем значимости*, а $S = 1 - \alpha$ — *статистической достоверностью*.

Если задана некоторая величина α , то в $100\alpha\%$ случаев результат измерений может быть оценен неверно и будет ошибочно отвергнута гипотеза (*ошибка 1-го рода*). Вероятность того, что гипотеза не будет отвергнута, хотя она является ложной (*ошибка 2-го рода*), зависит от истинного значения параметра μ в генеральной совокупности и не может быть указана по критерию значимости. Для этого нужно противопоставить нулевой гипотезе *альтернативную гипотезу* и исследовать *мощность критерия*, которая определяется вероятностью отклонения нулевой гипотезы, если она неверна.

Известно, что при нормальном распределении генеральной совокупности параметрические критерии обладают большей мощностью по сравнению с непараметрическими, т. е. они с большей достоверностью отвергают нулевую гипотезу, если она неверна. Под эффективностью для двух сравниваемых критериев понимается соотношение объемов выборки, необходимое для обеспечения одинакового качества проверки. Тем самым можно добиться такого же качества непараметрического критерия, как и параметрического, увеличив объем выборки.

Различают гипотезы простые (предположение относительно величины параметра, которое определяет единственное значение этого параметра) и сложные (предположение, согласно которому параметр может принимать больше одного значения). Например, предположение — уровень дефектности партии составляет 0,1 — простая гипотеза, а предположение уровень дефектности составляет не более 0,1 — сложная гипотеза. Задача различения двух простых гипотез находит широкое применение в технике, часто возникает в разнообразных жизненных ситуациях.

Ошибка первого рода допускается чаще, поскольку менеджеры из лучших побуждений вмешиваются в процесс. В задаче выборочного

контроля выдвигается две простые гипотезы: основная (H_0 — качество партии соответствует приемочному уровню $q = q_0$) и конкурирующая (H_1 — качество партии соответствует браковочному уровню $q = q_1$ ($q_1 > q_0$)). Если в результате испытаний («статистической проверки гипотез») установлено, что имеет место гипотеза H_0 , то делается вывод о годности партии. В противном случае партия бракуется.

Номинация ошибки первого или второго рода зависит от того, какая из возможностей принимается за основную гипотезу, а какая — за альтернативную. Если поменять их местами, то изменятся и названия ошибок. В задаче выборочного контроля качества вероятность α — ошибка первого рода — вероятность принятия гипотезы H_1 , когда на самом деле имеет место гипотеза H_0 , называется риском поставщика, а β — ошибка второго рода — вероятность принятия гипотезы H_0 , когда на самом деле имеет место гипотеза H_1 — риском потребителя. Достоверность контроля, количественно характеризующая вероятность принятия правильного решения можно оценить как:

$$D = 1 - (\alpha + \beta). \quad (34)$$

Риск поставщика — вероятность забракования партии продукции, обладающей приемочным уровнем дефектности.

Риск потребителя — вероятность приемки партии продукции, обладающей браковочным уровнем дефектности.

Эти понятия появились в теории проверки гипотез в 1930-е гг., их используют в стандартах по статистическим методам при контроле уровня дефектности и показателей надежности продукции. Эти понятия не имеют отношения к другим понятиям рисков, которыми можно или следует управлять.

Ошибки первого рода при сертификационных испытаниях могут послужить причиной для жалоб со стороны заявителя сертификации. Появление ошибки второго рода влечет за собой выдачу сертификата на продукцию, не соответствующую заданным требованиям.

Принято считать, что нулевая гипотеза H_0 соответствует естественному положению вещей — что качество партии продукции соответствует приемочному уровню, или что проходящий через рамку металлодетектора пассажир не имеет запрещенных металлических предметов. Соответственно, альтернативная гипотеза H_1 обозначает противоположную ситуацию, требующую какой-либо реакции. Следует подчеркнуть, что любая гипотеза должна формулироваться, а уровень значимости задаваться до получения экспериментальных данных, по которым эта гипотеза будет проверяться.

Эдвардс Деминг относительно ошибок первого и второго рода писал: «Обе ошибки обходятся весьма дорого! Всякий может установить для себя безупречное правило никогда не совершать ошибку 1. Это просто: всего-навсего нужно во всех случаях связывать вариацию

с обычными причинами. Однако при этом максимизируются потери от совершения ошибки 2. И наоборот, зарекаясь от совершения ошибки 2 путем объяснения любой вариации особыми причинами, мы увеличиваем потери от ошибки 1... Шухарт установил совершенно другую цель: не бояться совершать ошибки обоих видов, но регулировать частоту этих ошибок таким образом, чтобы минимизировать экономические потери от обеих».

Здесь можно привести шуточный афоризм профессора Ю. Н. Благовещенского: «Наиболее опасными являются ошибки “третьего рода”, возникающие от кажущейся точности выводов, основанных на модели, в то время как сама модель аппроксимирует действительность грубее, чем метод ее анализа».

Необходимость задания двух контрольных нормативов (приемочного и браковочного) обусловлена тем, что при одном заданном уровне качества риски α и β не являются независимыми, и невозможно сделать одновременно оба риска малыми величинами при фиксированном объеме выборки n . (рис. 34 а и б).

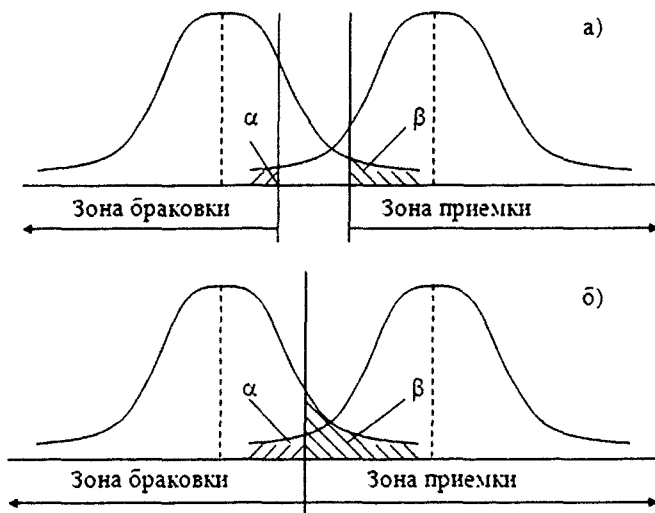


Рис. 34. Графическое представление параметров выборочного контроля

Если за ошибку первого рода приходится платить цену C_α , а за ошибку второго рода — C_β , то критическое множество можно постараться минимизировать «взвешенные» общие затраты $\alpha C_\alpha + \beta C_\beta$. Не всегда реальное значение ошибок сводится к величине общих затрат. Часто применяется следующий подход: при заданной вероятности ошибки первого рода постараться уменьшить вероятность ошибки второго рода.

Основная характеристика контрольных испытаний, показывающая насколько хорошо данное решающее правило, отвечает своему назначению — принятию правильного решения — это *оперативная характеристика*: зависимость вероятности приемки партии от величины, характеризующей качество этой партии (так называемое входное качество).

Типичный вид оперативной характеристики статистического приемочного контроля показан на рис. 35 сплошной линией. Легко представить идеальный план контроля (оперативная характеристика показана на рис. 35 пунктирной линией «а»), при котором партии с фактическим уровнем качества выше некоторого критического значения ($q < q_{кр.}$) с вероятностью единица принимались бы, а остальные — безусловно, браковались, т. е. риски поставщика и потребителя были бы равны нулю. Очевидно, что если отношение q_1/q_0 приближается к единице при фиксированных значениях α и β , то оперативная характеристика приближается к идеальной, что ведет к увеличению среднего объема выборки. Идеальная оперативная характеристика получается при сплошном контроле. Необходимость введения области безразличия ($q_0 + q_1$) для значений контролируемого параметра может быть объяснено практической невозможностью достичь идеальной оперативной характеристики. Поскольку оперативная характеристика и среднее число необходимых наблюдений противоречивы, поиск разумного компромисса между ними и составляет существо проблемы рационализации контрольных испытаний на надежность.

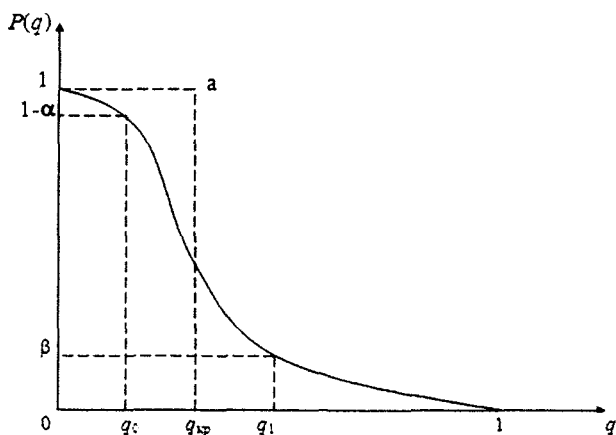


Рис. 35. Оперативная характеристика выборочного контроля

В 1933 г. Ю. Нейман и Е. Пирсон предложили ставшую классической процедуру, позволяющую устанавливать критерий проверки гипотез, минимизирующий β при фиксированной ошибке α . Планы

испытаний, основанные на процедуре Неймана—Пирсона, сводятся к следующему. Из контролируемой партии объемом N берется выборка n . Для заданных α и β устанавливается контрольный норматив — приемочное число c . Если число дефектных изделий x в выборке окажется не больше c , то партия принимается. В противном случае бракуется. Проводимый таким образом *одноступенчатый контроль* наиболее прост, но наименее экономичен — требует относительно большого объема выборки по сравнению с другими.

Рассмотрим одноступенчатый план, при котором забракованные партии изделий подвергаются сплошному контролю, т. е. контролируются все оставшиеся $(N - n)$ изделия партии, а выявленные дефектные изделия заменяют годными. Предположим, что доля дефектных изделий постоянна и равна q . Тогда с вероятностью $P(q)$ партии изделий принимаются (доля дефектных изделий в ней приблизительно равна q), а с вероятностью $[1 - P(q)]$ партии подвергаются сплошному контролю; доля дефектных изделий в этих партиях равна нулю. Тогда средняя доля дефектных изделий в принятых партиях по формуле математического ожидания для дискретной случайной величины равна:

$$q_{\text{cp}} = q P(q) + 0 [1 - P(q)] = q P(q). \quad (35)$$

Величина q_{cp} называется средним уровнем выходного качества. Из последнего выражения следует, что при $q = 0$ значение $q_{\text{cp}} = 0$ и при $q = 1$ также $q_{\text{cp}} = 0$, поскольку вероятность $P(q = 1) = 0$. Так как q_{cp} — неотрицательная функция от q , то внутри интервала $0 \leq q \leq 1$ средний выходной уровень дефектности имеет максимум q_{max} . Максимальный для заданного плана контроля средний уровень q_{max} называют пределом среднего уровня выходного качества.

Один из планов проведения испытаний, соответствующий классической процедуре, заключается в следующем. Предъявленная на контроль партия изделий испытывается некоторое заранее определенное время t_{max} , по истечении которого испытания прекращаются с фиксированием числа отказов, происшедших за время испытаний. Причем в момент отказа каждого изделия оно восстанавливается или заменяется новым.

Другой план, соответствующий классической процедуре: контролируемая партия испытывается до тех пор, пока не наступит некоторое заранее определенное число отказов r_{max} . В момент прекращения испытаний фиксируется величина суммарной наработки изделий. Партия принимается, если наступает одно из несовместных событий: $r = 0, r = 1, \dots, r = c$. Поэтому вероятность приемки партии равна сумме вероятностей этих событий

$$P(q) = P\{r \leq C\} = \sum_{m=0}^c P\{r = m\}. \quad (36)$$

Слагаемые в формуле (36) зависят от вида закона распределения случайной величины r — количества дефектных единиц продукции в выборке из n единиц продукции. Расчеты по формуле (36) в общем случае осуществляются при помощи гипергеометрического распределения.

Каждое из возможных значений случайная величина принимает с некоторой вероятностью. Сумма вероятностей всех возможных значений случайной величины равна единице. Эта суммарная вероятность каким-то образом распределена между отдельными значениями.

Законом распределения случайной величины называется соотношение, устанавливающее связь между возможными значениями случайной величины и соответствующими им вероятностями. Про случайную величину в этом случае говорят, что она подчинена данному закону распределения. Различают случайные величины непрерывные и дискретные. В задачах контроля качества обычно непрерывная случайная величина — наработка изделия, дискретная случайная величина — число отказов.

Пусть партия состоит из N изделий, в которых имеется M дефектных. Выборка состоит из n изделий, выбираемых наудачу из всей партии. Таким образом, каждое изделие с одной и той же вероятностью может попасть в выборку. Найдем вероятность того, что в выборке окажется m дефектных изделий.

Очевидно, n изделий из N возможных мы можем выбрать C_N^n различными способами. Это общее число возможных случаев. Благоприятствовать извлечению m бракованных изделий из M возможных будут C_M^m различных случаев; точно так же выбрать $n - m$ годных изделий из $N - M$ можно C_{N-M}^{n-m} различными способами. Таким образом, общее число различных возможных способов извлечения m бракованных и $n - m$ годных изделий равно $C_M^m C_{N-M}^{n-m}$.

Таким образом, искомая вероятность равна:

$$P_m = \frac{C_M^m C_{N-M}^{n-m}}{C_N^n}, m = 0, 1, 2, \dots, \min(n, M). \quad (37)$$

Формула для расчета сочетаний: $C_n^m = \frac{n!}{m!(n-m)!} \quad (37.1)$

Случайная величина m , принимающая только целочисленные значения от 0 до $\min(n, M)$ с вероятностями, определяемыми формулой (37), имеет гипергеометрическое распределение. Математическое ожидание доли дефектных изделий в выборке вычисляется по формуле:

$$M \frac{m}{n} = \frac{M}{N}, \quad (37.2)$$

а дисперсия этой доли равна:

$$D \frac{m}{n} = M \left(\frac{m}{n} - \frac{M}{N} \right)^2 = \frac{1}{n} \cdot \frac{N-n}{N-1} \cdot D \frac{N-M}{N^2}. \quad (37.3)$$

Следовательно, математическое ожидание доли бракованных изделий в выборке совпадает с долей бракованных изделий во всей партии. Это позволяет по результатам контроля выборки вынести суждения о качестве партии. Несложными преобразованиями легко проверить, что вероятности могут быть записаны в другом виде:

$$P_m = \frac{C_n^m \cdot C_{N-n}^{M-m}}{C_N^M}. \quad (37.4)$$

Практически расчеты по формуле (37) громоздки, что усложняет контроль надежности на практике. Гипергеометрическое распределение находит применение в задачах, когда выборка берется из небольших партий продукции. Гипергеометрическое распределение выводится из схемы «невозвращенного шара». Оно дает одно из возможных определений малой партии — партий, при которых испытания нельзя считать независимыми (результаты контроля выборки влияют на качество партии).

Независимые выборочные испытания — такие, результаты которых не оказывают заметного влияния на качество партии (схема «возвращенного шара»). На практике независимость обеспечивается наличием большого объема партии, так что вероятность p выбора бракованного изделия не зависит от того, было ли предыдущее изделие браком или нет, иными словами, p можно считать *постоянным* при всех отборах. Принято считать результаты испытаний независимыми в случае справедливости неравенства:

$$n \leq 0,1N, \quad (38)$$

где: n — объем выборки;

N — объем партии.

11.3. Схема испытаний Бернулли как модель выборочного контроля

Биномиальное распределение — одно из важнейших для задачи статистического контроля качества и образуется в ситуации, называемой схемой испытаний Бернулли. Поэтому и само распределение иногда называется распределением Бернулли по имени знаменитого швейцарского математика Якоба Бернулли.

Случайная величина θ имеет распределение Бернулли с вероятностью «успеха» p , если она принимает значения 0 и 1 с такими вероятностями: $P(\theta = 0) = 1 - p$ и $P(\theta = 1) = p$. При $p = \frac{1}{2}$ распре-

деление Бернулли годится как вероятностная модель эксперимента с монетой.

Последовательность независимых случайных величин $\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_n$, подчиняющихся распределению Бернулли с одинаковой вероятностью «успеха» p , называют *испытаниями или однородной схемой* Бернулли. Если у каждой случайной величины θ_i своя вероятность «успеха» p_i , то схему называют *неоднородной*.

Иными словами, однородная схема испытаний Бернулли состоит в том, что рассматривается последовательность взаимно независимых опытов, т. е. таких, что вероятность того или иного результата в каждом из них не зависит от того, какие результаты наступили или наступят в остальных (*еще раз о «возвращенном шаре»*).

Пример. Найти вероятность того, что среди взятых наудачу пяти деталей две стандартные, если вероятность того, что каждая деталь будет стандартной, равна 0,9.

Решение. Если вероятность того, что взятая деталь будет стандартной 0,9, то нестандартной — 0,1.

Любая возможность осуществления искомого события характеризуется тем, что из пяти взятых деталей две, занимающие любые места из пяти, окажутся стандартными. Следовательно, общее число возможностей осуществления искомого события равно числу возможных размещений на пяти местах двух стандартных деталей, т. е. равно числу сочетаний из пяти элементов по два.

$$C_5^2 = \frac{5!}{2!3!} = 10. \quad (39)$$

Вероятность каждой из десяти возможностей по теореме умножения вероятностей для независимых событий равна произведению пяти множителей, из которых два, соответствующие появлению стандартных деталей, равны 0,9, а остальные три, соответствующие появлению нестандартных деталей, равны 0,1. Так как десять возможностей появления искомого события являются несовместимыми событиями, то по теореме сложения вероятностей вероятность искомого события $P_{2,5}$ равна сумме десяти таких слагаемых.

$$P_{2,5} = 10 \times 0,9^2 \times 0,1^3 = 0,081. \quad (40)$$

Например, производится n независимых опытов, в каждом из которых вероятность появления некоторого события A равна p . Тогда случайное число m появлений события A в серии из n опытов подчиняется биномиальному распределению.

$$P_{mn} = C_n^m p^m (1-p)^{n-m}, \quad (41)$$

где P_{mn} — вероятность того, что случайная величина примет значение m ($m = 0, 1, 2, \dots, n$).

Распределение дискретной случайной величины, когда вероятность ее различных значений определяются по формуле Бернулли (41), называется биномиальным, а C_n^m — биномиальными коэффициентами.

В теории надежности случайное событие — отказ. Его вероятность обозначается q ($q = 1 - p$).

Пример. Из партии берется выборка объемом $n = 3$ шт. Тогда формулы для появления различного числа дефектов приобретают вид: $P_{0,3} = p^3$; $P_{1,3} = 3p^2q$; $P_{2,3} = 3pq^2$; $P_{3,3} = q^3$.

Обратим внимание на следующее обстоятельство. Составим тождество по правилу бинома Ньютона:

$$(p + q)^3 = p^3 + 3p^2q + 3pq^2 + q^3 = 1. \quad (42)$$

Отсюда видно, что:

- все вероятности являются членами разложения по биному Ньютона (отсюда и происходит название — биномиальное распределение);
- сумма всех вероятностей равна 1.

Закон назван «биномиальным», потому что правую часть равенства можно рассматривать, как общий член разложения бинома Ньютона:

$$(p + q)^n = \sum_{i=0}^n C_n^i p^{n-i} q^i = C_n^n p^n + C_n^{n-1} p^{n-1} q + \dots + C_n^0 q^n \quad (42.1)$$

Первый член разложения (p^n) определяет вероятность наступления рассматриваемого события n раз в n независимых испытаниях, второй член ($np^{n-1}q$) определяет вероятность наступления события $(n - 1)$ раз, последний член (q^n) определяет вероятность того, что событие не появится ни разу.

Математическое ожидание в случае биномиального распределения и дисперсия, соответственно равны

$$\begin{aligned} M(m) &= np, \\ D(m) &= npq. \end{aligned} \quad (42.2)$$

Можно отметить, что при уменьшении n/N гипергеометрическое распределение стремится к биномиальному распределению с параметрами n и D/N . Биномиальная и гипергеометрическая модели близки, когда объем генеральной совокупности значительно превышает объем выборки.

На практике часто приходится вычислять вероятность того, что не произойдет ни одного отказа (событие не будет иметь место ни в одном из опытов). Из уравнения (41) имеем:

$$P_{0,n} = (1 - q)^n = p^n. \quad (43)$$

Вероятность P_n того, что произойдет хотя бы один отказ в серии из испытаний находится по формуле:

$$P'_n = 1 - P_{0n} = 1 - p^n. \quad (44)$$

Пример. Известно, что вероятность отказа за время рабочего цикла составляет $q = 0,01$. Найти вероятность того, что ни одно из $n = 7$ шт. изделий, испытываемых в течение рабочего цикла, не откажет. По формуле (43) находим (вычисления приближенные):

$$P_{07} = (1 - 0,01)^7 = 0,93. \quad (45)$$

Вероятность того, что откажет хотя бы один прибор равна приблизительно 0,07.

Оперативная характеристика одноступенчатого плана контроля в случае биномиального распределения выглядит следующим образом:

$$P(q) = \sum_{m=0}^c C_n^m q^m (1-q)^{n-m}. \quad (46)$$

При $c = 0$ имеем $P(q) = (1-q)^n$. Риски поставщика и потребителя находятся из равенств:

$$\alpha = 1 - (1 - q_0)^n; \beta = (1 - q_1)^n \quad (46.1)$$

Анализ зависимости (46) показывает, что при постоянном объеме выборки n с возрастанием приемочного числа c вероятность приемки партии с заданным приемлемым уровнем качества возрастает, а с ростом объема выборки при постоянном приемочном числе вероятность приемки партии уменьшается. Можно подобрать такой план контроля (n, c), который бы обеспечивал значения рисков и при заданных значениях уровня качества.

Обобщением биномиального распределения на случай k исходов (многосортность продукции, многоцветность шаров и т. д.) является полиномиальное или мультиномиальное распределение. Пусть в n независимых испытаниях, в каждом из которых может произойти одно и только одно из событий A_1, A_2, \dots, A_k , с соответствующими вероятностями p_1, p_2, \dots, p_k , причем $p_1 + p_2 + \dots + p_k = 1$, вероятность того, что события A_1, A_2, \dots, A_k произойдут m_1, m_2, \dots, m_k , ($\sum m = n$) раз определяется формулой полиномиального распределения:

$$P(m_1, m_2, \dots, m_k) = \left(\frac{n!}{m_1! m_2! \dots m_k!} \right) \cdot p_1^{m_1} p_2^{m_2} \dots p_k^{m_k}. \quad (47)$$

Из уравнения (41) следует, что биномиальное распределение характеризуется двумя параметрами p и n , и переменной m . Для построения таблицы необходимы три входа, что довольно громоздко. В теории надежности q обычно величина малая ($q \leq 0,1$), а в этом случае биномиальное распределение практически совпадает с распределением Пуассона.

11.4. Распределение Пуассона как модель выборочного контроля

В 1837 г. Симеон Пуассон (*Poisson*, 1781–1840) опубликовал работу «Исследование о вероятности приговоров в уголовных и гражданских процессах», описывающий роль счастливого случая в судебных процессах Франции первой трети XIX в. Распределение Пуассона появляется там, где рассматривается случайно разбросанные точки, и мы интересуемся числом точек, попавших в заданную область. Такими точками могут служить опечатки в книге, моменты поступления телефонных звонков, количество случаев травматизма с временной утратой трудоспособности на крупном промышленном предприятии за определенный промежуток времени, частота катастрофических наводнений при длительном периоде наблюдений, число дорожно-транспортных происшествий за данный промежуток времени, и т. д.

Рассматривается случайная величина, принимающая только целые и положительные значения. Она подчиняется распределению Пуассона, если вероятность того, что она примет значение m , находится по уравнению:

$$P_m(\lambda) = \frac{\lambda^m e^{-\lambda}}{m!}, \quad (48)$$

где λ — постоянная (параметр распределения).

Для математического ожидания и дисперсии распределения Пуассона имеют место соотношения:

$$\begin{aligned} M(m) &= \lambda, \\ D(m) &= \lambda. \end{aligned} \quad (49)$$

Следовательно, если значения опытных оценок математического ожидания и дисперсии близки, то это может служить доводом в пользу справедливости гипотезы о пуассоновском распределении.

На рис. 36 изображен характерный вид распределения Пуассона для $\lambda < 1$ (а) и $\lambda > 1$ (б). Чем меньше численное значение параметра, тем асимметричнее распределение. Из рис. 36 (а) и формулы (48) следует, что при малых значениях параметра λ вероятность появления большого числа дефектов мала. Заметим, что если независимые случайные величины имеют распределение Пуассона с параметрами λ_1 и λ_2 , то их сумма имеет распределение Пуассона с параметром $\lambda_1 + \lambda_2$.

В формулу для распределения Пуассона входит одна постоянная λ и одна переменная m и можно построить таблицу с двумя входами. Заметим, что в отличие от биномиального распределения, где величина m ограничена ($m \leq n$), в распределении Пуассона m может принимать любое значение. Характерные случаи применения распределения Пуассона при статистическом контроле. Испытывается n однотипных

невосстанавливаемых изделий в течение времени t . Закон распределения наработки до отказа этих изделий неизвестен. Вероятность отказа одного изделия за время t известна и равна q , причем величина q невелика ($q \leq 0,1$). При этих условиях случайное число m изделий, отказавших за время t , распределено по закону Пуассона с параметром nq .

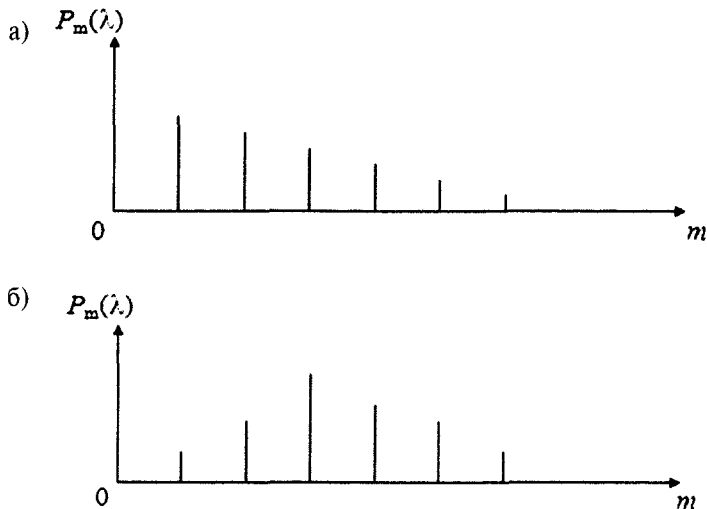


Рис. 36. Распределение Пуассона

Другой пример. Из партии объемом N берется выборка n , которая испытывается и в ней обнаруживается x дефектных изделий. Известно, что доля дефектных изделий в партии q . Если $q \leq 0,1$ и $n \leq 0,1N$, то случайное число x дефектных изделий в выборке распределено по закону Пуассона с параметром nq . В этом случае при $c = 0$ из уравнения (48) получаем выражение для оперативной характеристики:

$$P(q) = P(m=0) = \frac{(nq)^0}{0!} \cdot e^{-nq} = e^{-nq}. \quad (50)$$

Отсюда с очевидностью следует:

$$\alpha = 1 - e^{-nq_0}; \quad (51)$$

$$\beta = e^{-nq_1}. \quad (52)$$

Рассмотрим частный пример, когда $n = 10$, $q_0 = 0,01$, $q_1 = 0,05$. Из уравнений (51) и (52) получаем $\alpha = 0,10$; $\beta = 0,61$. Если $n = 30$, то для тех же условий получаем $\alpha = 0,26$; $\beta = 0,22$.

Рассмотрим пример, когда заданы риски α и β . Пусть, например, $\alpha = \beta = 0,10$. Тогда из уравнений (51) и (52) получаем:

$$nq_0 = 0,11, \quad (53)$$

$$nq_1 = 2,30. \quad (54)$$

Разделив полученные уравнения почленно второе на первое, получаем:

$$\frac{q_1}{q_0} = 22. \quad (55)$$

Таким образом, для того чтобы при приемочном числе $c = 0$ одновременно были малы риски поставщика и потребителя, браковочный уровень должен во много раз превышать приемочный уровень качества. Из равенства (53) также следует, чем меньше величина приемочного уровня, тем больше должен быть объем выборки при одном и том же риске поставщика. В общем случае, если приемочное число не равно нулю, оперативная характеристика запишется в виде:

$$P(q) = \sum_{k=0}^c \frac{(nq)^k}{k!} \cdot e^{-nq}. \quad (56)$$

Если $c = 1$, то

$$P(q) = e^{-nq} + nqe^{-nq} = e^{-nq}(1 + nq). \quad (57)$$

Из уравнения (57) получаем:

$$\alpha = 1 - e^{-nq_0} (1 + nq_0), \beta = e^{-nq_1} (1 + nq_1). \quad (57.1)$$

Аналогично могут быть составлены уравнения для любых значений c .

Связь биномиального распределения с распределением Пуассона.

Распределение Пуассона является предельным для биномиального распределения, если число опытов n стремится к бесконечности, а $np = \lambda$ остается постоянным. Это предельное свойство биномиального распределения можно записать в виде:

$$\lim_{n \rightarrow \infty} C_n^m P^m (1 - P)^{n-m} = \frac{a^m}{m!} e^{-a}. \quad (58)$$

Это формулировка предельной теоремы Пуассона. Предельное свойство биномиального закона часто находит применение на практике. Допустим, что производится большое количество независимых опытов n , в каждом из которых событие A имеет очень малую вероятность p . Тогда для вычисления вероятности P_{nm} того, что событие A появится равно m раз, можно воспользоваться приближенной формулой:

$$P_n^m \approx \frac{(np)^m}{m!} e^{-np}, \quad (59)$$

где $np = a$ — параметр закона Пуассона, которым приближенно заменяется биномиальное распределение.

В силу того, что $n \rightarrow \infty$ и $np = \lambda = const$, вероятность p исследуемого события становится очень мала, то распределение Пуассона называют также *распределением редких событий*. Например, доля брака p в контролируемой партии очень мала, то вероятность обнаружения k дефектных изделий среди n взятых из партии можно приближенно рассчитать по формуле (48), подставив $np = \lambda$.

Таким образом, в теории надежности распределение Пуассона является как бы частным случаем биномиального распределения. В расчетном смысле оно уже, но физически шире, так как есть такие явления, в которых распределение Пуассона применимо, а биномиальное — нет. Например, для случаев восстанавливаемого изделия, которое за заданный отрезок времени может иметь любое число отказов.

Различать биномиальные и пуассоновские величины можно, следуя принципу: для биномиальных величин можно сосчитать как число годных, так и дефектных изделий, для пуассоновских можно сосчитать только число дефектов. С помощью биномиального распределения можно подсчитать вероятность появления определенного числа бракованных деталей в партии при известном проценте брака. Распределение Пуассона можно использовать для моделирования числа обращений к контролеру службы ОТК.

11.5. Усеченный контроль.

Последовательный анализ Вальда

При высокой стоимости контроля, тем более, когда он связан с разрушением продукции, возникает необходимость в сокращении объема выборки при сохранении требуемой достоверности результатов. Усеченный контроль — это статистический приемочный контроль, который подлежит прекращению в тот момент, когда установлено, что объем полученной информации достаточен для принятия решения о приемке партии продукции. При усеченном контроле риски поставщика и потребителя, предел среднего выходного уровня дефектности не превышают допустимых, но средний объем выборки существенно меньше, чем при исходном плане контроля.

На практике контрольные испытания проводятся последовательно. При планировании дальнейших наблюдений используются ранее полученные данные. Для уменьшения объема контроля используют двухступенчатые и многоступенчатые планы. В середине 1920-х гг. Гарольдом Доджем (*Dodge*, 1893–1976) — сотрудником *Bell Laboratories*, трудившимся рядом с творцом теории variability В. Шухартом, была предложена теория приемочного контроля, получившая вскоре мировую известность.

В 1944 г. в работе Г. Доджа и Х. Роминга [*Dodge H. F., Romig H. G. Sampling inspection tables: Single and double sampling. 2-ed., rev. a. expanded New York: Wiley, 1998. X., 224 p.*] были описаны планы двухступенчатого контроля. При их использовании решение о контролируемой партии продукции принимают либо после анализа первой выборки объемом n_1 , с приемочным числом c_1 , и браковочным d_1 , либо второй выборки объемом n_2 с приемочным числом c_2 . При этом переход к отбору второй выборки зависит от результатов проверки первой. Уравнение оперативной характеристики двухступенчатого плана контроля в общем виде может быть записано в виде:

$$P(q) = P_1(q) + P_2(q), \quad (60)$$

что представляет собой сумму вероятностей несовместных событий. Вероятности, входящие в последнее уравнение, определяются в зависимости от закона распределения отказов. При прочих равных условиях двухступенчатый контроль требует в среднем на 20–30% изделий меньше, чем одноступенчатый. В то же время расчеты, связанные с построением двухступенчатого контроля, сложнее, чем при одноступенчатом. В еще большей степени сказанное относится к *многоступенчатому контролю*, который обобщает двухступенчатый на случай, когда число выборок больше двух.

Большое количество одно-, двух- и многовыборочных планов контроля было разработано в США, где они изданы под названием «Военный стандарт 105А», сокращенно Mil-Std-105А.

Среднее число проверяемых изделий убывает с ростом числа ступеней контроля. Поэтому наиболее экономичен *последовательный контроль*, когда объем выборки на каждом шаге может быть равен единице, а максимальное число выборок заранее не установлено. Согласно теории Неймана-Пирсона наилучшая процедура проверки гипотезы H_0 против альтернативы H_1 состоит в принятии или отклонении гипотезы H_0 в зависимости от того, меньше или больше отношение правдоподобия P_{1n}/P_{0n} некоторого значения c , при этом необходимое число наблюдений при заданных вероятностях ошибок можно рассчитать заранее (до проведения испытаний), и оно не зависит от исхода самих испытаний. Однако если объем выборки сделать зависящим от исходов испытаний, то можно добиться выигрыша в среднем числе испытаний до принятия решения.

В 1943 г. американский статистик Абрахама Вальд (*Wald, 1902–1950*) предложил ставшую вскоре знаменитой теорию последовательного анализа, послужившую основой для разработки экономичных планов выборочного контроля качества, позволивший уменьшить среднее число наблюдений (при тех же вероятностях ошибок). Шла Вторая мировая война, и военное ведомство США немедленно засекретило открытие Вальда, когда же оно стало общедоступным, то

явилось историческим событием в мире математической статистики, а академик А. Н. Колмогоров назвал его жемчужиной статистической теории и посвятил уточнению некоторых выводов Вальда одну из своих работ [Колмогоров А. Н., Прохоров Ю. В. О суммах случайного числа случайных слагаемых // Успехи математических наук. 1949. Т. 4. Вып. 4. С. 168–172].



А. Вальд, 1948 г.

А. Вальд родился в религиозной еврейской семье и получил домашнее образование. Продолжил обучение в Венском университете, в 1931 г. стал доктором философии по математике, после прихода к власти нацистов эмигрировал в США. В годы Второй мировой войны командование американских и британских ВВС поручило А. Вальду выяснить, какие части фюзеляжа самолета нужно защитить дополнительной броней. Вальд изучал самолеты, возвращавшиеся с боевых вылетов, отмечая места попаданий снарядов, и рекомендовал установить дополнительную защиту на те участки фюзеляжа, где количество пробоин было минимальным. Рекомендация была основана на выводе, что защищать нужно от тех попаданий, которых Вальд не видел, — самолеты, которые их получили, не возвращались. В 1950 г. Вальд по приглашению индийского правительства читал лекции, погиб в авиационной катастрофе в горном массиве Нилгири.

Если вероятности ошибок α и β заданы, то любой критерий с такими ошибками называют *критерием силы* (α, β). В классе критериев данной силы (α, β) предпочтительным является тот, который требует меньшего числа наблюдений. Критерий, минимизирующий одновременно среднее число наблюдений, как при принятии основной гипотезы, так и принятии альтернативной гипотезы называют оптимальным. Таким свойством оптимальности и обладает критерий Вальда. Доказана теорема о том, что критерий Вальда с вероятностью 1 заканчивается за конечное число шагов.

Строгое обоснование последовательного критерия подробно описано в изданной на русском языке монографии [20]. По методике Вальда, оценив результаты очередного испытания, принимают одно из трех решений:

- прекратить испытание и принять партию;
- прекратить испытание и забраковать партию;
- провести следующее испытание.

Подмечено, что игроки в интеллектуальные игры, связанные с мыслительной комбинаторикой, например шахматы, шашки, домино, в условиях неполной и меняющейся по ходу игры информации используют идеи последовательного анализа [Большая Российская энциклопедия. Т. 26. М.: Большая Российская энциклопедия, 2014. С. 586].

При планировании контрольных испытаний последовательным методом устанавливают два контрольных норматива: приемочный (максимальное число дефектных единиц в выборке или предельное значение контролируемого параметра, при котором партия принимается) и браковочный (минимальное число дефектных единиц в выборке или предельное значение контролируемого параметра, при котором партия бракуется).

Основанный на последовательном критерии отношения вероятностей метод контроля в случае биномиального распределения планируется следующим образом. Для простоты вычислений отношений правдоподобия удобнее воспользоваться логарифмом отношений. Для заданных q_0 и q_1 после проверки каждого очередного изделия рассчитывают логарифм отношения правдоподобия по формуле:

$$\ln \left(\frac{P_{1n}}{P_{0n}} \right) = k \ln \left(\frac{q_1}{q_0} \right) + (n - k) \ln \left[\frac{1 - q_1}{1 - q_0} \right], \quad (61)$$

где: P_{1n} , P_{0n} — вероятности получения выборок, соответствующих альтернативным гипотезам H_1 и H_0 относительно неизвестного параметра q ;

n — объем выборки;

k — число дефектных изделий среди n проверенных.

Задаются две положительные константы $A_0 < 1 < A_1$ и наблюдения проводятся до тех пор, пока впервые не будет нарушено какое-нибудь из неравенств:

$$\ln A_0 < \ln \left(\frac{P_{1n}}{P_{0n}} \right) < \ln A_1. \quad (62)$$

Отношение правдоподобия является достаточной статистикой при последовательном анализе. Если отношение P_{1n}/P_{0n} мало, то принимают гипотезу H_0 ; а если большое, то принимают гипотезу H_1 . Таким образом, если в момент прекращения испытаний $\ln \left(\frac{P_{1n}}{P_{0n}} \right) \leq \ln A_0$, то принимается гипотеза H_0 ; если $\ln \left(\frac{P_{1n}}{P_{0n}} \right) \geq \ln A_1$, то принимается гипотеза H_1 .

Вероятность того, что последовательный анализ окончится принятием гипотезы H_1 равна α , когда верна гипотеза H_0 , и $(1 - \beta)$, когда верна гипотеза H_1 . Иными словами, партия с долей дефектов q_1 должна браковаться с вероятностью $(1 - \beta)$, а партия с долей дефектов $q_0 - \alpha$ с вероятностью α (см. рис. 35). Следовательно, $A_1 = \frac{1-\beta}{\alpha}$. Рассуждая аналогично, можно сказать, что партия с долей дефектов q_1 должна приниматься с вероятностью β , а партия с долей дефектов $q_0 - \alpha$ с вероятностью $(1 - \alpha)$, отсюда $A_0 = \frac{\beta}{1-\alpha}$.

Подставив рассчитанное по формуле (61) значение $\ln \left(\frac{P_{1n}}{P_{0n}} \right)$ в выражение (62) и положив $A_0 = \frac{\beta}{1-\alpha}$ и $A_1 = \frac{1-\beta}{\alpha}$, получим уравнения границ зон принятия альтернативных гипотез в виде двух параллельных прямых (рис. 37):

$$k_i = \frac{\ln A_i + n \ln \frac{1-q_0}{1-q_1}}{\ln \frac{q_1}{q_0} + \ln \frac{1-q_0}{1-q_1}}, \quad (63)$$

где $i = 0$ соответствует линии приемки, а $i = 1$ — линии браковки.

При $k \leq k_0$ партия принимается, при $k \geq k_1$ партия бракуется, а при $k_0 < k < k_1$ проверяется следующее изделие. Установлено, что практически коэффициент выгоды в числе наблюдений в критерии Вальда по сравнению с критерием Неймана-Пирсона зависит только от заданных рисков поставщика и потребителя, и обычно колеблется между двумя и тремя, хотя в некоторых случаях он может быть существенно больше.

Хотя проверка простых гипотез чаще всего представляет теоретический интерес, можно указать ситуации, когда построение критерия

проверки сложных гипотез сводится к проверке простых гипотез, так что риски поставщика и потребителя для сложных гипотез не больше, чем для простых.

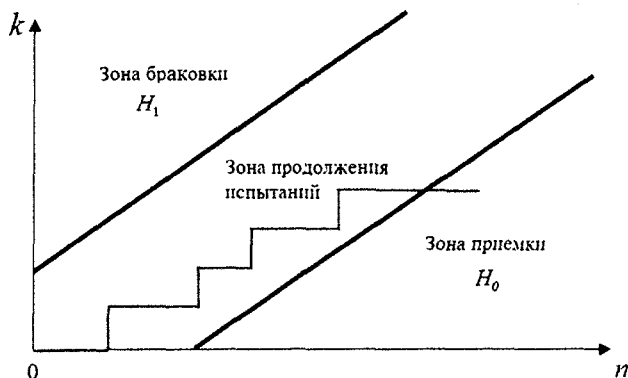


Рис. 37. Схема последовательного контроля

11.6. Способы модификации последовательных испытаний

Опыт подтверждает предположение, что при статистическом приемочном контроле, если проверяется продукция, фактическое качество которой выше задаваемого приемочным уровнем, или напротив хуже браковочного, то критерий Вальда — оптимален. Однако в отличие от критерия Неймана–Пирсона при последовательном анализе число наблюдений является случайной величиной. Предельное распределение объема выборки в этом случае иногда называют распределением Вальда.

Теоретические исследования и многолетняя практика использования критерия Вальда позволили выявить его основной недостаток: если истинное значение контролируемого параметра, характеризующий фактическое качество продукции, лежит в диапазоне между H_0 и H_1 , то последовательный критерий теряет свои оптимальные свойства — становится невыгодным.

На практике этот вывод ощущается особенно явно при различении близких гипотез. Характерная зависимость среднего числа наблюдений от фактического уровня дефектности партии изображена на рис. 38.

Схема наиболее простого способа усечения последовательных испытаний, так называемое «прямоугольное» усечение, представлена на рис. 39. В этом случае устанавливается максимальный объем выборки (или продолжительность испытаний) и максимально допустимое число отказов. Испытания планируются сначала по методу последователь-

ного анализа и если не заканчиваются после контроля n_{\max} объектов, решение принимается по критерию Неймана–Пирсона. Заметим, что при этом ошибки первого и второго рода могут неконтролируемо возрастать. Поэтому прямоугольное усечение нельзя признать удачным.

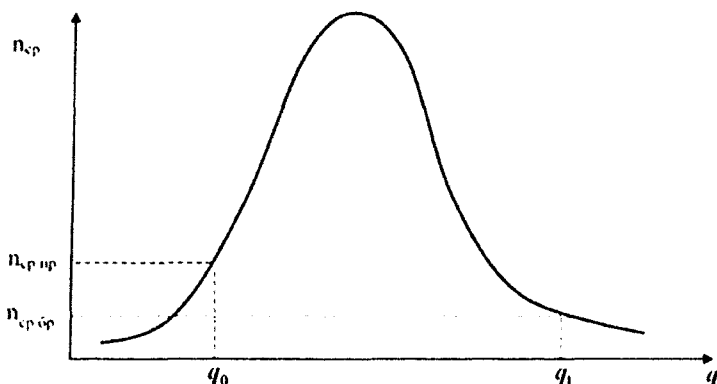


Рис. 38. Зависимость среднего числа наблюдений при последовательном анализе от фактического качества партии

В общем случае усечение последовательной процедуры является попыткой согласовать достоинства последовательных испытаний по мере их накопления с преимуществом классической процедуры, гарантирующей принятие решения при определенном числе имеющихся данных.

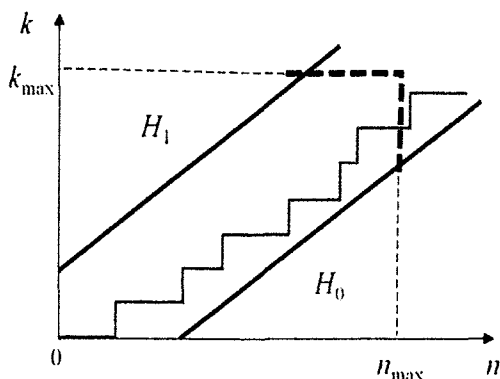


Рис. 39. «Прямоугольное» усечение последовательного плана испытаний

Часто используется минимаксный подход, при котором за меру точности оценки принимается максимальный риск. Оценка, минимизирующая максимальный риск, называется минимаксной оценкой параметра. О сути минимаксного критерия Г. Штейнгауз в своей

книге «Математика — посредник между духом и материей» пишет: «Для иллюстрации минимакса можно воспользоваться примером игры в шахматы: я имею несколько ходов на выбор, и на каждый из них противник имеет несколько ответов. В связи с этим, на каждый из моих возможных ходов найдется такой ответ, который дает противнику максимальный шанс, а поэтому я выбираю такой ход, которому соответствует минимальный шанс, т. е. наименьший из этих максимумов».

С. Айвазян установил, что асимптотические свойства последовательного критерия ухудшаются при α и $\beta \rightarrow 0$, и предложил приближенный вариант оптимального обобщенного последовательного критерия, обеспечивающего эффективность не ниже 96% оптимального критерия. В критерии Айвазяна границы зон приемки и браковки представляют собой пересекающиеся прямые (рис. 39).

При этом максимальное число отказов, которое может потребоваться до принятия решения, находится по формуле:

$$D = \frac{8 \ln \left[\frac{1}{\min(\alpha, \beta)} \right]}{\rho(H_0, H_1)}, \quad (64)$$

где $\rho(H_0, H_1)$ — «расстояние между гипотезами», являющееся мерой трудности их различения и рассчитываемое по формуле:

$$\rho(H_0, H_1) = \int_{\theta} [f_1(x) - f_0(x)] \ln [f_1(x) / f_0(x)] dx, \quad (65)$$

где: $f_1(x)$ и $f_0(x)$ — плотности распределения, соответствующие гипотезам H_1 и H_0 ;

θ — область изменения параметра.

Принятие решения в критерии Айвазяна осуществляется следующим образом: если в результате n -го наблюдения оказалось, что:

$$-C_0 \left(1 - \frac{n}{D} \right) \leq \sum_{i=1}^n \ln(Z_i) \leq C_1 \left(1 - \frac{n}{D} \right), \quad (66)$$

то проводится проверка следующего $(n + 1)$ наблюдения;

если $\sum_{i=1}^n \ln(Z_i) < -C_0 \left(1 - \frac{n}{D} \right)$, то принимается гипотеза H_0 ,

если $\sum_{i=1}^n \ln(Z_i) > C_1 \left(1 - \frac{n}{D} \right)$, то принимается гипотеза H_1 .

где: C_0 и C_1 — критические константы, определяемые заданными значениями ошибок первого и второго рода. Точные значения C_0 и C_1 определяются по весьма громоздким формулам, но можно воспользоваться приближенными соотношениями

$$C_0 \approx 2 \ln \left(\frac{1}{\beta} \right), C_1 \approx 2 \ln \left(\frac{1}{\alpha} \right).$$

Границы зон принятия альтернативных гипотез при использовании плана контроля качества, основанного на использовании критерия Айвазяна, в случае использования биномиального распределения выглядят следующим образом:

$$m_i = \frac{\pm C_i \left(1 - \frac{n}{D}\right) - n \times \ln \frac{1 - q_1}{1 - q_0}}{\ln \frac{q_1}{q_0} - \ln \frac{1 - q_1}{1 - q_0}}, \quad (67)$$

где: $i = 1$ и знак «+» соответствуют границе принятия гипотезы H_1 ;
 $i = 0$ и знак «-» соответствуют границе принятия гипотезы H_0 ;

$$\rho(H_0, H_1) = (q_1 - q_0) \left(\ln \frac{q_1}{q_0} + \ln \frac{1 - q_0}{1 - q_1} \right). \quad (68)$$

Отношение минимальных объемов выборок в схемах оптимальных последовательных процедур не зависит от приемочного и браковочного уровней дефектности, а определяется заданными при планировании испытаний рисками поставщика и потребителя. Очевидно, что в случае, когда на контроль поступает продукция, надежность которой не ниже задаваемого уровнем приемки, критерий Вальда характеризуется существенно более высокой эффективностью по сравнению с критерием Айвазяна.

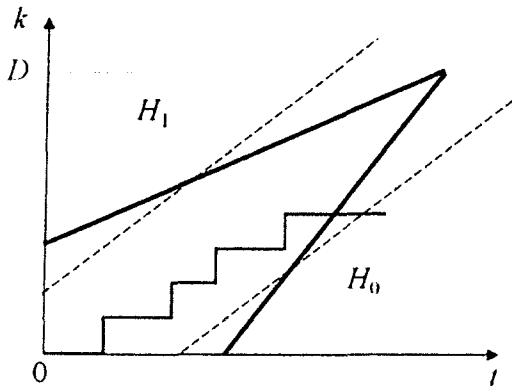


Рис. 40. Схема оптимального обобщенного последовательного критерия (критерий Айвазяна)

Другой подход к решению проблемы минимизации среднего времени наблюдений в случае, когда истинное значение неизвестного параметра принимает промежуточное относительно H_0 и H_1 значение, предложил в 1976 г. Г. Лорден. Рассматривая задачу различения двух простых гипотез $H_0: \theta = \theta_0$ и $H_1: \theta = \theta_1$, он ввел вспомогательный параметр θ' , определяемый из следующего выражения:

$$I(H'; H_0) = I(H'; H_1), \quad (69)$$

$I(H'; H_0)$ — среднее значение информации о различии между гипотезами H' и H_0 относительно θ' , определяемое по формуле:

$$I(H'; H_0) = \int_x f_{\theta'}(x) \times \ln \left(\frac{f_{\theta'}(x)}{f_{\theta_0}(x)} \right) dx. \quad (70)$$

Принятие решения в критерии Лордена осуществляется следующим образом: если в результате n -го наблюдения оказалось, что:

$$\sum_{i=1}^n \ln \left(\frac{f(x_i, \theta')}{f(x_i, \theta_0)} \right) \leq \ln A_1, \quad (71)$$

$$\sum_{i=1}^n \ln \left(\frac{f(x_i, \theta')}{f(x_i, \theta_1)} \right) \leq \ln A_0,$$

то проводится проверка следующего ($n + 1$) наблюдения;

если $\sum_{i=1}^n \ln \left(\frac{f(x_i, \theta')}{f(x_i, \theta_1)} \right) \leq \ln A_0$, то принимается гипотеза H_0 ;

если $\sum_{i=1}^n \ln \left(\frac{f(x_i, \theta')}{f(x_i, \theta_0)} \right) \leq \ln A_1$, то принимается гипотеза H_1 .

Границы зон принятия альтернативных гипотез при использовании плана контроля качества, основанного на использовании критерия Лордена, в случае использования биномиального распределения выглядят следующим образом:

$$m_i = \frac{\pm \ln A_i - n \times \ln \frac{1-q_j}{1-q^i}}{\ln \frac{q_j}{q^i} - \ln \frac{1-q_j}{1-q^i}} \quad (72)$$

где: $i = 1, j = 0$ и знак «-» соответствуют границе принятия гипотезы H_1 ;
 $i = 0, j = 1$ и знак «+» соответствуют границе принятия гипотезы H_0 .

$$q_i = \frac{\ln \frac{1-q_0}{1-q_1}}{\left(\ln \frac{q_0}{q_1} + \ln \frac{1-q_0}{1-q_1} \right)} \quad (73)$$

В критерии Лордена границы зон принятия альтернативных гипотез представлены на рис. 41.

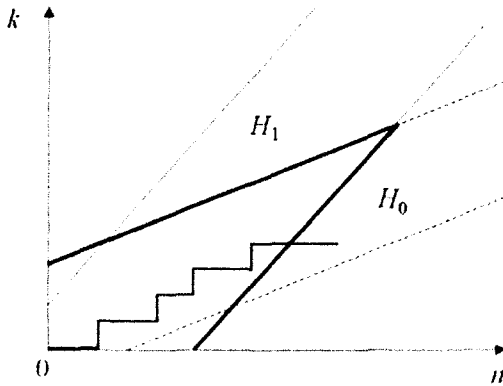


Рис. 41. Двойной последовательный контроль отношения вероятностей (Критерий Лордена)

Метод получил название двойного последовательного критерия отношения вероятностей («2-SPRT»). Проверка сложных гипотез последовательным методом, несомненно, представляет интерес и, вероятно, в будущем найдет применение в практике испытаний.

Вопросы для самопроверки

1. Что такое точка безубыточности по Фейгенбауму?
2. В каких случаях целесообразно проведение выборочного контроля?
3. Что такое статистическая гипотеза?
4. Что называется планом контроля?
5. Какая разница между контролем по количественному и качественному (альтернативному) признаку?
6. Что такое риск поставщика, риск потребителя, оперативная характеристика выборочного контроля? Как они связаны с достоверностью контроля?
7. Что такое уровень дефектности?
8. Для чего при выборочном контроле качества задаются два контрольных норматива?
9. При каких допущениях можно проводить расчеты плана контроля, исходя из биномиального распределения и распределения Пуассона?
10. В чем особенности метода однократной выборки, двухступенчатого контроля и последовательного плана испытаний?
11. Каким образом осуществляется усеченный последовательный контроль?

12. СТАТИСТИЧЕСКОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Качество должно быть «встроено в технологию», а не обеспечено контролем.

Э. Деминг

В рассказе «Галстук» из сборника «Колымские рассказы» Варлам Шаламов пишет: «Россия — страна проверок, страна контроля. Мечта каждого доброго россиянина — и заключенного, и вольнонаемного, — чтобы его поставили что-нибудь, кого-нибудь проверять. Во-первых: я над кем-то командир. Во-вторых: мне оказано доверие. В-третьих: за такую работу я меньше отвечаю, чем за прямой труд». Можно понять неприязнь ко всем формам контроля писателя, много лет проведенного в ГУЛАГе на Колыме, ставшей символом человеческих страданий.

Но до середины XX в. проверки были основным средством контроля качества. Такая стратегия часто оказывалась не экономичной, поскольку бракованная продукция уже создана. Деминг предложил сделать проверки инструментом сбора информации о ходе производства, ее анализ и при необходимости внесение изменений в процесс изготовления продукции. Об этом говорит третий принцип Деминга для управляющего — «Покончите с зависимостью от массового контроля». Если процесс стабилен, то в соответствии с концепцией Фейгенбаума выходной контроль может быть излишним. Именно стабильность является основным фактором успеха в стратегическом подходе к совершенствованию бизнеса «шесть сигм».

Совокупность подходов и методов приведения возможностей процессов и систем измерения в соответствие требованиям потребителя к качеству продукции часто называют «встроенным качеством». При этом качество «встраивается» прежде всего на этапах проектирования продукции, разработки технологии и отработки производства. Например, методы статистического управления процессами (SPC) позволяют уменьшить их вариабельность в ходе подготовки производства; анализ

видов и последствий (*FMEA*) позволяет снизить риски возникновения несоответствий при проектировании продукции и разработке технологии. «Встроенное качество» уменьшает необходимость в процедурах контроля при приемке продукции и позволяет реализовать принцип трех «Не»: не делай, не передавай, не принимай дефектную продукцию [55].

12.1. Контрольные карты кумулятивных сумм

Применение кумулятивных контрольных карт основано на идее последовательных испытаний. Основоположник последовательного анализа А. Вальд обратил внимание на метод кумулятивных сумм в работе, опубликованной в 1944 г. Вероятно, первым на возможность применения последовательного анализа для организации процедуры статистического регулирования технологических процессов указал Е. Пейдж в 1950-е гг. [*Page E. S. Continuous inspection schemes // Biometrika. 1954. Vol. 41. No 1. P. 100–115*]. Эти карты основаны не на индивидуальных значениях, а на так называемых кумулятивных (от англ. *cumulative* — накопленный) суммах, образуемых следующим образом:

$$S_r = \sum_{i=1}^r (x_i - k) = S_{r-1} + (x_r - k), \quad (74)$$

где: k — константа, представляющая собой некоторое опорное значение;
 x_i — значение используемой статистики в i -й момент времени.

Контрольная карта кумулятивных сумм (часто называемая КУ-СУМ-картой) предназначена для проверки процесса на отклонение от некоторого опорного значения (чаще всего от среднего арифметического), которое называют также целевым значением.

Решение принимается не только по текущему значению контролируемого параметра, но в зависимости от всей «истории» и этим КУ-СУМ-карты отличаются от карт Шухарта, которые постепенную разладку «чувствуют» не сразу. Контрольные карты кумулятивных сумм наиболее чувствительны к постепенной разладке процесса, например при стачивании инструмента.

Основное правило принятия решений заключается в построении на КУСУМ-карте V -маски и определении значимых изменений при выходе точек кривой КУСУМ за линии V -маски. Существуют три различных формы масок, они идентичны по принципу построения: полная V -маска, усеченная V -маска и параллельная маска. Наиболее распространенная из них — усеченная V -маска. Ее схематическое изображение приведено на рис. 42. Отрезки AB и AC называют интервалами решений и обозначают H , а линии BD , CE — разрешающими линиями, $d = 10$ — число выборочных интервалов.

Для удобства работы на местах с КСУМ-картой применяют шаблон *V*-маски, который можно сделать из прозрачного пластика, плотной бумаги или пленки. Стандарт ГОСТ Р 50779.45-2002 устанавливает основные принципы применения контрольных карт кумулятивных сумм (КСУМ-карт), методы их построения, а также основные правила принятия решений.

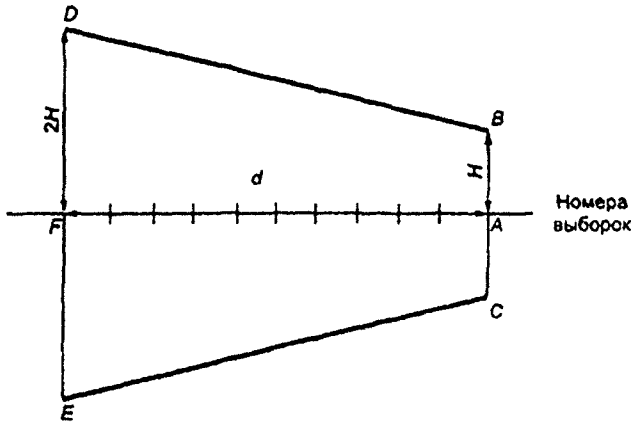


Рис. 42. Шаблон усеченной *V*-маски

При использовании метода кумулятивных сумм вводятся понятия аналогичные тем, что используются при выборочном контроле: приемлемый уровень процесса (*APL* — *acceptable process level*) — максимальный уровень нестабильности, который рассматривается, как удовлетворительный и неприемлемый уровень (*RPL* — *rejectable process level*) — минимальный уровень нестабильности, который рассматривается, как неудовлетворительный. Область между *APL* и *RPL* часто называют «зоной неопределенности».

Границы регулирования должны назначаться таким образом, чтобы вероятность выхода за них точки при налаженном технологическом процессе были бы по возможности малой, а при разлаженном технологическом процессе — по возможности большой. Иными словами, чтобы контрольные карты были эффективными, надо чтобы средняя продолжительность обнаружения разладки была по возможности малой, а средняя продолжительность появления ложного сигнала о разладке при налаженном процессе — по возможности большой.

Если, например, контролируемый параметр распределен по нормальному закону с математическим ожиданием μ , то технологический процесс предполагается в налаженном состоянии при значении параметра μ_0 и в разлаженном состоянии — при μ_1 . Предполагается, что изменение от μ_0 до μ_1 происходит мгновенно.

В задаче статистического регулирования технологических процессов выдвигается две простые гипотезы: основная (H_0 — процесс находится в статистически управляемом состоянии, чему соответствует значение контролируемого параметра $\mu = \mu_0$) и альтернативная (H_1 — произошла разладка контролируемый параметр принял значение $\mu = \mu_1$). Если в результате испытаний («статистической проверки гипотез») установлено, что имеет место гипотеза H_0 , то делается вывод о том, что процесс находится в статистически управляемом состоянии. В противном случае необходимо вмешательство в процесс.

При статистическом регулировании технологических процессов ошибка первого рода трактуется как риск излишней настройки, а второго рода — риск незамеченной разладки. Ошибка первого рода — это принятие обычной флуктуации, вызванной общими причинами, за особую причину вариации и вмешательство в работу стабильной системы. Она возникает, когда процесс находится в статистически управляемом состоянии, а точка оказывается за контрольными границами случайно. В результате делают попытку найти и устранить причину несуществующей проблемы, что может привести к дестабилизации системы. У американцев заповедь: «Не сломалось — не чини». Ошибка второго рода — это принятие реальных отклонений системы за обычную флуктуацию и невмешательство в работу системы, когда это необходимо.

Для проверки гипотезы H_0 о том, что параметром распределения показателя качества является μ_0 и альтернативной гипотезы H_1 о том, что этим параметром является μ_1 , как и в случае контрольных карт Шухарта, через определенные промежутки времени из потока продукции извлекаются выборки, для которых определяются статист y_1, y_2, \dots, y_n , но по оси ординат откладываются не сами величины y_n , а кумулятивные суммы:

$$Z_n = \sum_{j=1}^n y_j, n = 1, 2, 3, \dots \quad (75)$$

и по оси абсцисс так же, как и на обычных контрольных картах откладываются значения n . Таким образом, у контрольных карт кумулятивных сумм границы регулирования зависят от числа проверенных выборок n .

В математическом плане задача статистического регулирования технологических процессов аналогична рассмотренной в предыдущем разделе задаче выборочного контроля.

12.2. Исследование последовательных планов контроля и регулирования методом статистических испытаний

Планы контрольных испытаний, основанные на использовании статистических методов, должны проходить тщательную проверку до

внедрения их в практику. Однако аналитические расчеты эффективности использования планов испытаний в предположениях, достаточно точно отражающих реальные условия производства, выполнить очень трудно. Теоретические выводы носят, как правило, асимптотический характер, поскольку основаны на поведении статистических процедур при предельных переходах: неограниченном возрастании объема наблюдений, неограниченном уменьшении заданных ошибок первого и второго рода или неограниченном сближении значений параметров, соответствующих проверяемым гипотезам.

Асимптотический подход широко используется при расчете статистических критериев, позволяя получить достаточно общие результаты в простой и наглядной форме. Как заметил статистик Дж. Русас асимптотический подход — «зачастую единственная возможность, открывающая статистику в суровой действительности». Но необходимо помнить, что использование формул, имеющих асимптотический характер, при работе с выборками конечного объема (тем более, с малыми выборками), приводит к ошибкам.

Сравнение планов контроля по результатам натурных испытаний затруднительно из-за необходимости получения большого объема статистических данных. Такие исследования с приемлемой точностью можно провести методом статистических испытаний [30]. Метод статистических испытаний, или метод Монте-Карло, иногда называют методом математического моделирования, он дает возможность, в частности, исследовать какие погрешности имеют место при использовании формул, полученных асимптотическим методом.

Для изучения эффективности различных статистических процедур необходимо иметь наборы конкретных экспериментальных данных, которые можно было бы рассматривать в качестве реализаций некоторой случайной величины с известным законом распределения. Обработывая эти данные по соответствующему алгоритму, мы получаем возможность сравнить предсказание теории и практические результаты. Например, критерий проверки гипотез гарантирует, что истинные значения ошибок первого и второго рода не превысят заданных. Имея заданные значения ошибок первого и второго рода, мы с определенной точностью и достоверностью выясняем каковы значения ошибок на самом деле.

В качестве случайных чисел чаще всего используют псевдослучайные числа — детерминированные числа, которые получаются по некоторой заданной формуле (алгоритму) и обладающие свойствами случайных чисел.

Решение задачи получения случайных чисел с заданным законом распределения основывается на известном в математической статистике положении — о преобразовании случайных чисел, равномерно распределенных в интервале в числа с заданным распределением. В моногра-

фии [55, с. 62–70] приводятся примеры для различных законов распределения случайных величин (и непрерывных, и дискретных).

Из Большой Российской энциклопедии: Математическое моделирование состоит из последовательной реализации триады «модель — алгоритм — программа». Сначала строится модель объекта, выражающая в математической форме его свойства. Модели бывают собственно математические и имитационные (симуляционные), как в нашем случае. Аналоговая модель представляет исследуемый объект, аналог, который ведет себя как реальный объект, но не выглядит как таковой [Большая Российская энциклопедия. Т. 20. М., 2012. С. 577].

Для применения метода статистических испытаний для оценки эффективности планов контроля необходимо задать следующие исходные данные: вид распределения, число реализаций (под реализацией понимается процесс проведения испытаний одной партии до принятия решения), приемочный и браковочный уровни (θ_0 и θ_1), фактическое значение качества (θ), значения известных априори параметров для двух параметрических моделей, риски поставщика и потребителя (α , β).

В результате расчета для каждого плана контроля при фиксированных исходных данных определялись: число принятых партий, число забракованных партий, фактические риски α (при $\theta = \theta_0$) и β (при $\theta = \theta_1$), средние объемы выборки (или продолжительности испытаний) в случае приемки и браковки.

Необходимое число реализаций должно быть достаточным, чтобы обеспечить заданную точность построения оперативной характеристики, т. е. чтобы вероятность принятия гипотезы H_0 и H_1 , рассчитанная методом Монте-Карло, отличалась от истинной не более, чем на величину ε при доверительной вероятности γ . Иными словами, необходимо выполнение условия

$$P(|p - p^*| \leq \varepsilon) = \gamma, \quad (76)$$

где: p и p^* — истинная вероятность принятия одной из альтернативных гипотез и ее оценка.

Практически число реализаций должно составлять не менее 10 000. В этом случае при доверительной вероятности $\gamma = 0.95$, получим $\varepsilon \approx 0,001$. В тоже время не следует делать его слишком большим, помня изречение Аристотеля «При изучении любого предмета не следует стремиться к большей точности, чем допускает природа предмета».

Случайные величины n_i , распределенные по биномиальному закону, находятся по формуле:

$$n_i = \frac{\ln(x_i)}{\ln(1-q)}, \quad (77)$$

где: n_i — номер i -го дефектного изделия;
 q — вероятность «дефектности» изделия.

Результаты моделирования планов выборочного контроля позволили провести сравнительный анализ эффективности оптимальных последовательных критериев. Была установлена нелинейная зависимость фактических ошибок первого и второго рода от момента «прямоугольного» усечения (рис. 38) последовательной процедуры, что позволяет для любого конкретного случая находить момент оптимального усечения. Статистическое моделирование показало, что истинные α и β в большинстве случаев оказываются меньше заданных. Следовательно, заменив параллельные границы зон принятия альтернативных гипотез (рис. 36) криволинейными, и подобрав их таким образом, чтобы относительное отклонение фактических значений рисков от заданных не превосходило определенной, наперед заданной величины, можно сократить средний объем испытаний.

Определим условия, которым должен удовлетворять рациональный усеченный последовательный критерий:

- последовательный критерий Вальда должен являться частным случаем предлагаемого критерия;
- аналитические выражения для границ зон принятия альтернативных гипотез должны быть по возможности простыми;
- граница зоны принятия гипотезы H_0 должна быть выпуклой книзу, а зоны принятия гипотезы H_1 — выпуклой кверху.

Простейшей зависимостью, соответствующей этим требованиям, является квадратическая функция (кстати, это же было основным доводом у Тагучи при подборе функции для описания зависимости потерь потребителя от величины отклонения выходной характеристики от заданного значения). В связи с этим было предложено заменить прямолинейные границы зон приемки и браковки, характерные для критерия Вальда, параболическими (рис. 43).

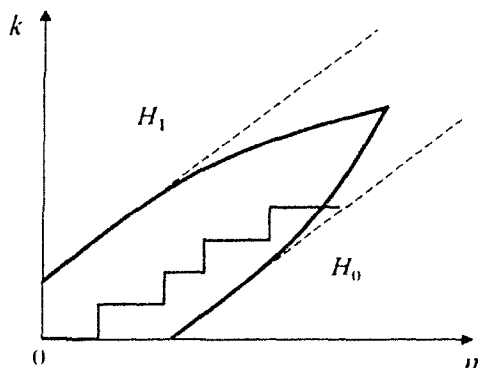


Рис. 43. Последовательный критерий с параболическими границами зон принятия альтернативных гипотез

Поскольку гипотеза H_0 принимается при $\ln\left(\frac{L_{1k}}{L_{0k}}\right) \leq \ln A'_0$, а H_1 — при $\ln\left(\frac{L_{1k}}{L_{0k}}\right) \geq \ln A'_1$, где $A'_0 = \frac{\beta}{1-\alpha}$, $A'_1 = \frac{1-\beta}{\alpha}$.

Выразив из этих неравенств k , получим условия принятия гипотез

$$H_0: k \leq F(t, \theta_0, \theta_1, A'_0)$$

$$H_1: k \geq F(t, \theta_0, \theta_1, A'_1)$$

Обозначим $F(t, \theta_0, \theta_1, A'_0) = k_0$, а $F(t, \theta_0, \theta_1, A'_1) = k_1$.

Здесь и далее k — число проверенных изделий (в биномиальном случае — число дефектных изделий). В биномиальном случае уравнения границ зон приемки и браковки записываются.

$$k'_0 = k_0 + (n - n_{min}^{np})^2 \times b_{np} \quad (78)$$

$$k'_1 = k_1 - (n - n_{min}^{бр})^2 \times c_{бр} \quad (79)$$

где: k_0 и k_1 — определяются по формулам (63);

n — число проверенных изделий;

n_{min}^{np} — минимальный объем выборки в случае приемки, находится из условия $k_0 = 0$ в уравнении (63):

$$n_{min}^{np} = \frac{\ln\left(\frac{1-\alpha}{\beta}\right)}{\ln\left(\frac{1-q_0}{1-q_1}\right)}, \quad (80)$$

$n_{min}^{бр}$ — минимальный объем выборки в случае браковки, находится из условия $k_1 = n$:

$$n_{min}^{бр} = \frac{\ln\left(\frac{1-\beta}{\alpha}\right)}{\ln\left(\frac{q_1}{q_0}\right)}. \quad (81)$$

Критерий с параболическими границами определяется так: при $k \leq k'_0$ принимается H_0 , а при $k \geq k'_1$ — H_1 . Границы приемки и браковки определяются по формулам (78) и (79). При использовании планов испытаний с параболическими границами поправочные

коэффициенты подбираются так, чтобы выполнялись неравенства

$$\frac{\alpha - \alpha^*}{\alpha} \leq \delta_1 \text{ и } \frac{\beta - \beta^*}{\beta} \leq \delta_2 \text{ в случае, если } \alpha^* < \alpha \text{ или } \beta^* < \beta,$$

где (α^*, β^*) – фактические риски поставщика и потребителя соответственно.

В результате моделирования установлено, что практически во всех случаях для любых значений неизвестного параметра $\theta \in [\theta_0, \theta_1]$ критерий с параболическими границами требует в среднем меньше наблюдений, чем любой другой последовательный критерий [43]. На рис. 44 показаны схемы последовательных критериев Вальда, Айвазяна, Лордена (на схеме два последних совпадают) и критерия с параболическими границами.

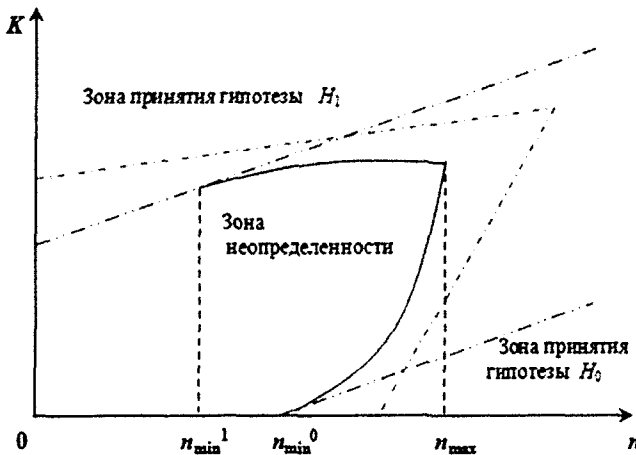


Рис. 44. Схема последовательных критериев

Вопросы для самопроверки

1. Как трактуются ошибки первого и второго рода в задаче статистического регулирования технологических процессов?
2. В чем принцип статистического моделирования планов испытаний?
3. Объясните алгоритм математического моделирования плана последовательных испытаний на ПЭВМ.
4. В чем преимущества плана последовательных испытаний с параболическими границами зон принятия решения?

13. ЭЛЕМЕНТЫ ТЕОРИИ НАДЕЖНОСТИ

Для нас, инженеров, надежность отнюдь не абстракция, а нечто принадлежащее суровой действительности. Надежность имеет для нас такое же значение, как рабочие характеристики аппаратуры, а очень часто она даже важнее этих характеристик.

И. Базовский

13.1. Значение проблемы надежности в технике в прошлом и настоящем

Показатели надежности являются одними из эксплуатационных характеристик качества, а то, что термин «качество» имеет более широкое значение, чем «надежность», мы определили в предыдущих разделах. Изделия радиоэлектроники находят все более широкое применение в народном хозяйстве, имеют все возрастающее значение в деле повышения обороноспособности страны. «В годы “холодной войны” надежность систем вооружения и космических аппаратов — фактор, значительно влияющий на уверенное положение нации. Если же начнется “горячая” война, то высокая надежность подобных систем будет одним из основных условий превосходства над противником» — такими словами начинается монография ведущих американских специалистов в области надежности радиоэлектронных систем, изданная в период холодной войны [Надежность радиоэлектронных систем / пер. с англ. М.: Сов. Радио, 1968. 336 с.].

В мирное время проблема надежности также очень актуальна, поскольку научно — технический прогресс приводит к появлению все более сложных конструктивно и чрезвычайно опасных для обслуживающего персонала и окружающей среды систем. Вспоминается афоризм немецко-американского философа Ханы Арендт — «Прогресс и катастрофа — две стороны одной медали».

Тяжелая авария на втором блоке атомной электростанции *ТМЭ* (США, март 1979 г.), утечка ядовитых газов на химическом комбинате в Бхопале (Индия, 1984 г.), взрыв космического корабля многоцелевого использования *Challenger* с семью космонавтами на борту в январе 1986 г., разрушение четвертого блока Чернобыльской атомной электростанции 26 апреля 1986 г., гибель атомной подводной лодки «Курск» в 2001 г., трагедия с еще одним американским космическим аппаратом *Shuttle Columbia* в феврале 2003 г. показали, что проблема обеспечения безопасности сложных систем еще далека от своего решения.

Человеческие жертвы, радиоактивное заражение больших участков местности, огромные экономические потери — вот характерные результаты отказов сложных систем. Необходимо также учитывать моральные, психологические и политические последствия отказов ответственных объектов, а потому ясно, что повышение их надежности является важной государственной задачей.

Теория надежности — дисциплина комплексная, основные разделы которой математическая теория надежности, физическая теория надежности («физика отказов»), диагностика, прогнозирование, теория контроля качества, теория восстановления. «В то время как проблема качества продукции уходит своими корнями в древние времена, теория надежности — наука молодая» — такими словами часто начинаются вводные лекции по этому надежности. Они справедливы по отношению к дисциплине, чей «возраст» несопоставимо мал по сравнению с фундаментальными науками, развивающимися на протяжении веков, а то и тысячелетий.

С необходимостью решения проблемы надежности человеку пришлось столкнуться с момента зарождения промышленности. Многие теоретические вопросы надежности формулируются в терминах теории массового обслуживания — математической дисциплины, изучающей системы, предназначенные для обслуживания потока требований случайного характера, например, в условиях АТС. Автором первой работы в области теории массового обслуживания, появившейся в 1909 г., был датский инженер А. К. Эрланг.

Вопросы, относящиеся к истории развития методов в теории надежности, обсуждаются в ряде работ [13, 14, 17, 27, 31, 39, 79]. Одна из первых программ, которую в современных терминах можно назвать программой обеспечения и контроля надежности, была составлена в 1916 г. американскими фирмами *Western Electric Company* и *Bell Telephone Laboratories*. Программа предусматривала ресурсные (до выхода из строя) испытания элементов телефонных аппаратов, анализ работы объекта при повышенной нагрузке, контроль готовой продукции.

Необходимость в самостоятельном изучении вопросов надежности, отличающихся от задач теории массового обслуживания, стала понят-

ной в начале 1930-х гг., когда Н. С. Стрелецкий (1885–1967) показал, что вследствие вероятностного характера прочностных свойств материалов и внешних нагрузок расчеты элементов стальных конструкций на прочность имеют статистический характер. Это послужило началом изучения случайного характера внешних условий и реакции на них конструкции, применению статистических методов при проведении расчетов на прочность.

С развитием авиации возникла проблема надежности бортовой аппаратуры, был организован сбор данных о отказах аппаратуры на самолетах различных типов, которую характеризовали средним числом замен, но не учитывали суммарную наработку. В 1930-е гг. проблема надежности радиоэлектронной аппаратуры решалась путем создания больших конструктивных запасов или широкого применения резервирования, что приводило к увеличению веса и габаритов оборудования и оказалось неприемлемым для бортовой аппаратуры.

В предвоенные годы основным направлением развития техники в нашей стране стала электрификация, и работы по надежности относились к электроэнергетике. Инженер Я. М. Туровер на Первом Всесоюзном совещании по эксплуатации энергоснабжающих систем (1935) ввел понятие «надежность» применительно к электрическим системам и указал на необходимость количественного определения надежности с привлечением для этой цели аппарата теории вероятностей. «Надежность электрической системы есть ее готовность и способность сохранять и поддерживать непрерывное и бесперебойное электропитание и обеспечивать качество энергии». В этом первоначальном определении «надежности», как технического термина, чувствуется понимание ее комплексного характера.

В Германии в годы второй мировой войны проводились работы по расчету надежности сложного оборудования, в частности, управляемых снарядов V-1 («фау») и V-2. Это были попытки найти объяснение плохого качества снарядов, собиравшихся из большого количества деталей, каждая из которых считалась высоконадежной. Вывод о том, что надежность системы, в которой выход из строя любого элемента приводит к отказу всей системы, ниже самого ненадежного элемента, был получен в результате этих расчетов.

В целом до середины 1940-х гг. вопрос о надежности того или иного изделия решался по результатам реальной эксплуатации. В 1949 г. в США были опубликованы ошеломляющие сведения, показывающие катастрофически низкую надежность электронного оборудования, находящегося на вооружении. Из-за того, что 70% морской аппаратуры находилось в нерабочем состоянии, на флоте приходилось иметь на каждую работающую лампу девять запасных. Еще хуже было положение с радиолокационным оборудованием, которое оказывалось неработоспособным 84% времени [US Naval Electronics Digests.

V. S. February 1949]. До 60% самолетов были неработоспособными; 50% электронной аппаратуры выходило из строя во время хранения, а наработка до отказа электронных устройств, применяющихся в бомбардировщиках, составляла всего 20 часов.

В августе 1952 г. была организована консультативная группа, разрабатывавшая стандарты по надежности (*MIL-Reliability*). В ноябре 1954 г. в Нью-Йорке состоялся первый национальный симпозиум по вопросам надежности, проводившийся затем ежегодно. Среди достижений в этой области в США в 1950-е гг. можно выделить выпуск справочников по надежности, издание «Временного словаря терминов и определений гарантированной продукции и связанных с этим вопросов» (1958) и «Учебника по надежности для руководителей» (1959).

В некоторых работах отмечается, что в США исследования надежности проводились в три этапа. Первый (1945–1958) — «карандашно-бумажный» — привел к развитию теории, основанной на применении для описания надежности экспоненциального закона. Второй этап (1958–1968) характеризовался работами по экспериментальной оценке фактической надежности, сбору и обработке данных эксплуатации и пересмотру концепции «неизбежности» и «случайности отказов», многие виды которых нашли объяснение. В начале третьего этапа (конец 1960-х гг.) прозвучал девиз «Нельзя искажать действительность, чтобы подвести ее под законы плохой теории». При этом имелось в виду, в частности, недостаточно обоснованное применение экспоненциального закона распределения моментов наступления отказов.

По мнению К. Райерсона, возглавлявшего в 1950-е гг. службу надежности радиокорпорации США: 1930-е гг. — десятилетие стандартизации, 1940-е — десятилетие контроля качества, 1950-е — десятилетие надежности, 1960-е — десятилетие гарантированной продукции. При этом наметилась тенденция изучения надежности систем на всех стадиях от проектирования до эксплуатации.

Проблемой обеспечения надежности сложных систем занимались крупнейшие ученые из смежных отраслей знания. В 1952 г. выдающийся американский математик Джон фон Нейман (1903–1957), бывший в то время консультантом армейских учреждений, показал, что при определенных условиях можно так скомбинировать ненадежные элементы, чтобы получилась надежная система. Дж. Нейман явился одним из создателей первых ЭВМ, а в конце 1940-х гг. применил метод статистического моделирования (метод Монте-Карло) для вычисления многомерных интегралов по замысловатым областям интегрирования. Под влиянием работы Дж. Неймана в 1954 г. вышла статья основоположника современной теории информации Клода Шеннона (1916–2001), в которой на примере схем из реле заложены основы теории синтеза высоконадежных схем.

В СССР период становления теории надежности (конец 1940-х — начало 1960-х гг.) характеризуется расчетом надежности систем по интенсивности отказов входящих в нее элементов. Первые в нашей стране работы были выполнены под руководством академиков А. И. Берга (1893—1979) и Н. Г. Бруевича (1896—1987). Математические вопросы развивались под руководством Б. В. Гнеденко (1912—1995).

Вехой в развитии теории надежности стала опубликованная в 1954 г. статья члена-корреспондента Академии наук СССР В. И. Сифорова, доказавшего методами теории вероятностей возможность создания надежных систем из недостаточно надежных элементов [76]. Материалы теории и расчета надежности систем в отечественной литературе систематизированы в работе [69]. Период с 1960 по 1980 г. — это этап углубления и совершенствования теории надежности. В конце прошлого века в технике обострилось внутреннее противоречие, которое заключается в том, что, с одной стороны, прогресс ведет к усложнению систем, с другой — к росту требований по надежности, иначе это усложнение техники не будет оправдано.

Сравнительный анализ взаимоотношений между естествознанием и техникой в разные времена условно сводится к определению того, что является лидером — наука или техника. Академик Б. М. Кедров выделял три исторических этапа [64, с. 39—40].

1. Наука отстает от техники в своем развитии и решает задачи, которые практически уже нашли свое применение в технике (XVII—XVIII вв.)

2. Наука постепенно догоняет технику, решая задачи, которые только еще получают техническую реализацию (XIX в.).

3. Наука начинает опережать технику в своем развитии, ставя и решая такие задачи, которые лишь впоследствии на основе предварительного научного исследования и теоретического решения находят практические приложения.

По нашему мнению, в развитии теории надежности на протяжении XX в. прослеживаются эти же этапы, характеризующие общие тенденции взаимоотношения науки и техники.

1. До 1930-х гг. попытки научного подхода к проблеме надежности носят стихийный характер. Вопросы производства надежного устройства решаются исключительно по результатам практики.

2. Теория надежности начинает догонять технику и в первые послевоенные годы, когда происходит бурное развитие статистических методов, теоретически решаются проблемы, которые получают вскоре техническую реализацию (например, теория резервирования в 1950—1960-е гг.).

3. С 1970-х гг. теория надежности начинает опережать технику в своем развитии, что проявилось в увлечении теоретическими зада-

чами, решение которых лишь в будущем обещает найти применение на практике.

Современная теория надежности — это наука о закономерностях возникновения отказов устройств, методах их прогнозирования и предотвращения, об общих методах и приемах, которых следует придерживаться при проектировании, изготовлении, транспортировке, хранении и эксплуатации изделий для обеспечения их эффективности в процессе использования, а также об общих методах расчета надежности устройств по известным показателям надежности составляющих их частей и способах контроля надежности при приемке партий продукции.

Теория надежности тесно связана с прикладной математикой, используя ее методы для решения своих задач и для точной формулировки своих понятий. В данном случае справедливо высказывание английского математика и философа Альфреда Уайтхеда: «История человеческой мысли, игнорирующая в ней роль математики, есть постановка на сцене “Гамлета”, если не без самого Гамлета, то, по меньшей мере, без Офелии».

Традиционная вероятностно-статистическая теория надежности пользуется мощным математическим аппаратом теории вероятностей, теории массового обслуживания и некоторых других разделов математики, где широко развиты как теоретические, так и прикладные вопросы. При этом отказы рассматриваются как некоторые отвлеченные случайные события, а различные физические состояния устройств сводятся к двум — исправности и неисправности.

Основное противоречие статистической теории обусловлено тем, что для оценки показателя надежности с необходимой достоверностью требуется накопление экспериментальных данных, что ведет к длительным и дорогостоящим испытаниям. С повышением требований к надежности изделий необходимый объем данных возрастает столь быстро, что при современных уровнях качества достигает совершенно неприемлемых величин.

Например, для проверки надежности изделий с интенсивностью отказов 10^{-9} 1/ч. (при достоверности 0,95) необходимо испытывать 1000 образцов в течение 300 лет (!). А при ограничении длительности испытаний пятью месяцами, объем выборки составит 1 000 000 шт.! Это принципиальное противоречие между повышением требований к надежности изделий и возрастанием объема информации, необходимого для получения достоверных результатов, и определяет естественные пределы применимости статистической теории надежности, которая оказывается применимой только для сравнительно недолговечной и ненадежной продукции. Источником его являются стохастические концепции, которые исключают из рассмотрения физические процессы, определяющие надежность, долговечность и ресурс.

Несмотря на это статистическими методами до настоящего времени в основном пользуются на практике. Справедливыми оказываются в этой связи слова выдающегося химика, ректора Гарвардского университета Джеймса Конанта: «Один из основных принципов, вытекающих из изучения истории науки, состоит в том, что свержение теории способствует только лучшая теория и никогда — просто противоречащие ей факты».

Что же приведет к «свержению» статистической теории надежности? Обычно ей противопоставляется физический подход, основанный на изучении соотношений прочности исследуемого объекта и приложенной к нему нагрузки, исследовании физической природы отказов. Физический (детерминированный) подход не позволяет определять непосредственно значения вероятностных показателей надежности, в частности закон распределения моментов наступления отказов. Полученные при этом модели имеют частный характер; либо они моделируют какой-то превалирующий процесс деградации, либо их коэффициенты получены для конкретного режима. Распространение результатов полученной таким образом модели даже на аналогичный объект, но в другом режиме, может иметь только качественный характер.

Исследование долговечности приборов на основе физических представлений позволяет определить потенциальный, достижимый лишь в идеальных условиях ресурс приборов во много раз, превышающий показатели, рассчитанные путем обработки статистических данных испытаний и эксплуатации.

По мере того, как станут проясняться физические механизмы отказов, в расчетах надежности будет все больше преобладать детерминированная составляющая. Но вероятностными искомыми характеристиками все же останутся из-за неизбежного наличия ряда случайных факторов. Поэтому решение проблемы надежности возможно лишь при сочетании физических и статистических методов.

По нашему мнению, целесообразно выделить два главных аспекта комбинированных подходов:

- физико-вероятностный — оценка показателей надежности и вероятностных характеристик объекта на основе физических представлений;
- статистико-физический — определение природы и характера отказов на основе анализа вида и параметров их статистических распределений.

Принципиально, что появление и развитие новых направлений в теории надежности не упраздняет старых. Иными словами, можно говорить о начале того или иного этапа в развитии теории надежности, но не правомерно говорить о конце этапа.

13.2. Понятия, термины и определения теории надежности

Для формирования любой науки необходимо установление единой, общепринятой терминологии. В начале 1958 г. на страницах журнала «Радиоэлектронная промышленность» прошла дискуссия по вопросам терминологии в теории надежности. Одновременно этот вопрос о терминологии обсуждался на 4-м Национальном симпозиуме по вопросам надежности в США (Вашингтон, 1958). При этом выяснилось, что почти каждое предлагаемое определение является спорным. В 1962 г. Комитетом технической терминологии АН СССР и ИРЭ АН СССР был выпущен сборник, содержащий 70 основных рекомендуемых терминов по надежности, пять лет спустя ГОСТ 13377-67 «Надежность в технике. Термины» содержал всего 24 термина. Последняя редакция этого ГОСТа вышла в 1975 г., а затем все ГОСТы по надежности были выделены в группу 27. ГОСТ 27.002-83 «Надежность в технике. Термины и определения» содержал уже 89 терминов, ГОСТ 27.002-89 «Надежность в технике. Основные понятия, термины и определения» — 116.

В 2010 г. появился ГОСТ Р 53480-2009 «Надежность в технике. Термины и определения», разработчики которого попытались привести в соответствие отечественную терминологию в области надежности с международной. В результате такой «гармонизации» общее число стандартизованных понятий превысило двести. Этот ГОСТ подвергся резкой критике и фактически не применялся [Ушаков И. Незванный ГОСТ // Методы менеджмента качества. 2011. № 5. С. 22–25; Немес В. [и др]. Деградация вместо гармонизации // Стандарты и качества. 2011. № 5. С. 40–44]. С 1 марта 2017 г. введен в действие ГОСТ 27.002-2015. «Надежность в технике. Термины и определения».

В теории надежности все термины даются применительно к **техническому объекту**: предмету рассмотрения, на который распространяется терминология по надежности в технике (по ГОСТ 27.002-2015).

Объектом может быть сборочная единица, деталь, компонент, элемент устройства, функциональная единица, оборудование, изделие, система, сооружение. Объект может включать в себя аппаратные средства, программное обеспечение персонал. Остановимся на основных терминах, относящихся к надежности продукции.

Свойство продукции — объективная особенность продукции, которая может проявляться при ее создании, эксплуатации или потреблении (по ГОСТ 15467-79).

Надежность: свойство объекта сохранять во времени способность выполнять требуемые функции в заданных режимах и условиях применения, технического обслуживания, хранения и транспортирования (по ГОСТ 27.002-2015).

Надежность — составная часть качества. Сопоставляя понятия «качества продукции» и «надежности», регламентированные ГОСТ,

можно сказать, что надежность — комплексный показатель качества, а для определенной категории изделий является определяющим показателем качества. Поскольку надежность — свойство, а всякое свойство относительно и не существует само по себе, можно сказать, что надежность объекта оценивается лишь в конкретных условиях эксплуатации. (Аналогично цвет, также являющимся свойством, — относительным и зависящим от освещения предмета).

Сопоставляя понятия «качества продукции» и «надежности», регламентированные стандартами, можно сказать:

- качество, в отличие от надежности, не привязано к объекту и может в отношении к продукции, процессу, услуге, любому виду деятельности, в том числе интеллектуальному;
- качество должно удовлетворять требованиям потребителя, а надежность только требованиям установленных режимов и условий применения, т. е. в отличие от качества не имеет субъективного фактора;
- надежность связана с понятием функционирование, т. е. имеет отношение к такому изделию, которое функционирует, в то время как качество имеет отношение к любому объекту, как функционирующему, так и не функционирующему;
- надежность — составная часть качества, комплексный показатель качества, а для определенной категории изделий является определяющим показателем качества;
- надежность характеризует качество объекта в целом. Так, например, если взять отдельно болт и гайку, то каждый из них является объектом и каждый имеет свое качество. Но понятие надежности к ним применить нельзя, так как поодиночке они не могут функционировать, а функционирует только их соединение. Необходимое качество проектирования и производства изделия обеспечивает его надежность.

В соответствии с международным стандартом ИСО 9000:2015 под надежностью понимается «способность функционировать, как и когда необходимо». Другими словами, под надежностью объекта понимается его способность сохранять качество при определенных условиях эксплуатации. Подчеркнем, что понятие надежности связано с теми свойствами, которые были у изделия перед эксплуатацией (или должны были быть). Не имеет смысла говорить о надежности радиоприемного устройства по отношению к определенному виду помех, если свойство помехозащищенности не было учтено при разработке этого устройства.

Надежность является комплексным свойством, которое в зависимости от назначения объекта и условий его применения может включать в себя безотказность, долговечность, ремонтпригодность и сохраняемость, восстанавливаемость, готовность или определенные

сочетания этих свойств, которые в конкретных условиях могут иметь различную относительную значимость.

Безотказность: свойство объекта непрерывно сохранять способность выполнять требуемые функции в течение некоторого времени или наработки в заданных режимах и условиях применения (по ГОСТ 27.002-2015).

Из определения безотказности следует, что данное свойство отражает основное содержание надежности, так как главное назначение любого прибора — исправно выполнять предназначенные ему функции в течение определенного промежутка времени. Применительно к ИРЭ под безотказностью понимается способность изделия непрерывно сохранять рабочие параметры во всех режимах, обусловленных схемами и условиями эксплуатации.

Безотказность — наиболее важная составляющая надежности, например, при анализе безопасности системы. В связи с емкостью понятия безотказности в зарубежной научно — технической литературе его часто отождествляют с надежностью. Заметим, что английское слово *reliability* переводится на русский язык, как «надежность», хотя в техническом смысле подразумевается безотказность. Совокупность четырех свойств: безотказности, долговечности, ремонтпригодности и сохраняемости определяет надежность, соответствующую английскому слову *dependability*.

Долговечность: свойство объекта, заключающееся в его способности выполнять требуемые функции в заданных режимах и условиях использования, технического обслуживания и ремонта до достижения предельного состояния (по ГОСТ 27.002-2015).

Как видим, и безотказность, и долговечность это свойства изделия сохранять работоспособность. Различие между ними в том, что безотказность предполагает **непрерывное** сохранение работоспособности, а долговечность — **длительное с возможными перерывами** для ремонта.

Для некоторых изделий понятия безотказности и долговечности могут совпадать. Различие между ними в невосстанавливаемых изделиях не принципиально, и связано с традиционной (и не вполне объективной) концепцией разделения отказов на внезапные и постепенные, исходя из которой внезапные отказы (катастрофические) характеризуют безотказность, а постепенные (износные) — долговечность.

Бывают изделия, имеющие высокую безотказность и низкую долговечность, например, автомобильный аккумулятор. Его безотказность очень высока — в нормальных условиях эксплуатации сам по себе он практически не отказывает; в то же время, при непрерывной работе на нагрузку аккумулятор после несколько десятков часов полностью разрядится, поскольку его долговечность невелика.

С понятием долговечности связан термин **предельное состояние:** состояние объекта, при котором его дальнейшая эксплуатация не-

допустима или нецелесообразна, либо восстановление его работоспособного состояния невозможно или нецелесообразно (по ГОСТ 27.002-2015).

Чаще всего применение объекта по назначению признается невозможным или нецелесообразным в следующих случаях:

- при поломке;
- при неустранимом нарушении безопасности;
- при неустранимом отклонении величин заданных параметров (например, необратимом падении мощности, снижении точности или производительности и др.);
- при недопустимом увеличении эксплуатационных расходов.

Характеристикой прибора, связанной с его эксплуатацией, является **наработка**: продолжительность или объем работы объекта. Нарботка может быть как непрерывной величиной (продолжительность работы в часах, километрах пробега и т. п.), так и целочисленной (число рабочих циклов, запусков и т. п.). Суммарная наработка объекта от начала его эксплуатации или ее возобновления после ремонта до перехода в предельное состояние называется **ресурсом**.

Ремонтопригодность: свойство объекта, заключающееся в его приспособленности к поддержанию и восстановлению состояния, в котором объект способен выполнять требуемые функции, путем технического обслуживания и ремонта (по ГОСТ 27.002-2015).

В ГОСТ 27.002-2015 впервые появился термин **восстанавливаемость**: свойство объекта, заключающееся в его способности восстанавливаться после отказа без ремонта. Если для восстановления не требуются внешние воздействия, то часто используется термин *самовосстанавливаемость*.

Сохраняемость: свойство объекта сохранять способность к выполнению требуемых функций после хранения и (или) транспортирования при заданных сроках и условиях хранения и (или) транспортирования (по ГОСТ 27.002-2015).

Из этого определения следует, что понятия «надежность» и «сохраняемость» тождественны. Их отличие лишь в условиях эксплуатации.

В ГОСТ 27.002-2015 впервые регламентируется еще одна составляющая надежности. **Готовность**: свойство объекта, заключающееся в его способности находиться в состоянии, в котором он может выполнять требуемые функции в заданных режимах и условиях применения, технического обслуживания и ремонта в предположении, что все необходимые внешние ресурсы обеспечены. Готовность зависит от свойств безотказности, ремонтпригодности и восстанавливаемости объекта.

Различают исправное и работоспособное состояние объекта.

Исправное состояние (исправность): состояние объекта, в котором он соответствует всем требованиям, установленным в документации на него (по ГОСТ 27.002-2015).

Работоспособное состояние: состояние объекта, в котором он способен выполнять требуемые функции (по ГОСТ 27.002-2015).

Отсутствие необходимых внешних ресурсов может препятствовать работе объекта, но это не влияет на его пребывание в работоспособном состоянии. Различие между работоспособностью и исправностью в том, что исправность предполагает выполнение требований, относящихся как к основным, так и второстепенным параметрам; работоспособность имеет в виду только требования, относящиеся к основным параметрам. Это означает: если изделие исправно, то оно обязательно работоспособно. Если изделие работоспособно, то оно может быть и неисправно.

Автомобиль работоспособен, если у него нарушены антикоррозийные покрытия деталей; радиоприемник остается работоспособным, когда у него перегорела лампочка освещения шкалы; огнетушитель работоспособен, если он не удовлетворяет требованиям к внешнему виду (например, имеет цвет отличный от ярко красного).

Рабочее состояние: состояние объекта, в котором он выполняет какую-либо требуемую функцию (по ГОСТ 27.002-2015).

Аналогично трактуются понятия неработоспособное состояние, неисправное состояние и нерабочее состояние.

Различие между понятиями исправности и работоспособности связано с различием понятий дефекта, повреждения и отказа.

Дефект: каждое отдельное несоответствие объекта требованиям, установленным документацией (по ГОСТ 27.002-2015).

Повреждение: событие, заключающееся в нарушении исправного состояния объекта при сохранении работоспособного состояния (по ГОСТ 27.002-2015).

Из приведенных примеров видно, что понятие «исправность» шире, чем понятие «работоспособность», а также, что не всякая неисправность приводит к отказу.

Отказ — событие, заключающееся в нарушении работоспособного состояния объекта (по ГОСТ 27.002-2015).

Иными словами, отказом называется событие, после возникновения которого характеристики технического объекта (параметры) выходят за допустимые пределы. Это понятие субъективно, т. к. допуск на параметры объекта устанавливает пользователь. Одна и та же ситуация в одних условиях трактуется как отказ, в других — нет. Схема основных состояний и событий представлена на рис. 45.

Критерий отказа: признак или совокупность признаков нарушения работоспособного состояния объекта, установленные в документации (по ГОСТ 27.002-2015).

В зависимости от признаков классификации отмечаются различные виды отказов.

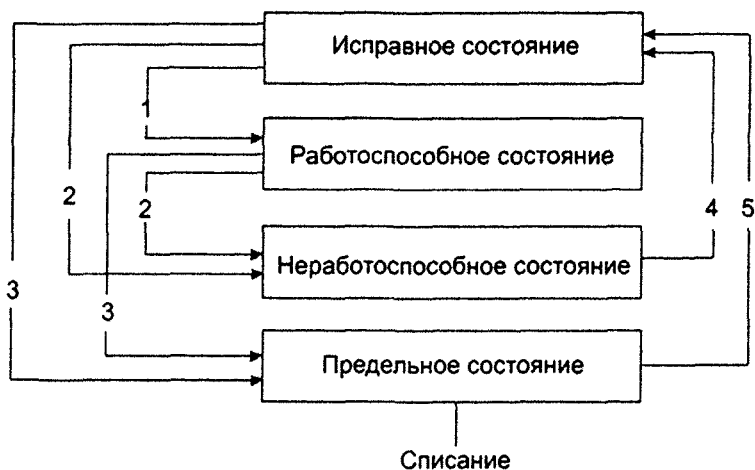


Рис. 45. Схема основных состояний и событий.

1 – повреждение; 2 – отказ; 3 – переход объекта в предельное состояние из-за неустранимого нарушения требований безопасности, снижения эффективности эксплуатации, морального старения и других факторов; 4 – восстановление; 5 – ремонт

1. По характеру изменения основного параметра до момента возникновения — отказы делятся на внезапные, характеризующиеся выходом параметра за установленные пределы в виде скачкообразного изменения значения, и постепенные, возникающие в результате постепенного («плавного») изменения одного или нескольких параметров.

Основоположником такой классификации можно считать В. Шухарта, введшего понятие процесса, находящегося в управляемом состоянии. Согласно концепции Шухарта все вариации параметров обусловлены двумя типами причин: особыми и общими. Аналогом отказов, вызываемых особыми и общими причинами, в теории надежности являются внезапные и постепенные отказы.

2. В зависимости от возможности последующего использования объекта после возникновения его отказа, отказы делятся на полные, после возникновения которых использование объекта по назначению невозможно до восстановления его работоспособности, и частные, после возникновения которых использование объекта по назначению хотя и возможно, но при этом значение одного или нескольких основных параметров находятся вне допустимых пределов.

3. С точки зрения связи между отказами элемента они разделяются на независимые (не обусловленные другими отказами) и зависимые (обусловленные другими отказами).

4. В зависимости от причины возникновения отказа, они разделяются на: *конструктивные* (возникающие по причине, связанной с несовершенством или нарушением установленных правил и (или) норм проектирования и конструирования), *производственные* (возникающие по причине, связанной с несовершенством или нарушением установленного процесса изготовления или ремонта, выполняемого на производственном или ремонтном предприятии), *эксплуатационные* (возникающие по причине, связанной с нарушением установленных правил и (или) условий эксплуатации), *деградационные* (обусловленные естественными процессами старения, изнашивания, коррозии и усталости при соблюдении всех установленных правил и (или) норм проектирования, изготовления и эксплуатации).

На практике классификация отказов часто затруднительна, потому что условна; что касается последнего признака классификации (по причине возникновения), трудность обусловлена еще и тем, что разделение отказов связано с выяснением вопроса, по чьей вине произошло нарушение работоспособности.

Определим объекты восстанавливаемые и невосстанавливаемые, поскольку часть показателей надежности для них различается.

Восстановление: процесс и событие, заключающиеся в переходе объекта из неработоспособного состояния в работоспособное (по ГОСТ 27.002-2015).

Самовосстановление: восстановление объекта без вмешательства извне (по ГОСТ 27.002-2015).

Восстанавливаемый объект: объект, восстановление работоспособного состояния которого предусмотрено документацией (по ГОСТ 27.002-2015).

Один и тот же объект в зависимости от особенностей эксплуатации может быть отнесен к восстанавливаемым или невосстанавливаемым. Например, аппаратура спутника на этапе хранения относится к восстанавливаемой, а во время полета в космосе, естественно, невосстанавливаемая. Компьютер, используемый для неоперативных вычислений — объект восстанавливаемый, т. к. в случае отказа любая операция может быть повторена, а та же ЭВМ, применяемая для управления сложными технологическими процессами, для которых любой перерыв в работе приводит к необратимым последствиям, может рассматриваться как объект невосстанавливаемый.

Полупроводниковые и электровакуумные приборы являются примером невосстанавливаемого объекта. Радиоэлектронная аппаратура, в которой используются эти приборы, часто бывает восстанавливаемой.

В отличие от понятий «восстанавливаемый объект» и «невосстанавливаемый объект», которые относятся к условиям восстановления

работоспособности объектов в конкретной ситуации, существует понятие «ремонтируемый объект», характеризующие приспособленность объектов к проведению ремонтов и технического обслуживания.

Ремонтируемый объект: объект, ремонт которого предусмотрен документацией и возможен в заданных условиях (по ГОСТ 27.002-2015).

В ряде случаев понятия восстанавливаемого объекта и ремонтируемого объекта совпадают.

Техническое обслуживание — комплекс технологических операций и организационных действий по поддержанию работоспособности или исправности объекта при использовании по назначению, ожидании, хранении и транспортировании. (по ГОСТ 18322-2016).

В настоящее время помимо общепринятых составляющих надежности (безотказности, долговечности, ремонтпригодности, сохраняемости, готовности) рассматриваются эффективность, живучесть, безопасность и защищенность.

Эффективность касается систем, для которых нельзя сформулировать критерий отказа в форме «все или ничего». Показатели эффективности характеризуют способность системы выполнять свои основные функции с пониженным уровнем производительности, качества, скорости и т. п., т. е. с меньшей эффективностью. Отказы части элементов приводят лишь к частичной деградации операционных возможностей системы. Задачу можно свести к стандартному анализу надежности, выбрав соответствующий критерий отказа. Например, система может рассматриваться как отказавшая, если результирующая «пропускная способность» упала ниже заданного уровня.

Живучесть — свойство системы противостоять крупным возмущениям режима, не допуская их цепочечного развития и массового отключения потребителей, не предусмотренного алгоритмом работы противоаварийной автоматики.

Живучесть характеризует способность системы «выдержать» внешнее воздействие, например, грубые непредсказуемые ошибки оператора, природные катастрофы (землетрясения, ураганы, наводнения), действия неприятеля в период военных действий, теракты. Пример недостаточной живучести системы — массовое отключение электроэнергии в Москве и Подмосковье, имевшее место в мае 2005 г. Анализ живучести обычно проводится в минимаксных терминах и сводится к анализу «узких мест» или «минимальных сечений», т. е. рассматривается ситуации, когда указанное возмущение оказывается на наиболее критичный элемент системы.

Безопасность — свойство объекта не создавать опасности для людей и окружающей среды во всех возможных режимах работы и аварийных ситуациях. Обычно безопасность характеризуется вероятностными показателями, аналогичными тем, что используются при анализе надежности.

Защищенность системы рассматривается обычно совместно с анализом надежности и безопасности. Действительно, многие системы должны работать не только надежно, но и быть защищены от несанкционированного доступа. Многие оборонные, банковские и другие телекоммуникационные системы, имеющие дело со строго конфиденциальной информацией, немыслимы без обеспечения их защищенности. Поскольку рассматриваемые системы нельзя считать функционирующими нормально, если у них не работает защита, возникает вопрос о «двух надежностьх» — технической и информационной.

Завершая разговор о терминологии в области надежности, подчеркнем, что никакая терминология не может предусмотреть все возможные ситуации.

13.3. Показатели надежности

Общие положения

Показатель надежности — количественная характеристика одного или нескольких свойств, составляющих надежность объекта (по ГОСТ 27.002-2015).

Поскольку любой показатель надежности — это количественная характеристика, выражение «количественный показатель надежности» представляется лишенным смысла. Для оценки показателей надежности применяется аппарат теории вероятностей и математической статистики, описывающий закономерности, присущие случайным событиям. Каждому случайному событию может быть поставлена в соответствие случайная величина, которая может быть непрерывной или дискретной. В теории надежности основной дискретной случайной величиной является количество отказов, а непрерывной — наработка до отказа.

Поскольку надежность — комплексное свойство, включающее безотказность, долговечность, ремонтпригодность и сохраняемость, то и показатели надежности делятся на **единичные** (характеризующие одно из свойств, составляющих надежность объекта) и **комплексные** (характеризующие несколько свойств, составляющих надежность объекта).

Единичные показатели надежности являются показателями безотказности, долговечности, ремонтпригодности, сохраняемости, восстанавливаемости, и не являются показателями готовности.

Показатели безотказности невосстанавливаемых объектов

К показателям безотказности относятся: вероятность безотказной работы, средняя наработка до отказа, интенсивность отказов, параметр потока отказов, наработка на отказ. Невосстанавливаемые объекты характеризуются первыми тремя.

При определении статистических показателей надежности невосстанавливаемых объектов будем рассматривать схему испытаний, когда все образцы работают до полного отказа. В этом случае статистические показатели в пределе с ростом испытываемых объектов будут стремиться («сходиться по вероятности») к аналогичным вероятностным показателям, которые являются в определенном смысле математической абстракцией. Однако многие показатели надежности понятнее определяются в вероятностных терминах, что делает их очень полезными в инженерной практике. Кроме того, все априорные расчеты надежности на стадии проектирования систем приходится делать в виде вероятностных расчетов.

Дадим вероятностное и статистическое определения основных показателей безотказности. При этом будем исходить из того, что в нашем распоряжении имеется партия из N приборов, которые подвергаются испытаниям в одинаковых условиях до отказа всех приборов в партии.

Введем следующие обозначения:

$N(0)$, $N(t)$, $N(t + \Delta t)$ — число исправных приборов в начальный момент времени ($t = 0$); моменты t , $t + \Delta t$ соответственно;

$n(t)$, $n(t + \Delta t)$ — число приборов, отказавших к моментам времени t , $t + \Delta t$.

$\Delta n(t, \Delta t) = n(t + \Delta t) - n(t)$ — число приборов, отказавших в интервале времени от t до $t + \Delta t$.

Оговорим еще одно условие — в процессе испытаний обеспечивается непрерывный контроль, состояния приборов и фиксируется момент времени наступления отказов. Диаграмма, поясняющая статистическое определение показателей надежности невосстанавливаемых объектов, и эмпирическая функция надежности представлены на рис. 46.

Вероятность безотказной работы — вероятность того, что в пределах заданной наработки отказ объекта не возникнет (по ГОСТ 27.002-2015).

Из определения вероятности безотказной работы следует, что конкретное численное значение вероятности безотказной работы прибора имеет смысл лишь тогда, когда оно поставлено в соответствие заданной наработке, в течение которой возможно возникновение отказа. Вероятность безотказной работы рассматривается в предположении, что в начальный момент времени данный прибор был работоспособен.

Вероятностное определение: $P(t)$ — вероятность того, что объект проработает безотказно в течение заданного времени работы t , начав работу в момент времени $t = 0$, или вероятность того, что время работы объекта до отказа окажется больше времени t . Эта функция монотонно убывает: $P(0) = 1$; $P(t) \rightarrow 0$ при $t \rightarrow \infty$.

Статистически, $P^*(t)$ определяется как отношение числа объектов, безотказно проработавших до момента времени t , к числу

объектов исправных в начальный момент времени. Будем обозначать звездочкой * статистические оценки.

$$P^*(t) = \frac{N(t)}{N(0)} = 1 - \frac{n(t)}{N(0)} \quad (82)$$

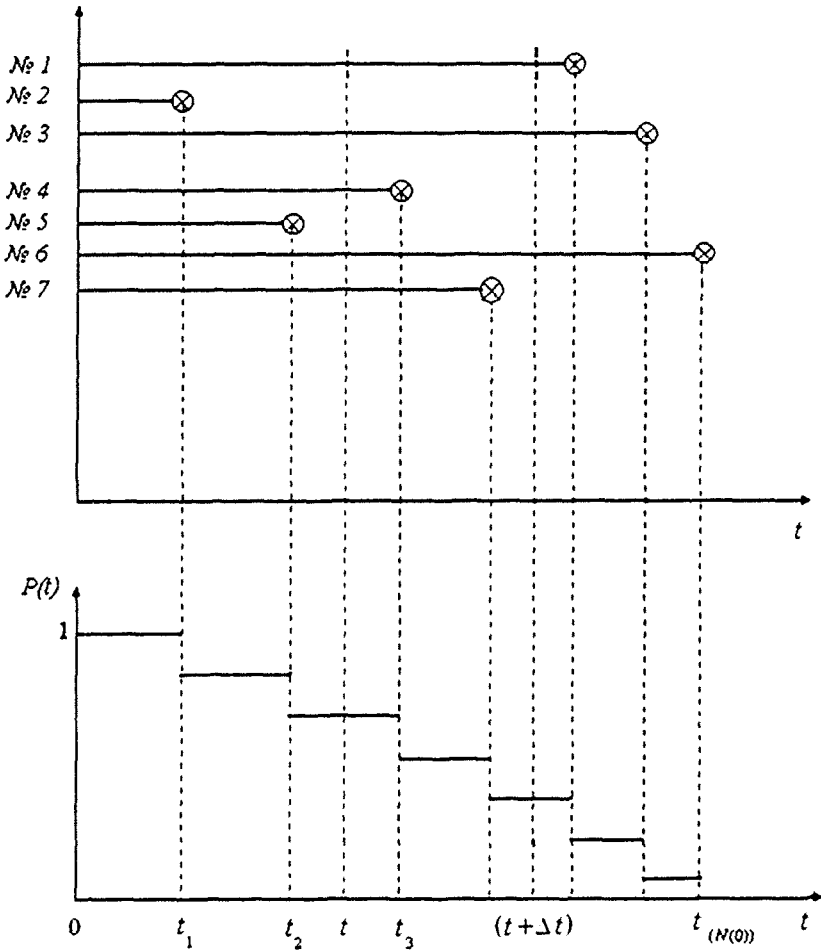


Рис. 46. Диаграмма, поясняющая статистическое определение $P(t)$, $Q(t)$, $f(t)$, $\lambda(t)dt$. Реализации № 1–7 составляют $N(0)$ объектов, реализации 2, 5 составляют $n(t)$ объектов, реализации 2, 4, 5, 7 составляют $n(t + \Delta t)$ объектов, реализации 1, 3, 4, 6, 7 составляют $N(t)$ объектов, реализации 1, 3, 6 составляют $[N(t + \Delta t)]$ объектов, реализации 4, 7 составляют $\Delta n(t, \Delta t)$. В нижней части рисунка построена эмпирическая функция надежности

Вероятность безотказной работы в интервале времени от t до $t + \Delta t$, представляющую собой условную вероятность того, что случайное время работы прибора до отказа окажется больше величины $t + \Delta t$ при условии, что прибор уже проработал безотказно до момента времени t , рассчитывается по формуле:

$$P(t, t + \Delta t) = \frac{P(t + \Delta t)}{P(t)}, \quad (83)$$

Статистическое определение:

$$P^*(t, t + \Delta t) = \frac{N(t + \Delta t)}{N(t)}. \quad (83.1)$$

Вероятность отказа $Q(t)$ – вероятность того, что объект откажет в течение заданного времени работы t , начав работать в начальный момент $t = 0$, или вероятность того, что случайное время работы объекта до отказа окажется меньше заданного времени работы t . Статистически вероятность отказа определяется как отношение числа объектов, отказавших к моменту времени t , к числу объектов, исправных в начальный момент времени $t = 0$.

$$Q^*(t) = \frac{n(t)}{N(0)}. \quad (84)$$

Математически вероятность отказа – это функция распределения случайной величины t (наработка объекта до отказа). Очевидно, $P(t) + Q(t) = 1$. Плотность распределения времени безотказной работы $f(t)$ определяет частоту отказов.

$$f(t) = \frac{dF(t)}{dt} = -\frac{dP(t)}{dt} = \frac{dQ(t)}{dt}. \quad (85)$$

Статистически частота отказов определяется отношением числа отказов в интервале времени $[t, t + \Delta t]$ к произведению числа исправных объектов в начальный момент времени $t = 0$ на длительность интервала времени Δt .

$$f^*(t) = \frac{n(t + \Delta t) - n(t)}{N(0)\Delta t} = \frac{N(t) - N(t + \Delta t)}{N(0)\Delta t}. \quad (86)$$

Физически $f(t)$ определяет собой «скорость» падения надежности объекта. В общем случае $f(t)$ является функцией времени. Распределение отказов, для которого $f(t)$ постоянна во времени называется равномерным или прямоугольным (по внешнему виду функции $f(t)$ в этом случае). При равномерном распределении отказов «скорость» падения надежности постоянна.

Из вероятностного определения частоты отказов следует:

$$Q(t) = \int_0^t f(\tau) d\tau,$$

$$P(t) = \int_t^{\infty} f(\tau) d\tau. \quad (87)$$

Площадь под кривой $f(t)$ между точками t_1 и t_2 равна вероятности того, что случайная величина t примет значение в промежутке от t_1 до t_2 , т. е. отказ будет иметь место в этом интервале времени.

$$P(t_1, t_2) = \int_{t_1}^{t_2} f(t) dt. \quad (88)$$

Из формулы (87) следует, что вероятность безотказной работы соответствует площади под кривой распределения от заданного момента t до ∞ (рис. 47).

Интенсивность отказов — условная плотность вероятности возникновения отказа объекта, определяемая при условии, что до рассматриваемого момента времени отказ не возник (по ГОСТ 27.002-2015).

Интенсивность отказов — это отношение частоты отказов к вероятности безотказной работы:

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{P(t)}. \quad (89)$$

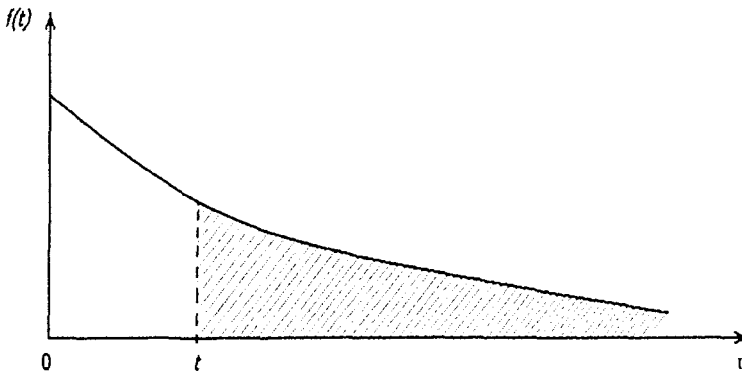


Рис. 47. Плотность распределения моментов наступления отказов

Вероятность безотказной работы и интенсивность отказов связаны соотношением:

$$P(t) = \exp - \int_0^t \lambda(\tau) d\tau. \quad (90)$$

Статистически, $\lambda(t)$ определяется как отношение числа отказов в интервале времени $[t, t + \Delta t]$ к произведению среднего числа исправных объектов на интервале времени $[t, t + \Delta t]$ на длительность интервала времени

$$\lambda^*(t) = \frac{n(t + \Delta t) - n(t)}{N_{cp}(\Delta t)\Delta t}, \quad (91)$$

где $N_{cp}(\Delta t)$ – среднее число исправно работающих объектов на интервале $[t, t + \Delta t]$

Отметим, что поскольку при $t = 0$ $P(t) = 1$, поэтому $\lambda(0) = f(0)$. Отличие интенсивности отказов $\lambda(t)$ от частоты отказов $f(t)$ в том, что в первом случае расчет ведется относительно числа исправных приборов на начало рассматриваемого интервала времени t , а в случае плотности распределения – на начальный момент времени $t = 0$.

Физически, интенсивность отказов – вероятность отказать в данный момент времени (в единицу времени) – «опасность отказа». Аналогичный показатель применяется в демографической статистике – вероятность умереть в течение текущего года жизни. Очевидно, что эта вероятность меняется в течение жизни человека. Она выше в период раннего детства и в глубокой старости, и приблизительно постоянна в годы зрелости.

На практике чаще всего рассчитывают среднюю интенсивность отказов для всего периода времени, которая и рассматривается в качестве характеристики надежности. Средняя интенсивность отказов, отнесенная к одному часу, означает вероятность отказа в течение одного часа, т. е. $\lambda_{cp} = 10^{-6}$, 1/ч., означает, что в среднем прибор отказывает в течение одного часа с вероятностью одна миллионная. В зарубежной технической литературе применяют единицу интенсивности отказов – фит. 1 ф. = 10^{-9} 1/ч. Таким образом, интенсивность отказов величиной 10^{-8} 1/ч будет равняться 10 фитам.

Для одного закона распределения отказов – экспоненциального – интенсивность отказов постоянная величина, а средняя наработка до отказа (СНДО) – величина обратная интенсивности отказов. Эта величина может составлять миллионы и даже миллиарды часов (для некоторых типов ИЭТ $\lambda < 10^{-9}$ 1/ч), но ее нельзя рассматривать как характеристику ресурсных свойств изделий. Аналогично в демографической статистике рассчитывается условная продолжительность жизни до несчастного случая, которая может составлять десятки тысяч лет. Но ее значение характеризует меры по борьбе с преступностью, стихией и т. п., но не с болезнями и старостью.

СНДО характеризует лишь надежность по отношению к внезапным отказам (и соответственно эффективность мер по их предотвраще-

нию). В литературе по надежности, изданной в США, СНДО иногда трактуется как «средняя наработка на внезапный отказ» и рассчитывается по отношению суммарной наработке всех изделий (как отказавших, так и не отказавших) к числу изделий, отказы которых не обусловлены приработкой или износом.

Средняя наработка до отказа — математическое ожидание наработки объекта до отказа (по ГОСТ 27.002-2015). Из трактовки T_{cp} по ГОСТ следует его вероятностное определение:

$$T_{np} = \int_0^{\infty} P(t) dt. \quad (92)$$

Формула (92) устанавливает зависимость между вероятностью безотказной работы и средней наработкой до отказа. Из нее следует, что средняя наработка до отказа геометрически выражается площадью, ограниченной осями координат и кривой $P(t)$.

Статистическое определение средней наработки до отказа:

$$T_{cp}^* = \frac{\sum_{i=1}^{N(0)} t_i}{N(0)}. \quad (93)$$

Средняя наработка до отказа является естественным показателем надежности, однако она не говорит ничего о характере распределения времени до отказа. Например, две различные функции $P_1(t)$ и $P_2(t)$, выражающие резко отличающиеся вероятности безотказной работы при малых наработках ($t \ll T_{cp}$), могут характеризоваться одинаковыми средними значениями ($T_{cp1} = T_{cp2}$). Среднее значение наработки, будучи жестко связанным с вероятностью безотказной работы, отражает сравнительно невысокий ее уровень. Например, для экспоненциального распределения $P(T_{cp}) = 0,37$.

Важно помнить, что надежность — сложное физическое свойство, не существует единого обобщенного критерия и показателя, который бы достаточно полно характеризовал надежность техники. Однако между показателями надежности существуют однозначные математические зависимости. Поэтому их нельзя задавать независимо друг от друга.

Показатели безотказности восстанавливаемых объектов. Безотказность восстанавливаемого объекта характеризуют параметр потока отказов и наработка на отказ. Средняя наработка до отказа и интенсивность отказов являются показателями безотказности невосстанавливаемого объекта, но могут характеризовать и восстанавливаемые, если анализируется их надежность до наступления первого отказа (в отдельных случаях до очередного отказа) или когда объект является неремонтируемым по условиям работы (необитаемый космический аппарат, отсутствие запасных частей для ремонта и т. п.).

Средняя наработка на отказ — отношение суммарной наработки восстанавливаемого объекта к математическому ожиданию числа отказов в течение этой наработки (по ГОСТ 27.002-89).

Вероятностное определение T_0^* : наработка на отказ — математическое ожидание времени безотказной работы объектов от момента окончания $(k - 1)$ -го восстановления до момента наступления k -го отказа. Соответственно статистически T_0 определяется, как среднее арифметическое реализаций времени безотказной работы объектов от момента окончания $(k - 1)$ -го восстановления до момента наступления k -го отказа.

$$T_0^* = \frac{\sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^k t_{ij}}{\sum_{j=1}^m K_j}, \quad (94)$$

где: t_{ij} — наработка между соседними отказами j -го образца аппаратуры;
 k — число отказов j -го образца аппаратуры;
 m — число наблюдаемых образцов.

Параметр потока отказов: предел отношения вероятности возникновения отказа восстанавливаемого объекта за достаточно малый интервал времени к длительности этого интервала, стремящийся к нулю (по ГОСТ 27.002-89).

Он представляет собой производную (скорость изменения) среднего числа отказов в момент t . Пусть на испытании находятся N изделий и при этом отказавшие немедленно заменяются исправными (новыми или отремонтированными): время восстановления не учитывается (принимается, что восстановление работоспособности происходит как бы мгновенно). Для таких объектов моменты отказов на оси суммарной наработки или на оси непрерывного времени образуют поток отказов.

Статистически параметр потока отказов определяется как отношение числа отказавших образцов техники в единицу времени к числу образцов, поставленных на испытание при условии, что отказавшие образцы заменяются исправными или отремонтированными

$$\omega(t) = \frac{\Delta n(\Delta t)}{N(0)\Delta t}. \quad (95)$$

Параметр потока отказов обладает следующими свойствами:

- для любого момента времени независимо от закона распределения времени безотказной работы параметр потока отказов больше, чем частота отказов, т. е. $\omega(t) > f(t)$;
- при постоянстве интенсивности отказов во времени параметр потока отказов постоянен и численно равен интенсивности отказов $\omega(t) = \lambda$;

- если интенсивность отказов возрастает во времени, то $\lambda(t) > \omega(t)$, и наоборот, если $\lambda(t)$ — убывающая функция, то $\lambda(t) < \omega(t)$.

В международных документах ИСО, МЭК и ЕОКК термину «параметр потока отказов» соответствует термин *failure intensity*, в то время как термину «интенсивность отказов» соответствует термин *failure rate*.

О показателях долговечности, ремонтпригодности, сохраняемости

Долговечность характеризуется либо временем, либо числом циклов, либо объемом произведенной работы. Поэтому все показатели долговечности связаны, так или иначе, с понятием ресурса или срока службы.

Ресурс — суммарная наработка объекта от начала его эксплуатации или ее возобновления после ремонта до момента достижения предельного состояния (по ГОСТ 27.002-2015).

Срок службы — календарная продолжительность эксплуатации от начала эксплуатации объекта или ее возобновления после капитального ремонта до момента достижения предельного состояния (по ГОСТ 27.002-2015).

Различают гамма-процентный ресурс — суммарную наработку, в течение которой объект не достигнет предельного состояния с вероятностью γ , выраженной в процентах, средний ресурс — математическое ожидание ресурса, назначенный ресурс и т. д. Аналогично: гамма-процентный сток службы, средний срок службы до списания и т. д. Гамма-процентный ресурс в общем случае рассчитывается по формуле:

$$1 - F(t_\gamma) = 1 - \int_0^{t_\gamma} f(t) dt = \frac{\gamma}{100}$$

$$1 - F(t_r) = 1 - \int_0^{t_r} f(t) dt = \frac{r}{100}. \quad (96)$$

Аналогично трактуются показатели ремонтпригодности: вероятность восстановления, гамма — процентное время восстановления, среднее время восстановления, интенсивность восстановления и показатели сохраняемости: гамма-процентный срок сохраняемости, средний срок сохраняемости.

Комплексные показатели надежности

Основные комплексные показатели надежности: коэффициент готовности, коэффициент оперативной готовности, коэффициент технического использования.

Вероятностные характеристики отдельных свойств надежности, вообще говоря, независимы. Один объект может обладать высокими

показателями безотказности, но быть недолговечным. Другой объект может быть долговечным, но быть плохо ремонтпригодным. Для оценки нескольких свойств надежности используются комплексные показатели.

Коэффициент готовности: вероятность того, что объект окажется в работоспособном состоянии в данный момент времени (по ГОСТ 27.002-2015).

$$K_{\Gamma} = \frac{T_0}{T_0 + T_B}. \quad (97)$$

Коэффициент оперативной готовности – вероятность того, что объект окажется в работоспособном состоянии в данный момент времени и, начиная с этого момента, будет работать безотказно в течение заданного интервала времени (по ГОСТ 27.002-2015).

$$K_{\text{ор}} = K_{\Gamma} P(t_{0r}). \quad (98)$$

Коэффициент оперативной готовности характеризует надежность объектов, необходимость применения которых возникает в произвольный момент времени, после которого требуется определенная безотказная работа. Для обоснованного применения этой формулы необходимо выполнение двух условий:

- к режиму, предшествующему применению объекта (в частности, к режиму ожидания), допустимо применение стационарного коэффициента готовности;
- вероятность безотказной работы $P(t_{0r})$ не зависит от начала отсчета наработки t_{0r} на оси непрерывного времени. Можно показать, что, если наработка на отказ подчиняется экспоненциальному распределению, последнее условие выполняется.

Иногда пользуются термином коэффициент простоя, равным:

$$K_{\Pi} = 1 - K_{\Gamma} = \frac{T_B}{T_0 + T_B}. \quad (99)$$

Коэффициент технического использования — отношение математического ожидания суммарного времени пребывания объекта в работоспособном состоянии за некоторый период эксплуатации к математическому ожиданию суммарного времени пребывания объекта в работоспособном состоянии и простоев, обусловленных техническим обслуживанием и ремонтом за тот же период (по ГОСТ 27.002-2015).

Итак, коэффициент готовности характеризует готовность объекта к применению по назначению только в отношении его работоспособности в произвольный момент времени. Коэффициент оперативной готовности характеризует надежность объекта, необходимость при-

менения которого возникает в произвольный момент времени, после которого требуется безотказная работа в течение заданного интервала времени. Коэффициент технического использования характеризует долю времени нахождения в работоспособном состоянии относительно общей продолжительности эксплуатации.

Упомянутые комплексные показатели надежности характеризуют одновременно и безотказность, и ремонтпригодность.

13.4. Надежность системы элементов

В теории надежности широко используются понятия «элемент» и «система». **Элемент:** объект, для которого в рамках данного рассмотрения не выделяются составные части (по ГОСТ 27.002-2015).

Иными словами, это объект (материальный, энергетический, информационный), обладающий рядом свойств, внутреннее строение которого значения не имеет или это объект, надежность которого рассматривается независимо от надежности его частей, а только в зависимости от его функциональной роли и места в системе или установке.

Система: объект, представляющий собой множество взаимосвязанных элементов, рассматриваемых в определенном контексте как единое целое и отделенных от окружающей среды (по ГОСТ 27.002-2015).

Система обычно определяется с точки зрения достижения определенной цели, например, выполнения требуемых функций. Для системы должна быть установлена граница, отделяющая ее от окружающей среды и других систем. Однако на работу системы может влиять окружающая среда и для работы системы могут требоваться внешние ресурсы (лежащие вне границ системы).

В зависимости от условий решаемой задачи один и тот же объект может именоваться системой, если учитываются внутренние связи его частей, или элементом. Отношение объекта к категории систем и элементов зависит не от природы объекта, а от характера решаемой задачи. Например, станок при оценке его надежности рассматривается как система, состоящая из элементов — деталей, механизмов, узлов. При оценке технологической линии станок является элементом системы.

Электронный прибор — это система, состоящая из элементов (капода, коллектора, электродов и т. д.) и в то же время элемент, входящий в состав системы (например, радиолокационной станции). Структура системы и характер ее работы должны быть известны настолько, чтобы для любой группы элементов системы можно было бы определить, вызывает ли отказ элементов этой группы или нет. Обычно предполагают также, что элементы отказывают независимо друг от друга, т. е., отказ

любой группы элементов не изменяет надежности других элементов. Среди методов анализа надежности технических систем укажем на метод минимальных путей и минимальных сечений.

Минимальный путь — такой набор элементов в структуре, при котором система исправна, если исправны все элементы этого набора; отказ любого из элементов ведет к отказу системы.

Минимальное сечение — такой набор элементов в структуре, при котором система неисправна, если неисправны все элементы этого набора, исключение любого элемента из набора переводит систему в исправное состояние.

У систем с произвольной структурой может быть несколько минимальных путей и минимальных сечений. Последовательное соединение из n элементов имеет один минимальный путь и n минимальных сечений, проходящих через каждый элемент. Параллельное соединение из n элементов имеет n минимальных путей, проходящих через каждый элемент, и одно минимальное сечение.

Резервированием называется способ повышения надежности путем включения резервных единиц, способных в случае отказа основного устройства выполнять его функции. Этот метод обладает большими возможностями получения заданных уровней надежности.

Разнообразные методы резервирования и способы включения резерва могут быть сведены к трем: общему, раздельному (поэлементному) и комбинированному (смешанному).

Общим называется такое резервирование системы, при котором параллельно включаются идентичные системы. **Раздельным** — путем использования отдельных резервных устройств. При **комбинированном** резервировании в одной и той же системе применяется общее и раздельное резервирование. Отношение числа резервных устройств к числу основных называется **кратностью резервирования**.

Уровень резервирования, на котором производится добавление резервных элементов, может быть различным: резервировать можно отдельные элементы, подсистемы, а также систему в целом. Масштаб резервирования считается более мелким, если меньшая часть системы резервируется как единое целое. Известно [58], что надежность системы тем выше, чем мельче масштаб резервирования, т. е. раздельное резервирование дает больший эффект для повышения надежности, чем общее. Это утверждение справедливо, как для постоянно включенного резерва, так и для резерва замещением.

Рассмотрим работу системы до ее первого отказа. В этом случае надежность системы полностью определяется функцией надежности $P(t)$, которая равна вероятности безотказной работы системы в течение времени t . Наша задача заключается в том, чтобы выразить функцию надежности системы $P(t)$ через функции надежности элементов.

Будем утверждать, что элементы в системе соединены *последовательно в смысле надежности*, если отказ любого элемента вызывает отказ всей системы. Следует заметить, что такая система не может быть надежнее своего самого слабого звена. Тогда для безотказной работы системы в течение времени t нужно, чтобы каждый элемент работал безотказно в течение этого времени. Так как элементы независимы в смысле надежности, то при последовательном соединении функции надежности перемножаются, а интенсивность отказов системы равна сумме интенсивностей отказов элементов.

Рассмотрим теперь второй случай соединения элементов в системе. Будем утверждать, что *элементы в системе соединены параллельно*, если отказ системы наступает только тогда, когда отказывают все входящие в систему элементы. Примером системы с таким соединением элементов является устройство, состоящее из нескольких частей, выполняющих одну и ту же функцию.

Если характер этой системы таков, что все N входящих в нее элементов одновременно выполняют некоторую функцию, причем для удовлетворительной работы необходимо, чтобы, по меньшей мере, M элементов из N было исправно. Считая, как и выше, отказы независимыми, вероятность безотказной работы системы $P_{MN}(t)$ рассчитываем по формуле:

$$P_{MN}(t) = \sum_{K=M}^N C_N^K [P(t)]^K [1 - P(t)]^{N-K}, \quad (100)$$

где C_N^K — число сочетаний из N элементов по K .

Средняя продолжительность испытаний изделий определяется видом закона распределения моментов наступления отказов.

Вопросы для самопроверки

1. Что такое надежность технического объекта?
2. Назовите основные составляющие надежности.
3. Как связаны между собой «качество» и «надежность»? Какое из этих понятий применительно к техническому объекту более общее и почему?
4. «Безотказность» и «долговечность». Что общего, и каково различие между этими понятиями? Приведите примеры изделий с высокой безотказностью и низкой долговечностью.
5. Охарактеризуйте различие между «исправностью» и «работоспособностью», «повреждением» и «отказом».
6. Какие из перечисленных характеристик не являются показателями надежности: вероятность отказа, интенсивность отказов, коэффициент готовности, вероятность безотказной работы, частота отказов, средняя

наработка на отказ, процент выхода годных, средняя наработка до отказа, срок службы, доля брака, коэффициент простоя?

7. В чем разница между «средней наработкой на отказ» и «средней наработкой до отказа»?
8. Что больше частота отказов, интенсивность отказов или параметр потока отказов?
9. Для чего вводится резервирование?
10. На испытание поставлено 1000 однотипных элементов. За первые 3000 ч. отказало 80 элементов. В течение следующих 1000 ч. еще 50. Определить: частоту и интенсивность отказов в интервале времени 3000–4000 ч.
11. Изделие имеет среднюю наработку на отказ 230 ч. и среднее время восстановления 12 ч. Определить коэффициент готовности изделия.

14. МОДЕЛИ ОТКАЗОВ И ЗАКОНЫ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ МОМЕНТОВ ИХ ВОЗНИКНОВЕНИЯ

В сущности, все модели неправильны, но некоторые из них полезны.

Дж. Бокс

Эпиграф этой главы хочется дополнить словами академика Арнольда В. И.: «Сложные модели редко бывают полезными» [*Арнольд В. И. О преподавании математики // Успехи математических наук. 1998. Т. 53. Вып. 1(319). С. 229–234*]. Соглашаясь с выдающимся математиком, мы предложим, основанный на простых моделях статистико-физический подход – комбинированный подход к проблеме надежности, заключающийся в определении природы и характера отказов на основе анализа вида и параметров их статистических распределений.

Под *моделью* обычно понимается формализованное описание сущности любой природы (явления, процесса, предмета), определенное в степени, обеспечивающей единообразное понимание специалистами (по ГОСТ Р 27.004-2009).

Модель надежности: математическую модель объекта, используемая для прогнозирования или оценки надежности (по ГОСТ 27.002-2015).

Рассмотрим один из классов моделей надежности – *функциональные* – в их основе лежит постулат о существовании функции распределения наработки до отказа. Под *моделью отказа* понимается модель, определяющая механизм развития процессов, приводящих к отказу изделия (по ГОСТ Р 27.004-2009).

Наиболее распространенными являются модели отказов, основанные на распределении соответствующих случайных величин – наработок до отказа невосстанавливаемых изделий и наработок между отказами восстанавливаемых изделий. Распределение вероятностей – это не абстракция, а своеобразное математическое описание физических процессов. Знание закона распределения моментов наступления от-

казов дает возможность в некоторых случаях высказать предположение о физической природе или механизме отказов.

Для того чтобы охарактеризовать случайную величину, необходимо указать, во-первых, какие значения она может принимать (множество возможных ее значений), во-вторых, вероятности этих значений. В случае непрерывной случайной величины множество ее возможных значений несчетно, и поэтому приписать каждому из них какую-то вероятность уже нельзя. Для непрерывных случайных величин используется понятие функции распределения.

Функцией распределения случайной величины x называется функция $F(x)$, выражающая для каждого x вероятность того, что случайная величина X примет какое-нибудь значение, меньше заданного x . $F(X) = P\{X < x\}$. Любая функция распределения обладает следующими свойствами: при увеличении X она не убывает, т. е. если $X_2 > X_1$, то $F(X_2) > F(X_1)$. Для функции распределения существуют пределы:

$$\lim_{x \rightarrow -\infty} F(X) = 0; \lim_{x \rightarrow \infty} F(X) = 1.$$

Это является необходимым и достаточным условием существования функции распределения.

Интенсивность отказов $\lambda(t)$ является основным показателем надежности элементов сложных систем. Временная зависимость интенсивности отказов имеет U-образный («крытообразный») вид (рис. 48), на которой традиционно выделяют три периода: I – период приработки (*early failure period*), – интервал от начала эксплуатации ($t = 0$) до момента t_1 , называемый «детскими болезнями», II – период постоянной интенсивности отказов в интервале $t_1 - t_2$ – «нормальная эксплуатация» (*constant failure rate period*) и III – период износовых отказов (*wearout failure period*), начинающийся в момент t_2 .

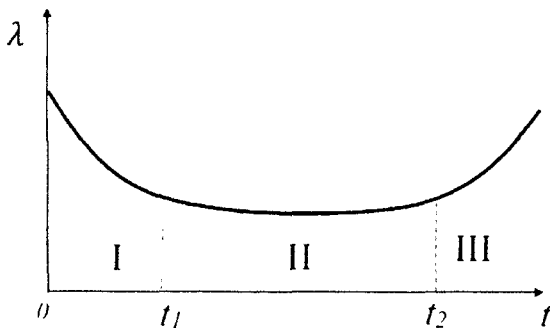


Рис. 48. Характерная зависимость интенсивности отказов технических объектов от времени

Функция $\lambda(t)$ представляет собой обобщенную характеристику надежности, несущую информацию сразу о двух функциях $f(t)$ и $P(t)$. Поэтому $\lambda(t)$ является более выразительной характеристикой, чем $f(t)$. Известно, что закономерности функции $\lambda(t)$ существенно отличаются у различных законов, хотя последние имеют похожие внешне функции $f(t)$ и $P(t)$.

Функция интенсивности отказов хорошо описывает физические процессы, происходящие с реальными объектами. Основные типы распределений делятся на стареющие, у которых функция интенсивности отказов, монотонно возрастающая и молодеющие, у которых она — монотонно убывающая. Граничным для обоих классов является экспоненциальное распределение, для которого интенсивность отказов постоянная величина, а средняя наработка до отказа — величина обратная интенсивности отказов. Эта величина может составлять миллионы и даже миллиарды часов (для некоторых типов ИЭТ $\lambda < 10^{-9}$ 1/ч), но ее нельзя рассматривать как характеристику ресурсных свойств изделий.

Рассмотрим условия, при которых возникают распределения времени безотказной работы, наиболее часто используемые в теории надежности и модели отказов, соответствующие распределениям вероятностей. При этом надо помнить, что статистическая модель, как и вообще любая модель, является неизбежной идеализацией и может оказаться в лучшем случае лишь удачной аппроксимацией реальных процессов (в таких случаях говорят, что модель адекватна) [23, 81].

14.1. Равномерное распределение

Если моменты наступления отказов имеют равномерное распределение на отрезке $(0, t_0)$, то вероятность безотказной работы изменяется по линейному закону:

$$P(t) = 1 - \frac{t}{t_0}. \quad (101)$$

Соответственно, плотность вероятности равномерного распределения:

$$f(t) = -\frac{dP(t)}{dt} = \frac{1}{t_0}. \quad (102)$$

Кривая плотности равномерного распределения имеет вид прямоугольника (рис. 49). В связи с этим оно иногда называется прямоугольным. Равномерное распределение является статистической моделью, описывающей момент появления события, которое с равной вероятностью может появиться в любой точке данного интервала времени.

Интенсивность отказов при равномерном распределении:

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{P(t)} = \frac{1}{t_0 - t}. \quad (103)$$

Интенсивность отказов при равномерном распределении возрастает по гиперболическому закону $\lambda(0) = 1/t_0$; при $t \rightarrow t_0$, $\lambda(t_0) \rightarrow \infty$. В случае равномерного распределения все отказы происходят до момента t_0 , т. е. $P(t_0) = 0$. Таким образом, когда t стремится к верхнему пределу, интенсивность отказов будет неограниченно возрастать, так как все те изделия, которые еще не вышли из строя, должны отказывать во все уменьшающемся промежутке времени. Средняя наработка до отказа $t_{\text{ср.}} = t_0/2$.

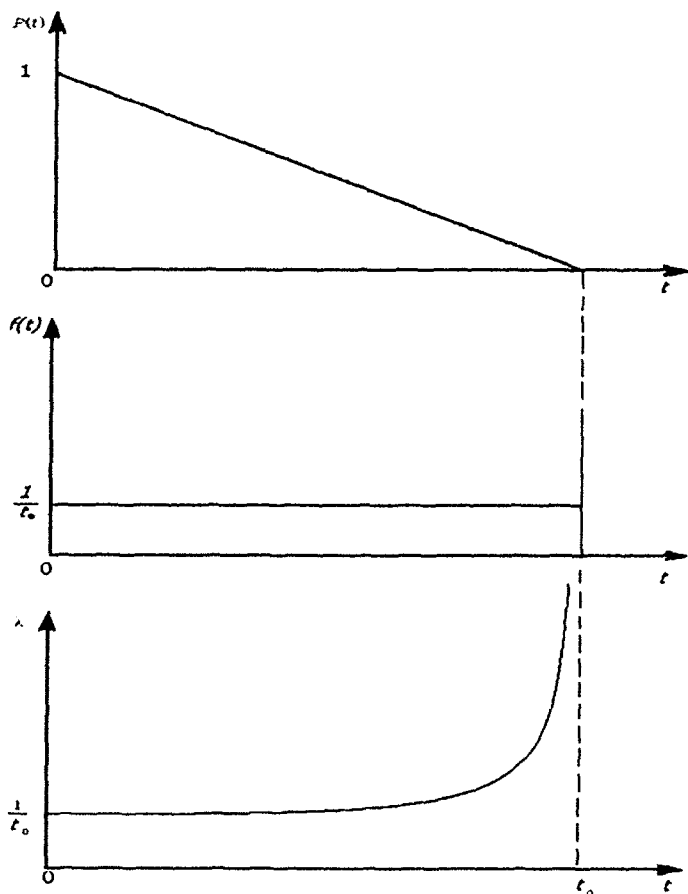


Рис. 49. Функция надежности, частоты отказов и интенсивности отказов в случае равномерного распределения

При распределении случайной величины по закону равной вероятности плотность вероятности имеет постоянное значение в некотором интервале изменения случайной величины и равна нулю вне этого интервала. Этот закон можно было применить для описания вероятности появления отказов в некотором заданном интервале времени, когда процесс приработки изделия закончен, а процесс старения элементной базы еще не наступил.

Примерами реальных ситуаций, связанных с необходимостью рассмотрения равномерно распределенных случайных величин, могут служить ошибки, возникающие от округления данных при расчетах или измерениях. Равномерному распределению подчиняется время ожидания «обслуживания» при точно периодическом, через каждые T единиц времени, включении «обслуживающего устройства» и при случайном поступлении заявки на обслуживание в этом интервале.

Равномерное распределение $U(a, b)$ описывает процесс «выбора точки наудачу» в интервале $[a, b]$. Распределение $U(0, 1)$ играет особую роль в методах моделирования с помощью компьютеров случайных чисел с заранее заданным распределением. Применение равномерного распределения в качестве статистической модели для времени безотказной работы затруднительно, поскольку существует определенный верхний предел t_0 , до которого должен произойти отказ.

Равномерное распределение может быть не только непрерывным, но и дискретным. Пример — бросание игральной кости. Ввиду равенства всех вероятностей можно говорить о равномерном распределении дискретной случайной величины, которая принимает шесть значений 1, 2, ..., 6 с вероятностью $1/6$.

14.2. Экспоненциальное распределение (модель мгновенных повреждений)

Экспоненциальное распределение, которое часто называют *показательным распределением*, применяется в областях, связанных со «временем жизни». Из демографической статистики известно, что этому закону подчиняется распределение момента гибели человека в результате несчастного случая. При некоторых допущениях можно предположить, что смерть в результате насильственных действий или несчастного случая не зависит от возраста человека. Основные характеристики надежности при экспоненциальном распределении выражаются следующими простыми соотношениями:

$$f(t) = \lambda \exp(-\lambda t),$$

$$P(t) = \exp(-\lambda t),$$

где λ — интенсивность отказов.

Величина γ – процентного ресурса определяется по формуле:

$$t_{\gamma} = -\frac{1}{\lambda} \ln \left(\frac{\gamma}{100} \right). \quad (104)$$

В случае экспоненциального распределения справедливо соотношение $t_{\text{ср.}} = 1/\lambda$. В предположении экспоненциального распределения моментов возникновения отказов, обычно используемом при анализе надежности РЭА и ИЭТ, эти величины связаны между собой приближенным соотношением:

$$t_{\gamma} \approx 0,1 T_0,$$

где: t_{γ} – 90%-ный ресурс;

T_0 – средняя наработка на отказ РЭА.

В случае экспоненциального распределения функция ресурса линейна $\Lambda(t) = \lambda t$. Следует отметить, что при $\lambda t \ll 1$, т. е. при наработке t меньшей, чем средняя наработка, выражение для функции надежности можно упростить, заменив ее λ^i двумя первыми членами разложения в степенной ряд.

$$P(t) = 1 - \lambda t + \frac{(\lambda t)^2}{2!} - \frac{(\lambda t)^3}{3!} + \dots \approx 1 - \lambda t, \quad (105)$$

при этом погрешность вычисления $P(t)$ не превышает $0,5 (\lambda t)^2$.

Экспоненциальное распределение — единственное, обладающее следующим свойством: если устройство еще не отказало к моменту времени t , то распределение его времени безотказной работы будет таким же, как если бы в этот момент начало использоваться новое устройство. При этом законе распределения времени безотказной работы нет смысла прибегать к профилактическим мерам, например, замене неотказавших элементов или их периодическому ремонту.

Говорят, что экспоненциальное распределение образуется в схеме «мгновенных повреждений». На рис. 49 изображен возможный график изменения нагрузки в процессе испытаний. Экспоненциальное распределение момента наступления отказа имеет место, если отказ происходит, когда случайно изменяющаяся нагрузка превышает некоторый уровень, при этом характерно, что отказ объекта наступает независимо от того, сколько времени он до этого находился в эксплуатации и каково его состояние.

Таким образом, для возникновения экспоненциального распределения моментов наступления отказов должны быть выполнены два условия:

- уровень предельно допустимой нагрузки $W_{\text{п}}$ остается постоянным в течение всего времени эксплуатации объекта;

- отказ возникает не как следствие постепенного изменения внутреннего состояния объекта, а в результате внешнего случайного воздействия, имеющего величину больше допустимого уровня.

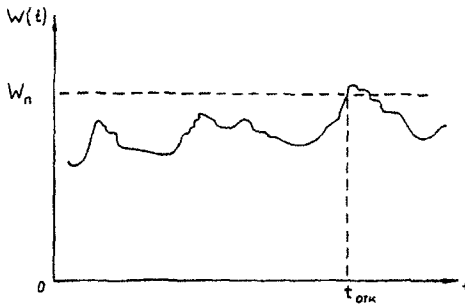


Рис. 50. *Схема мгновенных повреждений (экспоненциальное распределение моментов наступления отказов)*

Считается, что экспоненциальным законом описывается надежность технического объекта в период нормальной эксплуатации (участок II на рис. 48). Для повышения надежности объекта по отношению к экспоненциально распределенным отказам необходимо увеличивать конструктивные запасы изделия или снижать действующие на него нагрузки.

Примером экспоненциально распределенного отказа может служить прокол шины автомобиля, если предположить, что он происходит только за счет острого предмета и не зависит ни от степени изношенности шины, ни от состояния автомобиля (при этом молчаливо предполагается, что новая и потертая шина прокалываются одинаково). Другой пример — отказ электрического предохранителя (в предположении, что он еще не оплавился частично) вследствие случайной перегрузки во внешней электрической сети.

Ограничением для применения этого закона является необходимость того, чтобы поток отказов и восстановлений был простейшим (обладал свойством ординарности, стационарности и отсутствия последствия).

Стационарность определяется тем, что вероятность появления того или иного числа отказов на некотором временном интервале эксплуатации t зависит только от длины этого интервала, но не зависит от положения этого интервала на оси времени. Иными словами, предполагается, что отказы распределены на оси времени в процессе эксплуатации с одинаковой средней плотностью λ .

Ординарность определяется тем, что вероятность возникновения двух или более отказов системы в некоторый момент времени t пренебрежимо мала по сравнению с вероятностью одного отказа. Это оз-

начает, практически, что одновременно в системе отказа более двух элементов быть не может. Отсутствие последствия определяется тем, что наступление отказа в момент t_i не зависит от того, сколько отказов и в какие моменты времени они возникали до момента t_i .

Безусловным достоинством этого распределения является простота в практическом применении и отсутствие сложных вычислительных процедур при расчете надежности. Поэтому бывает полезно при проведении предварительного (прикидочного, ориентировочного и т. п.) расчета надежности исходить из показательного закона. Но легкость вычислительных работ приводит к тому, что на практике экспоненциальным распределением часто пользуются, не задумываясь о соответствии реальных условий принятой модели отказа. В этом случае использование экспоненциального распределения без должного обоснования напоминает поиск потерянной монеты ночью под фонарем лишь потому, что под ним светло! Вспоминается и старинная русская поговорка «Простота бывает хуже воровства».

Иногда и необоснованно экспоненциальный закон называют «основным законом надежности» и используют на стадии проектирования и разработки, когда информация о фактическом законе распределения моментов наступления отказов отсутствует. Этот закон не следует применять при оценке показателей надежности сложных технических систем, поскольку неодновременность работы элементов и наличие последствия отказов приводит к тому, что интенсивность отказов системы непостоянна, даже при постоянстве интенсивности отказов ее элементов.

14.3. Гамма-распределение (модель накапливающихся повреждений)

Модель отказа, соответствующая гамма-распределению, возникает в схеме «накапливающихся повреждений». Предполагается, что для отказа прибора необходимо несколько «повреждений», каждое из которых заключается в увеличении износа на некоторую постоянную величину. С точки зрения теории надежности гамма-распределение можно рассматривать как обобщение экспоненциального распределения для случая, когда отказ происходит при появлении определенного числа событий, появляющихся независимо друг от друга с постоянной интенсивностью (рис. 51).

Плотность распределения отказов в этом случае имеет вид:

$$f(t) = \frac{\lambda^s t^{s-1}}{\Gamma(s)} \exp(-\lambda t), \quad (106)$$

где: s — параметр формы (физический смысл — число повреждений, после которого происходит отказ технического объекта);

T_0 — масштабный параметр (характеризует среднее время между отказами);

Γ — знак гамма-функции.

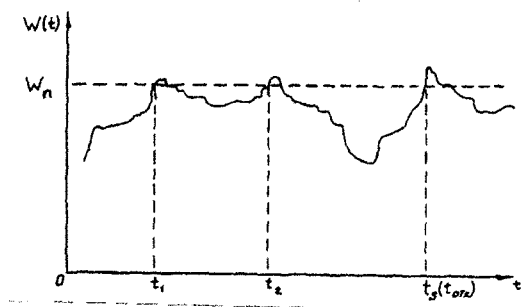


Рис. 51. Схема накапливающихся повреждений
(гамма-распределение моментов наступления отказов)

Из выражения (106) следует, что при $s = 1$ гамма-распределение совпадает с экспоненциальным, а с ростом значения параметра формы оно приближается к нормальному закону. В случае если s принимает только целые положительные значения, получается распределение Эрланга, которое может быть интерпретировано как распределение длительности промежутков между 1-м и $(s + 1)$ -м отказом сложной системы.

При $s < 1$ интенсивность отказов монотонно убывает, а при $s > 1$ — монотонно возрастает. Использование гамма-распределения обоснованно, когда первоначальное качество массовой продукции однородно; нагрузки, действующие на прибор при эксплуатации, варьируются в широких пределах; средняя скорость износа постоянна; приработка занимает незначительное время. Гамма-распределение описывает надежность системы, в которой применено резервирование замещением (ненагруженное резервирование), а надежность элементов подчиняется экспоненциальному распределению. Гамма-распределению подчиняется и наработка между несмежными (например, через один отказ) отказами восстанавливаемого изделия, если поток отказов простейший.

14.4. Нормальное распределение (модель суммирования повреждений)

Если экспоненциальное распределение возникает в схеме мгновенных повреждений, гамма-распределение — в схеме накапливающихся повреждений, то нормальному распределению соответствует схема суммирования повреждений. Для первых исследователей нормальное

распределение было просто удобным приближением биномиального распределения. Нормальное распределение выводится, как результат большого числа независимых аддитивных ошибок, что положило начало его широкому и не всегда обоснованному применению в технических приложениях.

Фундаментальный для всей статистики результат, называемый в теории вероятностей центральной предельной теоремой и который Ю. Благовещенский считает «центральным законом случайного мира»: распределение нормированных отклонений при N стремящемся к бесконечности сближается с распределением Гаусса [19]. Ему подчиняются такие случайные величины, как погрешности измерения, погрешности изготовления и др.

Для возникновения нормального распределения необходимо, чтобы число воздействующих факторов было велико, каждый фактор мало связан с остальными, среди действующих факторов нет доминирующего, начальное качество объектов однородно. Плотность распределения при нормальном законе:

$$f(t) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp - \frac{1}{2} \left(\frac{t - T_0}{\sigma} \right)^2, \quad (107)$$

где: T_0 — математическое ожидание наработки до отказа;

σ^2 — дисперсия наработки до отказа.

Нормальное распределение зависит, таким образом, от двух параметров. При этом математическое ожидание случайной величины равно одному параметру, среднеквадратическое отклонение другому. Кривая плотности нормального распределения симметрична относительно ординаты, проходящей через точку $x = T_0$, и имеет в этой точке максимум, равный $\frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}}$.

С уменьшением σ кривая нормального распределения становится все более островершинной. Изменение значения математического ожидания при постоянстве среднеквадратического отклонения не меняет форму кривой, а вызывает лишь ее смещение по оси абсцисс. Площадь под кривой нормального распределения всегда равна единице. При математическом ожидании равном нулю и среднеквадратическом отклонении равном единице получается нормированное и центрированное нормальное распределение. Этот случай представлен на рис. 52.

При использовании нормального распределения для моделирования отказов следует иметь в виду, что в обычном нормальном распределении случайная величина может изменяться от $-\infty$ до ∞ . Наработка до отказа — величина неотрицательная, поэтому используется усеченное нормальное распределение с плотностью:

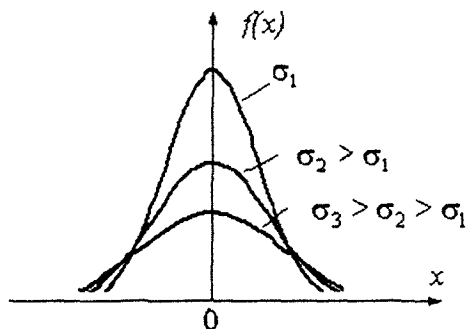


Рис. 52. Плотность центрального и нормированного нормального распределения

$$f(t) = \exp \left(-\frac{1}{2} \left[\frac{t-T}{\sigma_1} \right]^2 \right) c, \quad (108)$$

$$\sigma_1 (2\pi)^{\frac{1}{2}}$$

где постоянная c определяется из условия нормировки:

$$\int_0^{\infty} f(t) dt = 1.$$

На практике обычно $T \gg \sigma$, тогда c приблизительно равно 1, в этом случае $T = T_0$ — средняя наработка до отказа, σ^2 — дисперсия наработки и имеем обычное нормальное распределение (107). Вероятность безотказной работы при нормальном распределении может быть выражена через табулированную функцию стандартного нормального распределения.

Принято считать, что нормальному распределению подчиняется надежность «стареющих» систем, которым присущи постепенные отказы. Интенсивность отказов при этом монотонно возрастает (участок III на рис. 48).

Нормальное распределение безгранично делимо: если сумма двух независимых случайных величин имеет нормальное распределение, то каждое слагаемое распределение также является нормальным. В природе собственно нормальное распределение встречается очень редко, но является моделью идеального равновесного состояния случайного процесса, не подверженного действию какого-либо одного фактора.

14.5. Логарифмически-нормальное распределение (модель упрочнения)

Логарифмически-нормальное распределение можно рассматривать как статистическую модель для случайной величины, значения которой получаются в результате умножения большого числа небольших ошибок, аналогично тому, как нормальное распределение имеет место при сложении ошибок. В соответствии с центральной предельной теоремой распределение произведения большого числа независимых положительных случайных величин приближается к логарифмически-нормальному распределению при самых общих условиях.

Логарифмически-нормальное распределение применяется в самых различных областях — от экономики до биологии для описания процессов, в которых наблюдаемое значение составляет случайную долю предыдущего значения. Плотность распределения в этом случае имеет вид:

$$f(t) = \frac{1}{t\sigma\sqrt{2\pi}} \exp - \frac{1}{2} \left(\frac{\ln t - T_0}{\sigma} \right)^2. \quad (109)$$

Логарифмически-нормальное распределение описывает доходы населения, размеры наследства, распределение концентрации в различных средах, распределение загрязнения в атмосфере или почве, размеры частиц горной породы после измельчения в шаровой мельнице. Оно используется для обработки данных об усталостной долговечности металлов, времени безотказной работы элементов радиоаппаратуры и т. д. Это распределение применимо для приборов, у которых скорость износа уменьшается со временем, происходит так называемое «упрочнение». Интенсивность отказов при логарифмически-нормальном распределении сначала возрастает, а затем монотонно падает.

Логарифмически-нормальное распределение имеет правостороннюю асимметрию; степень асимметрии возрастает с увеличением σ , в отличие от нормального распределения m и σ не являются параметрами, соответственно характеризующими центр распределения и разброс случайных значений относительно среднего значения.

Экспериментальные исследования долговечности простых технических устройств (транзисторов, резисторов, некоторых видов полупроводниковых приборов, конденсаторов, изоляции и др.) позволили установить следующую зависимость:

$$\tau = \tau_0 \exp \frac{B}{T}, \quad (110)$$

где: τ — ресурс объекта;

τ_0 — нормировочный множитель (его физический смысл — значение ресурса объекта при величине нагрузки, стремящейся к бесконечности);

B — характеристика процесса, приводящего к отказу;

T — абсолютная температура.

Для простых приборов и устройств экспоненциальное уменьшение ресурса при повышении рабочей температуры определяется экспоненциальным характером температурной зависимости некоторых процессов, определяющих ресурс. Зависимость (110) носит детерминированный характер, т. е. если бы были известны значения, входящие в формулу, можно было бы определить индивидуальный ресурс прибора.

Будем рассуждать в соответствии с физико-вероятностным подходом. Если предположить, что начальное качество объектов распределено по нормальному закону (для простейших элементов такое предположение обосновывается тем, что качество их определяется погрешностью изготовления, имеющей нормальное распределение). Кроме того, параметр B в выражении (110) может трактоваться как энергия активации. Скорость многих процессов, приводящих к отказам, описывается уравнением Аррениуса. Энергия активации характеризует суммарное влияние на развитие процесса отказа многих элементарных физико-химических процессов, протекающих на молекулярном уровне. Поэтому можно считать, что величина энергии активации подчиняется нормальному распределению.

Из выражения (110) с очевидностью следует, что ресурс таких устройств должен быть распределен по логарифмически-нормальному закону. Это подтверждается многочисленными статистическими исследованиями надежности простейших ИРЭ. Считается, что логарифмически-нормальное распределение соответствует периоду «детских болезней» (участок I на рис. 48).

14.6. Распределение Вейбулла (модель слабого звена)

Практическая необходимость учета непостоянства интенсивности отказов позволяет сделать вывод, что условия, приводящие к основным распределениям теории надежности (экспоненциальному, нормальному, логарифмически-нормальному и т. п.), указывают на необоснованность их использования для анализа надежности мощных генераторных ламп, клистронов, магнетронов, ламп бегущей волны и других элементов систем управления, которые в общем случае характеризуются старением с непостоянной скоростью износа, неоднородны по начальному качеству.

В 1939 г. шведский математик и инженер В. Вейбулл (*Weibull*, 1887–1979), анализируя отказы, обусловленные износом шарикоподшипников, предложил функцию распределения, удобную для описания долговечности материалов, отметив: «Представляется, что единственным практическим путем достижения успеха является выбор простой функции, эмпирическая ее проверка и затем ее окончательный выбор, если нет ничего лучшего».

$$F(X) = 1 - \exp[-\varphi(X)]. \quad (111)$$

Не останавливаясь на оценке справедливости этих слов в настоящее время, заметим, что в качестве простой функции Вейбулл выбрал двухпараметрическую функцию распределения вероятностей:

$$F(t) = 1 - \exp\left[-\left(\frac{t}{T}\right)^s\right], \quad (112)$$

где T, s , — соответственно параметры масштаба и формы.



В. Вейбулл

С середины 1950-х гг. интерес к распределению Вейбулла возрастает, поскольку оно оказывается хорошей моделью для описания надежности сложных устройств. Этот закон оказывается наиболее пригодным для анализа продолжительности безотказной работы мощных электровакуумных приборов СВЧ.

Б. В. Гнеденко установил, что распределение Вейбулла является асимптотическим распределением третьего типа для минимальных значений последовательности независимых величин. Доказано харак-

теристическое свойство вейбулловского закона: если $\eta = \min(X_1, X_2, \dots, X_n)$ подчиняется вейбулловскому распределению, случайные величины X_1, X_2, \dots, X_n независимы и одинаково распределены, то они также подчиняются этому закону. Многие устройства содержат значительное число однородных элементов, находящихся в одинаковых условиях эксплуатации. Если повторяющиеся элементы являются определяющими по отношению ко времени безотказной работы прибора, то образуется схема, приводящая к распределению Вейбулла. Отказ прибора рассматривается как выход какого-либо одного из параметров за пределы установленного допуска. Можно полагать, что изменения этих параметров есть слабо связанные случайные процессы. Тогда, если τ_i — долговечность по i -му параметру, то ресурс в целом определяется как $\tau = \min(\tau_1, \tau_2, \dots, \tau_n)$.

Функция надежности при распределении Вейбулла в общем случае определяется тремя параметрами и имеет вид:

$$P(t) = \exp \left[- \left(\frac{t - t_0}{T} \right)^s \right], \quad (113)$$

где T, s, t_0 — параметры масштаба, формы, сдвига (параметр сдвига называется еще «порогом чувствительности») [$P(t \leq t_0) = 1$].

Среднее время безотказной работы выражается через параметры распределения Вейбулла следующим образом:

$$t = t_0 + TT \left(1 + \frac{1}{S} \right). \quad (114)$$

Из выражения (112) с очевидностью следует, что экспоненциальное распределение является его частным случаем при параметре формы при $s = 1$. Кроме того, распределение Вейбулла обладает достаточной универсальностью, чтобы аппроксимировать и другие наиболее распространенные в теории надежности распределения: гамма-распределение, логарифмически-нормальное, нормальное. Благодаря своей универсальности, при обработке экспериментальных данных о надежности технических объектов в ситуации, когда вид функции распределения априори неизвестен, рекомендуется воспользоваться распределением Вейбулла.

При увеличении параметра формы разброс индивидуальных ресурсов относительно среднего уменьшается. При $s \rightarrow \infty$ распределение Вейбулла становится вырожденным (рис. 53). Это, так называемое, несобственное распределение, при котором случайная величина с вероятностью единица принимает единственное возможное значение.

Если параметры формы меньше 1, то функция надежности резко уменьшается в начале времени жизни, затем уменьшение происходит

более медленно. Если параметр формы больше 1, то сначала наблюдается небольшое уменьшение надежности, а затем, начиная с некоторой точки, она довольно быстро снижается. Точка, где все кривые пересекаются, называется характеристическим временем жизни. Эта точка равна соответствующему параметру масштаба T двухпараметрического распределения Вейбулла с параметром сдвига $t_0 = 0$ (иначе это время соответствует $T + t_0$).

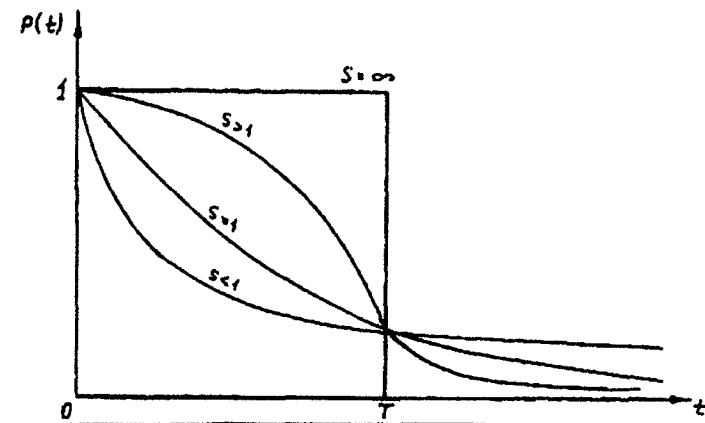


Рис. 53. Функция надежности при различных значениях параметра формы распределения Вейбулла

Из рис. 54 видно, что вейбулловское распределение позволяет описать интенсивность отказов отдельно на любом из характерных периодов (рис. 48):

а) в период «детских болезней» $s < 1$, кривые надежности падают быстрее, чем в случае экспоненциального закона, интенсивность отказов монотонно убывает. Уменьшение интенсивности отказов можно рассматривать как «упрочнение». Поэтому в этот период надежность изделия подчиняется логарифмически-нормальному закону;

б) в период «нормальной эксплуатации» $s = 1$, получается экспоненциальное распределение, при котором интенсивность отказов постоянна;

в) в период износа $s > 1$. Кривые надежности имеют выпуклость вверх, что соответствует возрастанию интенсивности отказов.

В табл. 6 приведены результаты расчета средней наработки до отказа резервированной системы с дробной кратностью, состоящей из элементов с вейбулловским распределением моментов наступления отказов по формуле (114). Исходные данные к расчету: $N = 10$, $T = 1000$, $r = 1, 2, \dots, 10$. $s = 0,5; 1,0; 2,0$.

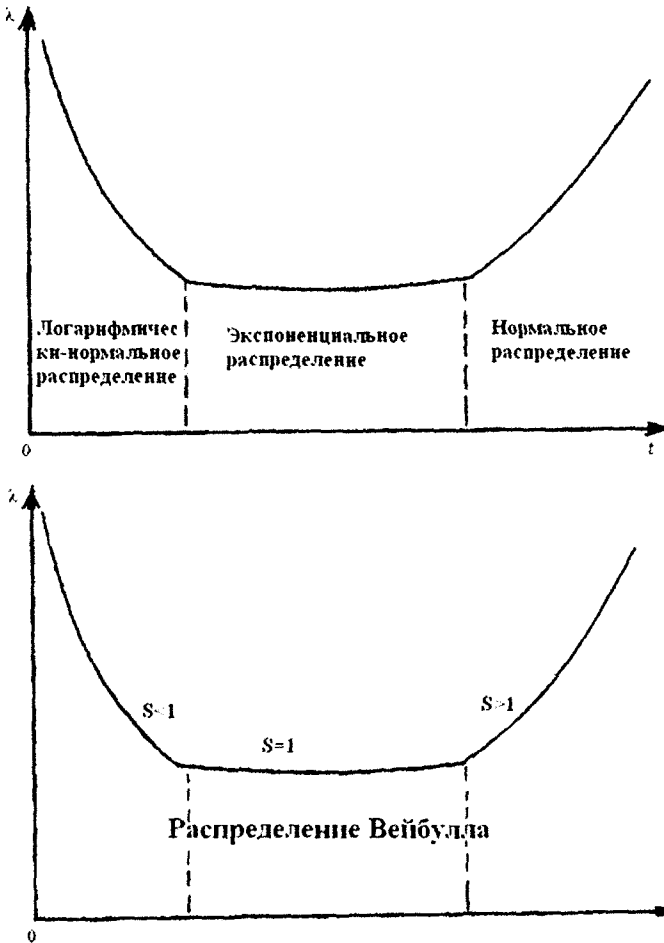


Рис. 54. Интерпретация «лямбда-характеристики» с точки зрения различных законов моментов наступления отказов

Таблица 6

Средняя наработка до отказа резервированной системы с дробной кратностью

r	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$s=0,5$	20	66,9	150,9	287,8	503	841	1389	2342	4271	10130
$s=1,0$	100	211	336	479	645,6	845,6	1096	1429	1929	2929
$s=2,0$	280	431,8	556	670,5	783	899,7	1027	1174	1364	1676

Из табл. 6 следует, что при малых значениях s более долговечна система с дробной кратностью при большом допустимом числе отказов (для изделий, имеющих вейбулловское распределение моментов наступления отказов с параметром формы $s < 1$, характерны прирабочные отказы, происходящие в начальный период эксплуатации), а при больших s (в этом случае нарушение работоспособности технического объекта вызывается в основном его естественным старением), наоборот — рациональнее использование системы при ограничении на допустимое число отказов (низкое значение $\frac{r}{N}$).

Когда временная зависимость интенсивности отказов приборов имеет выраженные периоды приработки (I) и износа (III) (рис. 48), распределение Вейбулла оказывается недостаточным. В связи с этим давно ведется поиск универсального распределения. Представляя интерес попытки задания функции надежности, сочетающей универсальность с минимальным числом необходимых параметров. Поскольку параметр формы распределения Вейбулла меньше единицы в стадии приработки, равен единице в период нормальной эксплуатации и больше единицы при статистическом описании износа, напрашивается предположение, что для изделий, у которых выражены все три периода, параметр формы закона распределения представляет собой неубывающую во времени функцию.

Универсальный в этом смысле закон, учитывающий состояние объекта в любой из трех периодов, а также естественность плавного перехода от одного периода к другому, может быть задан в виде распределения с меняющимся во времени параметром формы $P(t) = \exp - (\lambda_0 t)^{s(t)}$. На основании этого соотношения находим формулу для интенсивности отказов:

$$\lambda(t) = (\lambda_0 t)^{s(t)} \left[\frac{ds(t)}{dt} \ln(\lambda_0 t) + \frac{s(t)}{t} \right], \quad (115)$$

из которой следует, что при малых λ_0 ($\lambda_0 t \ll 1$) функция $\lambda(t)$ принимает отрицательные значения, что противоречит естественным представлениям.

При обосновании распределения моментов наступления отказов изделий необходимо учитывать, что существуют причины статистической неоднородности: эксплуатация изделий в различных условиях и режимах; изготовление изделий одного и того же вида различными предприятиями; наличие скрытых дефектов в изделиях поставляемой партии, улучшение качества изделий по мере выпуска и др.

Статистически неоднородные данные описываются смесями распределений. Иногда в литературе говорится о «загрязненных» выборках, характеризующих смешанными распределениями, задаваемыми

взвешенной суммой, по крайней мере, двух функций распределения с различающимися параметрами. Другая причина статистической неоднородности данных состоит в том, что времена восстановления элементов изделия различны, а потому распределение времени восстановления изделия есть смесь с весами, пропорциональными, например, интенсивностям отказов элементов.

14.7. Смесь распределений

Примером смеси может служить распределение по долговечности деталей на складе предприятия, если детали поступают на склад с разных заводов-изготовителей, или когда новые детали смешивают со старыми. Нарботку до отказа изделия будем рассматривать как условную случайную величину ω :

$$\omega = v\eta + (1 - v)\xi, \quad (116)$$

где: v принимает значение 0 или 1 с вероятностями $(1 - C)$ и C соответственно;

ξ — наработка до отказа годного элемента;

η — наработка до отказа элемента, содержащего скрытый дефект изготовления.

Рассматриваемые случайные величины ξ и η взаимно независимы. Распределение случайной величины (116) неоднородно, оно является смесью однородных распределений. По формуле полной вероятности получаем:

$$P(t) = C P_1(t) + (1 - C) P_2(t), \quad (117)$$

где: C — вероятность того, что элемент дефектный;

$P_1(t)$, $P_2(t)$ — вероятности безотказной работы дефектного и годного элемента соответственно.

Отметим, что периоды приработки и нормальной эксплуатации описываются смесью двух экспонент. Интенсивность отказов в этом случае монотонно убывает, что означает повышение надежности с течением времени. Такое свойство на первый взгляд кажется парадоксальным и неестественным, однако оно становится понятным при статистической интерпретации интенсивности отказа. При испытании в первую очередь отказывают элементы с большой интенсивностью отказа, и поэтому средняя интенсивность отказов неотказавших элементов уменьшается. Самое простое объяснение убыванию интенсивности отказов в стадии приработки: каждое конкретное изделий характеризуется одним из двух значений постоянной во времени интенсивности отказов, малым или большим.

Зададимся вопросом: существует ли момент t_2 , принимаемый за начало старения? Разве процессы деградации не начинаются в момент

первого включения? И аналогичный вопрос: приработки заканчивается в момент t_1 ? Поскольку трехпериодная U -образная зависимость наблюдается и в демографической статистике, где она описывает вероятность смерти человека от возраста. При этом известно, что старение человека начинается чуть ли не в момент рождения и идет с нарастающей интенсивностью на протяжении всей жизни. К слову говоря, детские болезни возможны в любом возрасте, хотя вероятность заболевания и уменьшается. Эти рассуждения наталкивают на мысль, что физически обоснованно трактовать «лямбда-характеристику», как результат сложения двух процессов: старения с возрастающей интенсивностью и роста (становления) с убывающей интенсивностью.

На основе вышесказанного предлагается использовать модель расходования ресурса, согласно которой в период I надежность объекта обусловлена в основном его начальным качеством, определяемым уменьшающейся со временем интенсивностью λ_0 , а в период III определяется скоростью накопления необратимых изменений с возрастающей интенсивностью λ_t . Что касается периода II, то здесь имеет место примерное постоянство интенсивности отказов, обусловленное тем, что λ_0 и λ_t уравниваются (рис. 55). Обработка данных по отказам мощных электровакуумных приборов сверхвысоких частот (ЭВП СВЧ) позволяет построить интенсивности отказов от времени, на которой участок «нормальной эксплуатации» практически отсутствует.

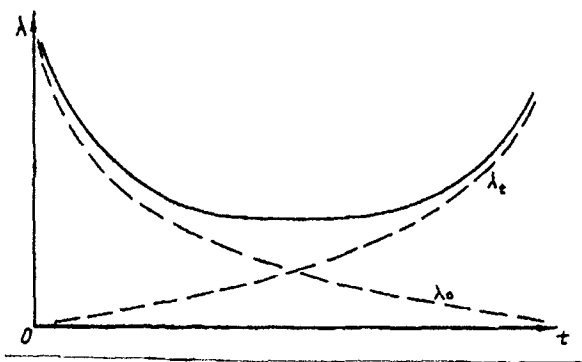


Рис. 55. Интерпретация «лямбда-характеристики», отвечающей модели отказов «смесь распределений экспоненциального и Вейбулла»

Можно предположить, что наблюдаемая зависимость интенсивности отказов от времени определяется двумя составляющими: одна вызвана неоднородностью начального качества изделий, а другая — случайным характером накопления необратимых изменений. Исходя из такой интерпретации «лямбда-характеристики», для описания надежности различных видов элементов систем управления (в частно-

сти, изделий электронной техники) предложено использовать смесь экспоненциального и вейбулловского распределений.

Вероятность безотказной работы задается выражением:

$$P(t) = C \exp(-t/T_1) + (1 - C) \exp[-(t/T_2)^s], \quad (118)$$

где: C — удельный вес экспоненциальной компоненты;

T_1 — масштабный параметр экспоненциальной составляющей;

T_2, s — параметры масштаба и формы вейбулловской компоненты; при этом $T_2 > T_1, 0 \leq C \leq 1, s \geq 1$.

Из формулы (118) находим соответствующие соотношения для частоты отказов $f(t)$ и интенсивности отказов $\lambda(t)$:

$$f(t) = \{C/T_1 \exp(-t/T_1) + (1 - C)s t^{s-1}/T_2^s \exp[-(t/T_2)^s]\}, \quad (119)$$

$$\lambda(t) = \left\{ \frac{C\lambda_1 \exp(-\lambda_1 t) + (1 - C)s\lambda_2^s t^{s-1} \exp[-(\lambda_2 t)^s]}{C \exp(-\lambda_1 t) + (1 - C) \exp[-(\lambda_2 t)^s]} \right\} \quad (120)$$

Легко устанавливаются частные случаи вероятности безотказной работы (118): при $C = 1$ она совпадает с вероятностью при экспоненциальном законе, при $C = 0$ — при распределении Вейбулла, при $s = 1$ — вероятность при смеси двух экспоненциальных законов (физически это означает, что старение отсутствует).

Параметрам, входящим в зависимость (35), можно придать физический смысл: T_1 характеризует скорость приработки — чем ниже значение T_1 , тем быстрее устанавливается нормальная эксплуатация; T_2 определяет значение интенсивности отказов в период нормальной эксплуатации; s — скорость процесса износа, при этом, чем больше s , тем сильнее выражены процессы старения и износа; C определяет начальное значение интенсивности отказов ($t = 0$) и долю внезапных отказов. Начальное значение интенсивности отказов находим, полагая в выражении (120) $t = 0$: $\lambda(0) = \frac{C}{T_1}$.

Хотя поведение функции надежности существенно зависит от соотношений численных значений входящих в нее параметров, можно сделать выводы. Функция $P(t)$ в начальный период круто спадает (выходят из строя дефектные изделия с интенсивностью $1/T_1$), затем наступает период, в течение которого вероятность безотказной работы остается практически постоянной во времени (дефектные изделия в основном уже отказали, а вероятность отказа годных все еще невелика), а при больших t функция надежности характеризует вероятность выхода из строя изделий, подверженных отказам вследствие износа (рис. 56).

Более содержательные выводы позволяет сделать анализ временной зависимости интенсивности отказов. В начальный период ($0 - t^*$)

наблюдается уменьшение интенсивности отказов. Глубина спада тем больше, чем меньше C (меньше доля отказов, обусловленных неоднородностью начального качества изделий) и чем больше s (четче выражены износосвые явления). Начиная с момента t^* происходит возрастание $\lambda(t)$. С физической точки зрения в момент t^* вероятность отказа из-за неоднородности начального качества изделия и случайного характера накопления необратимых изменений равны между собой. Оценив параметры распределений, образующих смесь, можно провести статистико-физический анализ надежности ИРЭ.

Создатель динамического программирования Беллман заметил, что, работая в любой области, ученый «должен идти прямой и узкой тропой между западнями переупрощения и болотом переусложнения». Применительно к рассматриваемому в настоящей главе вопросу можно сказать, что в «западню переупрощения» попадаешь в случае необоснованного использования экспоненциального распределения, а при использовании смесей нескольких распределений Вейбулла или иного распределения с динамическим параметром формы есть риск утонуть в «болоте переусложнения».

По нашему мнению, применение для описания надежности смеси распределений экспоненциального и Вейбулла является «тропой» между западнями переупрощения и болотом переусложнения.

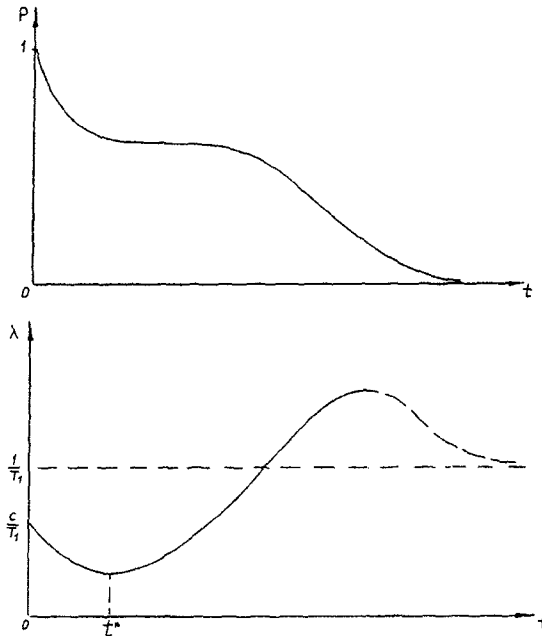


Рис. 56. Вероятность безотказной работы и интенсивность отказов в случае смеси распределений Вейбулла и экспоненциального

14.8. Статистико-физический метод анализа надежности изделий электронной техники

Статистико-физический метод охарактеризован, как способ определения природы отказа на основе анализа вида и параметров его статистического распределения. Разумеется, если есть возможность провести технический анализ отказавшего изделия и установить причину выхода из строя, то статистико-физический подход не нужен. Не будет он эффективен и для приборов, у которых моральное старение происходит раньше физического износа.

Однако, если приборы, эксплуатируемые на труднодоступном объекте, выходят из строя, а изготовитель имеет возможность получить лишь заводской номер, значение наработки и в случае отказа указание на его внешнее проявление (например, для мощных электровакуумных приборов — «выходная мощность упала ниже нормы»). Но выходная мощность может упасть по множеству причин, начиная от небрежного обращения с прибором до естественного истощения эмиссионного слоя катода. Как устранить неисправность, если ее причина неизвестна?

В этом случае, если установлена близость эмпирического распределения распределению Вейбулла, то, связывая численные значения параметра формы распределения с видом отказа, можно высказать предположение: при $s < 1$ отказ характеризует период приработки; при $s = 1$ — «нормальную эксплуатацию», а при больших величинах параметра формы — износ.

Работоспособность такого подхода проверялась при анализе надежности усилительного клистрона КИУ-12, используемого в линейном ускорителе заряженных частиц. Этот прибор эксплуатируется на единственном объекте, одновременно работает более ста образцов, есть техническая возможность провести тщательный анализ любого отказа и, определив его механизм, отнести к соответствующему участку кривой (рис. 48). Обобщив данные по наработкам нескольких сотен отказавших клистронов, мы разбили их на четыре группы, соответствующие основным видам отказов.

При обработке данных о наработках изделий, отказавших вследствие определенного вида, методом моментов оценивалось значение параметра формы распределения Вейбулла, которое связывалось с характером отказа. Результаты такого статистико-физического анализа приводятся в табл. 7, из которой следует соответствие характера отказа численному значению параметра формы распределения.

Метод был применен при анализе надежности нескольких типов мощных электровакуумных СВЧ-приборов. По данным о наработках отказавших изделий оценивалось значение параметра формы и по нему высказывалось предположение о характере отказа и давались рекомендации по их устранению.

Параметр формы распределения Вейбулла, отнесенный к различным видам отказов мощного усилительного клистрона КИУ-12

Вид отказа	Параметр формы	Характер отказа
Пробой изолятора	0,5	Конструкторско-технологический отказ (характерен для периода приработки)
Ухудшение вакуума	0,9	Переход от периода приработки к нормальной эксплуатации
Частые пробой	1,0	Отказ характерен для периода нормальной эксплуатации
Ухудшение эмиссии	2,1	Износый отказ

С учетом этих рекомендаций была проведена конструкторско-технологическая доработка изделий и приняты меры по улучшению условий эксплуатации. В результате значение параметра формы распределения Вейбулла, рассчитанное по данным о наработках отказавших изделий возросло (в начале период эксплуатации оно лежало для разных типов приборов в диапазоне 0,7–1,5, а после принятых мер — 2,6–3,2), что свидетельствует об увеличении доли отказов, вызванных накоплением необратимых изменений.

Пример статистико-физического подхода можно привести в связи с проблемой форсированных испытаний — одной из центральных в теории надежности. Физически ускорение процессов связано с повышением средней тепловой энергии взаимодействующих микрочастиц, что резко увеличивает вероятность преодоления ими энергетического барьера, защищающего систему от внешних дестабилизирующих влияний и препятствующего ее разрушению. При повышении температуры эта вероятность возрастает, а значение наработки до отказа падает.

Форсированные испытания на надежность целесообразно проводить, повышая температуру, поскольку многие физико-химические процессы, определяющие старение, подчиняются закону Аррениуса. При этом энергия активации процесса, приводящего к отказу, характеризует надежность прибора: чем больше энергия активации, тем надежнее изделие. Скорость ν многих физико-химических процессов пропорциональна относительному количеству активных частиц:

$$\nu = A \exp(-E_a/RT), \quad (121)$$

где: A — коэффициент, определяемый механизмом конкретного процесса и характеризующий общее число столкновений частиц в единицу времени;

E_a — энергия активации;

R — универсальная газовая постоянная.

Из уравнения Аррениуса очевидно, что скорость реакции сильнее изменится с температурой в тех реакциях, в которых энергия активации больше. Временной коэффициент ускорения определяется из уравнения Аррениуса:

$$M = t_2/t_1 = \exp[(-E_a/R)(1/T_2 - 1/T_1)], \quad (122)$$

где: M — временной коэффициент ускорения;

t_2, t_1 — медианный ресурс объекта при температуре T_2 и T_1 соответственно;

E_a — средняя энергия активации в температурном интервале $T_2 + T_1$.

Последняя формула справедлива только в случае, если в объекте протекает процесс, характеризующийся постоянной в интервале $T_2 + T_1$ энергией активации. Иными словами, проведение форсированных испытаний обоснованно физически, если старение объекта в номинальном и форсированном режимах обусловлено одним и тем же процессом ($E_a = \text{const}$). На практике при увеличении нагрузки с целью сокращения продолжительности испытаний различные процессы, приводящие к отказу, ускоряются существенно по-разному.

Очевидно, в случае закона распределения Вейбулла требование сохранения при форсировании режима вида закона распределения отказов можно сформулировать так: в форсированном и номинальном режимах параметр формы распределения должен иметь одно и то же значение, что свидетельствует о сохранении характера отказов (соблюдении автоматичности процесса отказов).

Установлено, что эффективность прогона аппаратуры, имеющей вейбулловское распределение моментов наступления отказов, целесообразно если параметр формы распределения меньше единицы. Чем меньше s , тем эффективнее прогон. С ростом параметра формы эффективность снижается и становится равной нулю в случае экспоненциального распределения ($s = 1$). Эти выводы также имеют статистико-физический смысл.

Возвращаясь к вопросу физико-статистического анализа надежности, отметим, что эффективен метод на основе смеси распределений экспоненциального и Вейбулла. Результаты исследования надежности в эксплуатации телевизионного клистрона КУ-318 показывают, что даже при относительно небольших массивах (несколько десятков) исходных данных удается получить устойчивые выводы и дать их статистико-физическую интерпретацию.

В результате оценки параметров формулы (118) по данным об отказах в начальный период эксплуатации функция надежности клистрона КУ-318 записывается в виде:

$$P(t) = 0,85 \exp\left(-\frac{t}{5100}\right) + 0,15 \exp\left(-\frac{t}{11000}\right)^{1,2}, \quad (123)$$

Значения параметров в последнем выражении свидетельствует о том, что доля деградационных отказов при эксплуатации клистрона КУ-318 невелика и достигнутые к тому времени показатели надежности и максимальные наработки не характеризуют ресурсные возможности прибора.

В результате обработки данных эксплуатации клистрона КУ-318 за последующие годы составлено новое выражение для функции надежности:

$$P(t) = 0,56 \exp\left(-\frac{t}{5950}\right) + 0,44 \exp\left(-\frac{t}{22300}\right)^{2,8}. \quad (124)$$

Сравнивая значения параметров в выражениях (123) и (124), легко установить, что доля внезапных отказов существенно снизилась, а средняя наработка изделий, вышедших из строя вследствие естественного старения, возросла более чем в два раза. Высокое значение параметра формы — 2,8 свидетельствует о том, что прибор вырабатывает свой естественный ресурс.

Следующим этапом статистико-физического анализа надежности клистрона КИУ-12 было составление уравнения надежности исходя из смеси распределений экспоненциального и распределения Вейбулла. Получено выражение для функции надежности клистрона КИУ-12 по данным об отказах, происшедших в процессе эксплуатации:

$$P(t) = 0,03 \exp\left(-\frac{t}{800}\right) + 0,97 \exp\left(-\frac{t}{9500}\right)^{2,5}. \quad (125)$$

На основании полученных выражений можно высказать такие «физические» выводы относительно эксплуатационной надежности изделия КИУ-12:

- доля приборов, теряющих работоспособность в результате каких-либо скрытых дефектов, не превышает нескольких процентов (по значению $C = 0,03$);
- отказы изделий, содержащих скрытые дефекты, распределены во времени экспоненциально со средней наработкой 800 ч. ($T_1 = 800$);
- средняя наработка приборов, отказывающихся вследствие естественного износа, может быть определена по формуле (33) и составляет 8430 ч. (рассчитывается по T_2 и s), что соответствует ожидаемому ресурсу прибора (значение параметра формы характеризует распределение деградационных отказов).

Результат статистико-физического анализа хорошо согласуется с данными технического анализа причин и характера отказов, что свидетельствует о работоспособности метода.

Аналогичная задача решается в эконометрике, где она ставится как анализ моделей с переменной структурой. В случае смеси двух распределений говорят о бинарных переключениях — в выборке имеются только обычные наблюдения и выбросы.

$$f(x) = (1 - \epsilon)f_0(x) + \epsilon f_1(x). \quad (126)$$

Предполагается, что с некоторой малой вероятностью ϵ в выборке наблюдений могут появляться «выбросы». Задача состоит в том, чтобы разделить выборку на подвыборки обычных наблюдений и «выбросов». С этой точки зрения параметр C представляет собой «выброс» и должен иметь по возможности малое значение. Здесь, по нашему мнению, уместно вспомнить теорию вариабельности Шухарта, а также о двух видах причин (общих и особых), характеризующих значение вариабельности.

Очевидно, что значение параметра C для процесса производства в управляемом состоянии должно быть как можно меньше. Вопрос о том, какое максимальное значение C можно считать допустимым для процесса, находящегося в управляемом состоянии, пока оставим открытым, но думаем, что понимание связи статистико-физического подхода и теории вариабельности позволит глубже анализировать надежность технических изделий и в конечном счете эффективнее управлять их качеством.

Вопросы для самопроверки

1. Дайте определение модели надежности и модели отказов. Какие модели отказов приводят к равномерному, экспоненциальному, гамма, нормальному и логарифмически-нормальному распределениям?
2. При приобретении изделия, имеющего экспоненциальное распределение времени безотказной наработки, какой образец выгоднее купить — новый или уже отработавший определенное время?
3. При приобретении изделия, имеющего логарифмически-нормальное распределение времени безотказной наработки, какой образец выгоднее купить — новый или уже отработавший определенное время? Тот же вопрос для случая, когда ресурс изделия имеет нормальное распределение.
4. Имеется резервированная система, состоящая из основного и четырех резервных элементов. При отказе основного элемента в работу немедленно включается первый из резервных, при отказе первого резервного — второй и т.д. Каким законом следует описать надежность системы, если известно, все элементы имеют экспоненциальное распределение времени до отказа, а ненадежностью переключателей можно пренебречь?
5. Имеется изделие с экспоненциальным распределением отказов ($\lambda = 8,0 \times 10^{-3}$, $1/4$). Найти среднюю наработку на отказ, 90% ресурс и вероятность безотказной работы изделия в течение 12 ч.

6. Вероятность безотказной работы изделия с экспоненциальным законом надежности в течение 120 ч. составляет 0,9. Рассчитать интенсивность отказов, среднюю наработку на отказ и 90% ресурс.
7. В каком случае вероятность безотказной работы на время равное средней наработке до отказа выше: при экспоненциальном или нормальном распределении времени безотказной работы?
8. Дайте определение композиции распределений и смеси распределений.

15. О ПЕРСПЕКТИВНЫХ МЕТОДАХ УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ

Невозможно решить проблему на том же уровне, на котором она возникла. Нужно стать выше этой проблемы, поднявшись на следующий уровень.

А. Эйнштейн

15.1. Развитие систем менеджмента и промышленные революции

Массовый переход от ручного труда к машинному, от мануфактуры к фабрике принято называть промышленной революцией. Ее основным следствием являлась *индустриализация* — переход от аграрной экономики к промышленному производству. Считается, что период, когда происходили эти изменения в разных странах, начался во второй половине XVIII в. и продолжался в течение первой половины XIX в.

Начало промышленной революции связывают с изобретением в 1760-е гг. шотландским теплотехником Джеймсом Уаттом (*James Watt*; 1736–1819) универсального парового двигателя. Уже в самом начале XIX века в Великобритании появились первые паровозы и началось быстрое строительство железных дорог, а в США в это же время стали широко использоваться пароходы.

Американский экономист Дэвид Лэндис (*David S. Landes*, 1924–2013) ввел в широкое употребление понятие «Вторая промышленная революция» для периода со второй половины XIX в. по начало XX в., характеризовавшимся массовым освоением поточного производства, внедрением конвейера, широким применением электричества и химикатов. В конце эпохи второй промышленной революции появился классический менеджмент.

Последующие трансформации производственного уклада также называют промышленными революциями. Третья промышленная революция началась в 1960-е гг., и ее обычно называют компьютерной

или цифровой, она связана с распространением микроэлектроники, использованием сначала больших, а потом и персональных ЭВМ и интернета. Она характеризуется применением в производстве информационно-коммуникационных технологий, способствовавших формированию постиндустриального общества.

В 2010-е гг. началась четвертая промышленная революция, опирающаяся на цифровые технологии, искусственный интеллект и обучающиеся машины [87]. С ней связывается разработанная в Германии программа *Industrie 4.0*, в которой крупные немецкие концерны при поддержке Федерального правительства создают полностью автоматизированные производства, линии и изделия на которых взаимодействуют друг с другом и потребителями в рамках концепции «Интернета вещей», за счет чего обеспечивается выпуск индивидуализированной продукции. В широком смысле индустрия 4.0 — новый индустриальный этап, на котором материальный мир соединяется с виртуальным, в результате чего рождаются новые киберфизические комплексы, объединенные в одну цифровую экосистему

Успех бизнеса во многом зависит от потребителя. До середины XX в. производитель определял, что нужно покупателю, а последний должен был верить рекламе.

В Японии первыми уловили начало новой экономической эпохи, в которой желание покупателя приобретать не то, что ему предлагает поставщик, а то, что он хотел бы иметь. В работе [21] выделены пять шагов подхода, связанного с «Бережливым производством»: определить, что есть ценность для клиента, организовать поток создания ценности, организовать движение этого потока, создать механизм вытягивания, непрерывно совершенствовать созданную систему («кайдзен»).

Появилось понятие «активное предприятие» (*agile enterprise*) — предприятие, энергично осуществляющее перемены. Активным можно считать такое предприятие, организационная структура и процессы администрирования которого способны быстро и гибко перестраиваться с учетом необходимости действовать в интересах потребителей. Одна из первых монографий об *Agile* была опубликована в октябре 1994 г. [Goldman S. L., Nagel R. N., Preiss K. *Agile Competitors and Virtual Organizations: Strategies for Enriching the Customer*. New York: Van Nostrand Reinhold, 1994. 414 p.].

В работе [22] сформулированы принципы «живучего производства»:

1. Решите мою проблему полностью.
2. Не транжирьте мое время.
3. Дайте мне именно то, что я хочу.
4. Доставьте ценность туда, куда я хочу.
5. Решайте мою проблему тогда, когда я хочу.

6. Дайте мне то решение, которое я на самом деле хочу.

7. Решайте мою полную проблему постоянно, не перегружая меня принятием решений.

А вот как описываются в той же монографии перемены самого рынка:

1. Фрагментация рынка.

2. Производство партий продукции любого объема в соответствии с заказом.

3. Индивидуальная обработка данных потребителей.

4. Ограничение времени жизни продукции.

5. Сближение продукции и услуги.

6. Глобальные производственные цепи.

7. Внутри компании одновременно и сотрудничество, и конкуренция.

8. Инфраструктура доставки для массы индивидов.

9. Безумная реорганизация корпорации.

10. Давление внутренних социальных ценностей.

Таким образом, рынок теперь имеет дело не с абстрактным клиентом, а с конкретным человеком. В результате возникает необходимость постоянной реорганизации, особенно когда одновременно протекают много разных проектов и их число постоянно меняется.

В работе [Li Jin-Hai, Anderson A. R., Harrison R. T. The evolution of agile manufacturing // Business Process Management Journal. 2003. Vol. 9. No 2. P. 170—189] замечено, что в последовательности — массовое производство, производство под заказ, — «живучее» производство, неопределенность быстро нарастает. Это проявляется, в частности, в определении спроса до начала производственного цикла. При массовом производстве спрос можно считать практически детерминированным. В бережливом производстве прогноз спроса становится вероятностным, поскольку снижение расходов связано с сокращением запасов.

При массовом производстве чем больше сделано, тем меньше себестоимость единицы продукции. При бережливом производстве экономия зависит не от объема, а от сокращения запасов и ликвидации скрытого брака, что ведет к резкому снижению объемов незавершенного производства. Для успешной работы теперь нужен надежный прогноз спроса. Если ошибка прогноза велика, то система перестает работать. Как только спрос станет хаотичным, приход живучего производства неизбежен.

К другим особенностям «живучего производства» относятся:

- построение ключевых компетенций;
- поставка индивидуализированных продуктов;
- синтез разнообразных технологий;
- внутренняя и внешняя интеграция.

«Живучесть» невозможна без широкого использования информационных технологий, что закреплено в феврале 2001 года в провозглашенном тогда манифесте. В статье [Оуэн Р., Коскела Л., Гильерме Х., Кудиньогу Р. Применимо ли живучее управление в строительстве? // Менеджмент качества. 2008. № 4. С. 382–394; 2009. № 1. С. 18–24] рассмотрены возможности применения в строительстве бережливого производства, «живучего» производства и их многочисленных гибридов.

Цель *Lean* и *Agile* — повышение результативности организации. Оба метода могут применяться только в рамках процессного подхода. Естественно, ожидать появления разнообразных гибридных систем. А в целом менеджмент качества можно будет рассматривать как раздел кибернетики — науки об оптимальном управлении. «Цифровизация, *Lean* и *Agile* должны быть не целью, а средством последовательного совершенствования (в конечном счете оптимизации) менеджмента, управления техническими объектами, производством товаров, услуг и жизни общества» [86].

В 1957 г. Дж. Бокс опубликовал первую работу, открывшую эру планирования промышленных экспериментов [Box G. E. P. Evolutionary Operation: A Method of Increasing Industrial Productivity // Applied Statistics. 1957. V. 6. No 2. P. 81–101]. Появилась возможность оптимизации технологических режимов в реальном времени в условиях производства и сам производственный процесс стал источником информации для его улучшения [28, 29]. Концепция управления качеством цифрового производства должна строиться на механизмах интеллектуального управления бизнес-процессами с использованием современных информационных систем, позволяющих собирать, сохранять, обрабатывать и анализировать большие объемы разнородных данных.

Очевидно, инструменты управления качеством должны соответствовать уровню развития технологии. Академик В. М. Глушков в 1987 г. писал: «Попытка вставить ЭВМ в традиционную технологию организационного управления эквивалентна попыткам установить ракетный двигатель на телегу или построить мощную тепловую электростанцию, в котлы которой уголь побрасывался бы лопатами» [Глушков В. М. Основы безбумажной информатики. 2-е изд., испр. М.: Наука, 1987. 552 с. С. 407].

15.2. «BIG DATA»: история, перспективы

Появившаяся техническая возможность накапливать и обрабатывать огромные количества быстро меняющейся разнородной информации на совокупности обычных персональных компьютеров открыли совершенно новые перспективы анализа и принятия решений.

Big Data — «большие данные» — в последнее время это термин стал настолько привычным, что мы не всегда задумываемся о его значении,

а также о том, чем «большие данные» отличаются от «малых» [40]. Словосочетание *Big Data*, вскоре ставшее общепринятым термином, употребил в 2008 г. Клиффорд Линч — в то время редактор одного из старейших научных журналов «*Nature*», подготовивший в сентябре специальный выпуск на тему «Как могут повлиять на будущее науки технологии, открывающие возможности работы с большими объемами данных?».

С тех пор события развиваются стремительно. Уже в следующем 2009 г. термин широко распространился в прессе, а к 2010 г. относят появление первых продуктов и решений, относящихся исключительно к проблеме обработки «больших данных». В 2011 г. исследовательская и консалтинговая компания *Gartner*, специализирующаяся на рынках информационных технологий характеризует «большие данные» как тренд номер два в информационно-технологической инфраструктуре, после виртуализации (виртуализация — методы создания изображений, диаграмм, анимации, используемых для коммуникаций, улучшения понимания самих данных и результатов их анализа).

В марте 2012 г. по инициативе издательства «Открытые системы» проведен первый в России крупный форум *Big Data 2012*, которое решено было сделать ежегодным [7]. Что же означает термин «большие данные»? «Это множество наборов данных столь объемных и сложных, что делает невозможным применение традиционных инструментов управления базами данных и приложений для их обработки. Данный термин предполагает нечто большее, чем просто анализ огромных объемов информации». С точки зрения математической статистики источниками исходной информации «больших данных» помимо традиционных являются и всевозможные результаты поиска в Интернете.

По данным *Cisco*, *IBM*, *Google* в 2012 г. в мире было сгенерировано два зетабайта или две тысячи миллиардов гигабайтов информации (1 зетабайт (ZB) = 2^{70} байт или 10^{21} бит; 1 гигабайт (GB) = 2^{30} байт или 10^9 бит), а к 2020 г. эта величина достигла 35 зетабайтов. В то же время специалисты из *Gartner* предполагают, что не более одной трети всех данных будут востребованы. Становится все более очевидным, что главная проблема не в накоплении как можно больших объемов данных, а в том, что большая их часть представлена в формате, плохо соответствующем традиционному структурированному формату баз данных, — это веб-журналы, видеозаписи, текстовые документы, машинный код. Все это хранится во множестве разнообразных хранилищ, иногда далеко (естественно, дело не только в расстоянии) за пределами организации.

В результате корпорации, имея доступ к собственным данным, из-за отсутствия необходимых инструментов, не в состоянии сделать на их основе содержательные выводы. Вспомним, что данные сейчас обновляются все чаще и чаще, и станет понятным, что традицион-

ные методы анализа информации просто не в состоянии «угнаться» за гигантскими объемами постоянно обновляемых данных, что в итоге и вызывает необходимость разработки новых технологий, соответствующих требованиям *Big Data*. Научившись генерировать большие объемы данных, передавать и хранить их, необходимо оперативно переходить к следующему этапу работы с информацией: анализу ее и выбору того, что реально помогает в достижении целей организации.

Когда термин *Big Data* в качестве характеристики огромных массивов данных, которые невозможно обработать традиционными способами, прижился, почувствовалась необходимость в «симметричном ответе» — определении *Small Data*, т. е. данных, предназначенных для решения повседневных задач, содержащих достаточно информации для ответа на поставленный вопрос или решения конкретной задачи. Руфус Полок, основатель и содиректор фонда *Open Knowledge*, критикует тех, кто переоценивает значение «больших данных». По его убеждению, для решения многих вопросов и задач вполне достаточно одних только малых данных.

Трудно сказать, кто первым употребил словосочетание *Small Data*, но хотя произошло это недавно, рядом исследователей проводится сравнительный анализ их с *Big Data*. В табл. 8 сведены ключевые отличия «малых» и «больших данных».

Таблица 8

Особенности «малых» и «больших» данных

«Малые данные» — Small Data	«Большие данные» — Big Data
Цели	
Ответ на конкретный вопрос или решение определенной задачи	Есть нечеткая цель и представление о том, что источник больших данных будет содержать и как будут структурированы и анализированы данные внутри него
Местонахождение	
Как правило, содержатся в одной компании, часто на одном компьютере и иногда в одном файле	Распространены по всей сети Интернет, обычно хранятся на нескольких серверах, расположенных в разных местах Земли
Структура и содержание	
Обычно хорошо структурированы. Область данных: одна дисциплина (категория, направление работ). Часто хранятся в виде однородных данных в таблицах	Большой объем неструктурированных данных (например, текстовые документы, изображения, фильмы, звукозаписи). Предметом могут быть сразу несколько дисциплин
Подготовка	

Окончание таблицы 8

«Малые данные» — Small Data	«Большие данные» — Big Data
Обычно те, кто готовит данные, их и используют	Данные поступают из многих источников и используются людьми, не принимавшими участия в их подготовке
Срок хранения	
Хранятся в течение ограниченного периода времени (не более семи лет), а затем архивируются	Данные хранятся неограниченное время
Измерение	
Как правило, данные измерены одним экспериментальным протоколом	Данные поступают в разных электронных форматах, могут быть измерены разными протоколами
Воспроизводимость	
Если есть сомнения в качестве данных, то проект может быть повторен для получения новых данных	Тиражирование данных большого проекта практически невозможно
Стоимость	
Стоимость проекта ограничена. Компания, как правило, может оправиться от случайного провала	Проекты стоят дорого. Некачественные данные могут привести компанию к банкротству
Идентификация	
Каждая единица данных идентифицируется по строке и столбцу	Для анализа применяются машинные алгоритмы
Анализ	
Обычно все данные проекта могут быть проанализированы сразу и в полном объеме	Данные анализируются поэтапно (за исключением машинного анализа одновременно на нескольких компьютерах)

Технические признаки, характеризующие «большие данные» легко запомнить, используя мнемонический прием «*пять V*»:

- *Volume* — физический объем, т. е. накопленная база данных;
- *Velocity* — скорость прироста и необходимость высокоскоростной обработки и получения результатов;
- *Variety* — возможность одновременной обработки различных типов структурированных и неструктурированных данных. Структурированная информация — информация, которая может быть классифицирована, например, информация о клиентских сделках («*transactions*»). Неструктурированная информация включает в себя видео, аудио файлы, текст, и информацию, поступающую из социальных сетей;

- *Value* — ценность накопленной информации. «Большие данные» должны быть полезны компании и приносить определенную ценность;
- *Veracity* (достоверность) — все большее значение пользователи стали придавать значимость достоверности имеющихся данных.

Иногда признаков больше пяти, в этом случае можно добавить еще «три V», доведя их общее число, таким образом, до восьми: *Viability* — жизнеспособность, *Variability* — перемешиваемость, *Visualization* — наглядность данных, т. е. представление их в виде понятных картинок.

Не без интереса отметим, что по оценке специалистов 80% информации входит в группу неструктурированной. Нет ли в этом еще одного проявления закона Парето — «принципа 80/20», распространяющегося на самые разные области человеческой деятельности.

Практический вопрос связан с методами анализа, применяемыми при работе с «большими данными», важнейшие среди которых: A/B тестирование (*A/B Testing*), классификация (*Classification*), кластерный анализ (*Cluster Analysis*), краудсорсинг (*Crowdsourcing*), интеграция данных (*Data Fusion and Data Integration*), машинное обучение (*Machine Learning*), искусственные нейросети (*Neural Networks*), сетевой анализ (*Network Analysis*), регрессионный анализ (*Regression*), визуализация (*Visualization*).

Название перечисленных методов показывает, что «большие данные» опираются на инструменты, создававшиеся на протяжении многих десятилетий. В то же время очевидно, что в процессе адаптации этих методов к задачам «больших данных» будут появляться новые способы анализа.

Задачи, для решения которых можно применять технологии *Big Data*, есть практически в каждой отрасли: финансовый сектор, розничные продажи, нефтегазовая отрасль, госсектор, производство, энергетика, медицина, наука. Многие из них — межотраслевые, связанные с аналитикой, прогнозированием конъюнктуры рынка и конкурентоспособности. Например, для финансового сектора — все то, что связано с работой с клиентами: персонализация услуг, анализ сделок и моделей потребления. В производстве «большие данные» помогают в прогнозировании технологических и экономических показателей, в управлении техобслуживанием и ремонтами оборудования. Решение этих задач было доступно и раньше с помощью методов, используемых для бизнес-аналитики.

Что же принципиально нового принесли «большие данные»? Во-первых, способность анализировать всю совокупность данных, а не какую-то их часть или выборку. В традиционных методах анализа данных уже заложена готовность к неполноте, недостаточной обоснованности выводов. В этой связи можно упомянуть весьма популярный

термин «статистическая погрешность». Во-вторых, готовность работать с неупорядоченными данными. В-третьих, новый подход к оценке данных, т. е. вместо отслеживания причин более важным может оказаться: выявление типичного, повторяющегося (мы не сможем обработать все данные, но изучим их настолько, чтобы найти скрытые закономерности и корреляции).

Высказывается мнение, что рынок «больших данных» в ближайшие годы будет расти в среднем на 30% ежегодно, и дело тут не только в скорости обработки данных, а в качестве информации, которую предоставляют эти технологии. Очевидно, что производственная цепочка полностью зависит от качества и актуальности доступных данных. «Большие данные» позволят расширить возможности производственных систем и обеспечить как сокращение расходов на производство, так и ускорение освоения новых изделий и оптимальную организацию цепочек поставок и управления трудовыми ресурсами. Возможные направления использования «больших данных» в производственной цепи.

1. Исследования, разработка и дизайн продуктов. Использование «больших данных» позволит ускорить производственный процесс, учесть пожелания потребителя, сократить стоимость разработки. В перспективе учет потребностей рынка постепенно заменится на учет потребностей отдельных потребителей.

2. Производство. Процессы изготовления вступили в так называемую фазу «цифровая фабрика», т. е. разработанная цифровая модель продукта трансформируется в технологическую модель, пригодную для материализации на установках обработки и синтеза материалов, механической обработки деталей. Такой подход в производстве изделий электронной техники позволяет добиться сокращения общих затрат, достигающих 60%, благодаря мониторингу, автоматизации, синхронизации всех процессов, технических и организационных систем.

3. Маркетинг, процесс продаж и послепродажная поддержка. Поступающие от потребителей данные, отзывы и технические отчеты позволяют влиять на будущие направления разработок, определять потенциальных покупателей, обеспечивать своевременное обслуживание и модернизацию уже проданного и установленного оборудования.

В целом сбор и практическое применение «больших данных» позволит производственному сектору экономики выйти на новый уровень качества и производительности. Разумеется, компании не смогут в полной мере воспользоваться преимуществами «больших данных», если они не в состоянии эффективно управлять изменениями. В процессе перехода на «большие данные» важное значение имеет следование основополагающим принципам *TQM* (Всеобщего управления на основе качества), в частности:

1. Лидерство руководителя.

Компании добиваются успеха в области «больших данных» не просто потому, что они имеют более точные данные, а потому, что у них есть лидеры, которые устанавливают четкие цели, понимают, как развивается рынок, предлагают действительно новые предложения.

2. Вовлечение персонала и повышение квалификации сотрудников.

Особое внимание необходимо уделить уровню базовой подготовки участников проекта внедрения, т. к. технологии *Big Data* сложны (многие из ключевых методов для использования «больших данных» редко преподаются в традиционных курсах статистики) и характеризуются множеством различных взаимосвязей.

3. Принятие решений, основанных на фактах.

В эпоху «больших данных» информация создается, передается и анализируется. «Большие данные» не имеют смысла, если на их основе нельзя быстро и обоснованно принять решение. В условиях промышленного предприятия основное преимущество *Big Data* заключено в возможности интеграции накопленной информации с неструктурированными данными (так называемыми *Dark Data*) и получении новых полезных знаний при помощи структурного анализа, многофакторных алгоритмов и прочих техник бизнес-исследований, а также в ускорении обработки потоков данных от промышленного оборудования, инфраструктуры, транспортных средств.

Экономический эффект от внедрения решений класса *Big Data* оценивается в тех же критериях, что и в других бизнес-проектах: появление новых и усовершенствование имеющихся бизнес-процессов, снижение издержек и повышение прибыльности, формирование конкурентных преимуществ и окупаемость инвестиций.

15.3. Основные направления в развитии систем управления качеством в условиях четвертой промышленной революции

Рассмотренные в разделе 9 простые инструменты контроля качества основаны на анализе численных данных, что соответствует одному из принципов *TQM* — «принятие решений, основанных на фактах». Однако факты далеко не всегда могут быть выражены числами. В связи с этим путем анализа различного рода данных, представленных, например, в виде словесных описаний (вербальная информация), которые нужно преобразовать в поддающуюся интерпретации форму для принятия обоснованного решения, были разработаны **семь новых инструментов планирования качества**:

- диаграмма сродства (Affinity Diagram);
- диаграмма (график) связей (Interrelationship Diagram);
- древовидная диаграмма (дерево решений) (Tree Diagram);
- матричная диаграмма, или таблица качества (Matrix Diagram or Quality Table);
- матрица приоритетов (анализ матричных данных) (Matrix Data Analysis);
- стрелочная диаграмма (сетевой график) (Arrow Diagram);
- поточная диаграмма процесса и блок-схема процесса принятия решения (Process Decision Program Chart, PDPC).

Эти инструменты позволяют совершенствовать процесс планирования и оперативно принимать оптимальные решения. Исходные данные для них обычно получают с помощью мозговых атак, штурмов и осад, по итогам которых собранную информацию анализируют, группируют и, на их основе составляют различные диаграммы.

Новейшими инструментами управления качеством принято называть приемы, получившие распространение сравнительно недавно, хотя некоторые из них известны с давних времен:

- структурирование (развертывание) функции качества (Quality Function Deployment, QFD);
- бенчмаркинг;
- анализ видов и последствий отказов (Failure Mode and Effects Analysis, FMEA);
- анализ деятельности подразделения;
- система «ноль дефектов»;
- система «точно вовремя» (бережливое производство);
- функционально-стоимостной анализ (Activity Based Costing, ABC).

Особенность этих инструментов заключается в том, что они основаны на системном подходе к управлению качеством и для их применения формируется команда и выбирается ведущий. При правильно построенной (системной) работе результат командной деятельности выше, чем сумма индивидуальных достижений (в этом проявляется синергетический эффект — главная ценность командной работы). Новые и новейшие инструменты управления качеством подробно рассмотрены в учебном пособии [42].

Общепризнано, что управление качеством при разработке и производстве сложных систем невозможно без применения системного подхода, автоматизации всей деятельности и эффективного анализа огромного массива данных. Поэтому следующим шагом в развитии методологии управления качеством при цифровом производстве должно стать, на наш взгляд, применение методов искусственного интеллекта — инструментов, которые мы предлагаем назвать «**интеллектуальными**». Их также семь:

- нечеткая логика;

- машинное обучение (Machine Learning) (включая нейронные сети);
- анализ больших данных (*Big Data*);
- теория игр;
- имитационное моделирование (цифровое моделирование, многоагентное моделирование);
- эволюционные алгоритмы;
- экспертные системы и системы поддержки принятия решений.

Основываясь на анализе огромного количества разнородных данных, инструменты искусственного интеллекта позволяют строить модели прогнозирования, структурировать данные, оптимизировать расход ресурсов, планировать график работ, выявлять разного рода аномалии и многое другое [85].

Приведем примеры применения интеллектуальных инструментов при решении задач, возникающих в управлении бизнес-процессами.

Нечеткая логика:

- принятие решений в условиях неопределенности при организации процессов управления;
- анализ требований сторон и оценка прибыльности договора при проведении маркетинговых исследований;
- оценка и выбор поставщика.

Машинное обучение (включая нейронные сети):

- стратегическое и оперативное планирование процессов управления;
- планирование и контроль стадий разработки и проектирования;
- планирование запаса комплектующих с использованием регрессионного анализа.

Анализ больших данных — возможные пути использования рассмотрены в подразделе 15.2.

Теория игр:

- планирование внутренних аудитов;
- принятие решения при недостатке информации.

Имитационное моделирование:

- планирование и контроль этапов разработки;
- анализ надежности;
- производственные испытания.

Эволюционные алгоритмы:

- выбор оптимального маршрута при транспортировке продукции;
- планирование производства.

Экспертные системы и системы поддержки принятия решений:

- принятие решения в условиях неопределенности;
- планирование производства;
- оценка и выбор методов транспортирования.

Интеллектуальные инструменты — вершина системы управления качеством цифрового производства, и их эффективное применение возможно лишь при соответствующем оснащении предприятия современными цифровыми технологиями.

На *уровне организации производства* интеллектуальные инструменты управления качеством используются для мониторинга и управления технологическими процессами. При высокой цифровизации интеллектуальное управление технологическими процессами должно быть полностью автоматизировано. На *уровне управления предприятием* применение интеллектуальных инструментов управления качеством наименее автоматизировано и связано с принятием управленческих решений различной сложности. Предполагается, что в основном интеллектуальные методы управления качеством будут применяться именно на этом уровне.

При внедрении интеллектуальных инструментов управления качеством в цифровое производство важно понимать, что применять их нужно системно и для решения соответствующих задач. Нет смысла их использовать в простых задачах или в тех случаях, когда нет достаточных знаний для интерпретации полученных результатов, так как можно получить обратный эффект. Возможно, в перспективе интеллектуальные методы станут универсальным «молотком», который решит все проблемы цифрового производства, но и сейчас их правильное использование в подходящих задачах может дать значительные преимущества и высокую эффективность принятых решений.

Концепция управления качеством с использованием информационных технологий и интеллектуальных инструментов обращена в будущее, которое уже на пороге.

Вопросы для самопроверки

1. Охарактеризуйте промышленные революции.
2. Сформулируйте принципы «живучего производства».
3. Что такое «Большие данные»?
4. Назовите определяющие характеристики «Больших данных».
5. Назовите основные направления использования «Больших данных» на практике.
6. Как связано применение «Больших данных» с основными принципами TQM?
7. В чем суть интеллектуальных методов управления качеством?

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Характеристики современного мира

1. Техногенность. Повышается риск искажений в системе и ее разрушения. Возникает необходимость управления рисками. По словам П. Друкера «Управление без риска — бизнес без выигрыша».

2. Глобализация. «Нахождение правильного баланса между возможностями и угрозами, порожденными глобализацией, станет жизненно важной мировой проблемой первой половины XXI века... Глобализация — это революция, которая на долгое время может воспрепятствовать устойчивому развитию на нашей планете, если ею не управлять должным образом... Проблема по сути, сводится к тому, как избежать смертельного риска слишком поспешных действий на пути глобализации неупорядоченным образом» [Конти Т. Какое качество сможет ответить на вызовы глобализации? // Стандарты и качество. 2014. № 2. С. 58].

3. Проблема управления хаосом и сложными процессами путем использования идеи Э. Деминга о системном мышлении.

4. Региональная нестабильность, которая выражается в политических конфликтах, войнах, террористических актах, массовой миграции. Вариабельность все сильнее влияет на человеческое общество, растет неопределенность. Мы живем в системе, которая становится все больше и все менее управляема.

5. Формирование нового технологического уклада, что неизменно влечет за собой изменения и в социальной, и в гуманитарной сферах.

Современные тенденции предусматривают применение компьютерных технологий при использовании статистических методов управления качеством в направлении создания компьютерной системы управления качеством на основе *CALS*-технологий (русский аналог ИПИ-технологии — информационная поддержка жизненного цикла изделия). Они предполагают создание единого информационного пространства для всех организаций, и вся информация об изделии представляется в электронном виде.

Особенности современного рынка:

- *Во-первых*, потребители взяли в свои руки контроль на рынке. Они намного лучше осведомлены о своем положении на рынке и о возможностях выбора продукции, которые у них имеются.
- *Во-вторых*, сформировались новые ожидания относительно предлагаемых потребителям товаров и услуг. Потребляемой становится продукция, которая адаптирована к определенным нуждам конкретного потребителя и доставляется наиболее подходящим способом в момент, установленный потребителем.
- *В-третьих*, существенно изменились средства производства и технологии, а среди последних — прежде всего информационные. Информационные технологии — это не только база многих других важных технологий (вычислительных, коммуникационных, робототехники, распределенных баз данных и пр.), но и способ, с помощью которого информация, предлагается потребителю.

Необходимо переосмыслить способы организации бизнеса и использовать принципиально иной подход, который позволит в полной мере реализовать преимущества новых технологий и человеческих ресурсов. Этот подход — основа инжиниринга бизнеса (бизнес-процессов), наиболее важным направлением которого является реинжиниринг, или перестройка существующих компаний.

Раньше система качества представляла собой набор бумажных документов от политики в области качества до конкретных инструкций и контрольных карт. Теперь — это информационная система сбора, регистрации, хранения и обработки данных о качестве, она представляет интегрированную информационную среду. Все процессы жизненного цикла изделия отображаются в ней посредством информационных объектов, каждый из которых обладает набором характеристик (атрибутов), описывающих свойства реального объекта.

Эффективность СМК базируется на трех основах:

- технологии электронного управления;
- технологии интегрированной логистической поддержки;
- компьютерной технологии менеджмента качества, предусматривающей ведение компьютерной системы анализа причин и стоимости устранения отказов элементов, деталей, комплектующих изделий, узлов и продукции в целом на всех этапах ее жизненного цикла. Сюда же входит и создание, и ведение «электронного паспорта» качества каждой единицы продукции.

И все же остается вопрос: догонит ли Россия передовые страны, произойдет ли у нас экономическое чудо? Когда-то Э. Деминг на аналогичный вопрос, когда США догонит Японию ответил так:

«Это актуальный, но неверно поставленный вопрос, порожденный непониманием. Разве японцы будут сидеть сложа руки и ждать, пока их кто-то догонит? Как можно настичь того, кто все время набирает скорость? Теперь-то мы знаем, что недостаточно просто обороняться от конкурентов. Те, кто надеется обойтись «возведением бастионов», уже проиграли. Нам надо в конце концов стать лучше, и мы в состоянии подняться. Но на это уйдут десятилетия» [46, с. 143].

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Адлер Ю. П., Липкина В. В.* Лидерство как механизм постоянного обеспечения конкурентоспособности // Стандарты и качество. 2000. № 10. С. 14–22.
2. *Адлер Ю. П.* Восемь принципов, которые меняют мир // Стандарты и качество. 2001. № 5, 6. С. 49–61.
3. *Адлер Ю. П., Шпер В. Л.* Истоки статистического мышления // Методы менеджмента качества. 2003. № 1. С. 34–40.
4. *Адлер Ю. П., Шпер В. Л.* Статистическое управление процессами: учебное пособие. М.: Изд. Дом МИСиС, 2015. 236 с.
5. *Адлер Ю. П., Шпер В. Л.* Учение Деминга и его судьба // Стандарты и качество. 2015. № 6. С. 98–102.
6. *Адлер Ю. П.* Менеджмент в меняющемся мире // Стандарты и качество. 2019. № 8. С. 105–109.
7. *Адлер Ю. П., Черных Е. А.* Статистическое управление процессами. «Большие данные»: учеб. пособие. М.: Изд. Дом МИСиС, 2016. 52 с.
8. *Адлер Ю.* Зачем менеджеру контрольная карта Шухарта // Методы менеджмента качества. 2018. № 7. С. 30–34.
9. *Аронов И., Штерн Л.* Стандарты 9000 в жизни. Рисованный комментарий к ГОСТ Р ИСО 9001-2001 «Системы менеджмента качества. Требования». М.: Книжный дом Университет, 2001. 96 с.
10. *Аронов И. З.* Управление качеством: сборник стратегических и системных задач и упражнений: учеб. пособие. М.: МГИМО-Университет, 2018. 130 с.
11. *Аронов И., Дудко В.* К вопросу определений понятий «верификация» и «валидация» // Стандарты и качество. 2014. № 1. С. 90–94.
12. *Аронов И., Рыбакова А., Саламатов В.* Нотификация органов по сертификации. Ч. 1 // Стандарты и качество. 2017. № 7. С. 28–32.
13. *Базовский И.* Надежность. Теория и практика / пер. с англ. М.: Мир, 1965. 374 с.
14. *Барлоу Р., Прошан Ф.* Математическая теория надежности / пер. с англ. М.: Сов. радио, 1969. 488 с.

15. *Белобрагин В. Я.* Качество. Введение в науку об управлении качеством: учебное пособие. М.: Стандарты и качество. 2013. 468 с.
16. *Белобрагин В. Я., Зажигалкин А. В., Зворыкина Т. И.* Основы стандартизации: учебное пособие. 2-е изд., дополненное. М.: Стандарты и качество, 2017. 516 с.
17. *Беляев Ю. К., Гнеденко Б. В., Ушаков И. А.* О развитии теории массового обслуживания и теории надежности в СССР // Техническая кибернетика. 1977. № 5. С. 69–87.
18. *Бенделл Т.* Наставники по качеству: сборник кратких очерков о самых знаменитых зарубежных деятелях в области качества. М.: Стандарты и качество, 2000 // Дом качества. Вып. 8. 48 с.
19. *Благовецкий Ю. Н.* Тайны корреляционных связей в статистике: монография. М.: Научная книга; ИНФРА-М, 2009. 158 с.
20. *Вальд А.* Последовательный анализ. М.: Физматгиз, 1960. 325 с.
21. *Вумек Дж. П., Джонс Д. Т.* Бережливое производство: как избавиться от потерь и добиться процветания вашей компании / пер. с англ. М.: Альпина Бизнес Букс, 2004. 473 с.
22. *Вумек Дж., Джонс Д.* Бережливое обеспечение: Как построить эффективные и взаимовыгодные отношения между поставщиками и потребителями / пер. с англ. М.: Альпина Бизнес Букс, 2006. 264 с.
23. *Герцбах И. Б., Кордонский Х. Б.* Модели отказов. М.: Сов. Радио, 1966. 166 с.
24. *Гличев А. В., Панов В. П., Азгальдов Г. Г.* Что такое качество? М.: Экономика, 1968.
25. *Гличев А. В.* Основы управления качеством продукции. М.: АМИ, 1998. 356 с.
26. *Гличев А. В.* Качество. Эффективность. Нравственность. М.: Премиум Инжиниринг, 2009. 356 с.
27. *Гнеденко Б. В., Ушаков И. А.* Современная теория надежности: состояние, проблемы, перспективы // Надежность и контроль качества, 1989, № 1. С. 6–22.
28. *Горский В. Г., Адлер Ю. П.* Планирование промышленных экспериментов (Модели статики). М.: Metallургия, 1974. 264 с.
29. *Горский В. Г., Адлер Ю. П., Талалай А. М.* Планирование промышленных экспериментов (Модели динамики). М.: Metallургия, 1978. 112 с.
30. *Гродзенский С. Я.* Рациональные планы испытаний промышленных изделий на надежность. М.: Знание, 1981. 56 с.
31. *Гродзенский С. Я.* Проблемы оценки и контроля надежности: история и современность // Надежность и контроль качества. 1992. № 3. С. 3–9.

32. *Гродзенский С. Я.* Инжиниринг качества: учеб. пособие / МИРЭА. М., 2008. 120 с.
33. *Гродзенский С. Я., Демина Т. А.* Об одном способе сравнения эффективности параметрических и непараметрических критериев оценки показателей надежности // *Метрология*. 2008. № 6. С. 3–7.
34. *Гродзенский С. Я.* Всеобщее управление качеством: учеб. пособие / МИРЭА. М., 2010. 116 с.
35. *Гродзенский С. Я.* Статистические методы контроля и управления качеством: учеб. пособие. 2-е изд. / МИРЭА. М., 2011. 140 с.
36. *Гродзенский С. Я., Гродзенский Я. С.* Об эффективности применения семи простых инструментов качества // *Методы менеджмента качества*. 2012. № 2. С. 46–49.
37. *Гродзенский С. Я., Гродзенский Я. С., Полякова Ю. С.* Количественная оценка параметров качества продукции с использованием простых инструментов контроля качества // *Метрология*. 2012. № 4. С. 36–41.
38. *Гродзенский С. Я.* Менеджмент качества: учеб. пособие. М.: Проспект, 2015. 200 с.
39. *Гродзенский С. Я.* Физико-статистические методы исследования надежности электронных приборов: Обзоры по электронной технике. Сер. 1, Электроника СВЧ. М.: ЦНИИ «Электроника». 1990. Вып. 14(1580).
40. *Гродзенский С. Я., Калачева Е. А.* Большие данные: история, перспективы, потенциал // *Стандарты и качество*. 2017. № 8. С. 64–67.
41. *Гродзенский С. Я., Гродзенский Я. С., Калачева Е. А., Овчинников С. А., Чесалин А. Н.* Обеспечение качества продукции: из глубины веков до наших дней: монография. М.: МИРЭА (РТУ МИРЭА), 2019.
42. *Гродзенский С. Я., Гродзенский Я. С., Чесалин А. Н.* Средства и методы управления качеством: учеб. пособие. М.: Проспект, 2019. 128 с.
43. *Гродзенский Я. С., Чесалин А. Н.* Различение гипотез о величине масштабного параметра распределения Вейбулла методом последовательного анализа // *Датчики и системы*. 2015. № 8. С. 3–8.
44. *Гродзенский Я. С.* Управление качеством поставщиков // *Научные технологии*. 2018. Т. 19. № 8. С. 41–45.
45. *Деминг Э.* Лекция перед японскими менеджерами в 1950 году // *Методы менеджмента качества*. 2000. № 10. С. 24–29.
46. *Деминг Э.* Выход из кризиса: новая парадигма управления людьми, системами и процессами / пер. с англ. М: Альпина Бизнес Букс, 2009. 419 с.
47. *Детмер У.* Теория ограничений Голдратта: Системный подход к непрерывному совершенствованию / пер. с англ. 2-е изд. М.: Альпина Бизнес Букс, 2008. 444 с.

48. *Джордж М. Л.* Бережливое производство + шесть сигм: комбинируя качество шести сигм со скоростью бережливого производства, 3-е изд. М.: Альпина Бизнес Букс, 2007. 359 с.
49. *Дзедик В. А., Езрахович А. Я., Латышев М. С., Сулягин М. В.* Применение и аудит системы менеджмента качества в соответствии с требованиями ISO 9001:2015 и СТО Газпром 9001:2018. М.: Газпром корпоративный институт, 2018. 462 с.
50. *Друкер П. Ф.* Задачи менеджмента в XXI веке / пер. с англ. М.: Вильямс, 2000. 272 с.
51. *Езрахович А.* Стандарты на системы менеджмента должны основываться на реальных процессах организации // *Методы менеджмента качества*. 2018. № 10. С. 8–11.
52. *Езрахович А.* Качество организации и здравый смысл стандарта ISO 9001:2015. Часть 1 // *Методы менеджмента качества*. 2019. № 2. С. 34–37.
53. *Езрахович А.* Качество организации и здравый смысл стандарта ISO 9001:2015. Часть 2 // *Методы менеджмента качества*. 2019. № 3. С. 48–52.
54. *Езрахович А.* Качество организации и здравый смысл стандарта ISO 9001:2015. Часть 3 // *Методы менеджмента качества*. 2019. № 6. С. 20–25.
55. *Ивченко Г. И., Медведев Ю. И.* Введение в математическую статистику. 2-е изд., испр. и доп. М.: ЛЕНАНД, 2017. 608 с.
56. *Имаи М.* Гемба кайдзен. Путь к снижению затрат и повышению качества. М.: Альпина Паблишер, 2010. 336 с.
57. *Имаи М.* Кайдзен. Ключ к успеху японских компаний. М.: Альпина Паблишер, 2014. 274 с.
58. *Исаев Л. К., Малинский В. Д.* Обеспечение качества: стандартизация, единство измерений, оценка соответствия. М.: Изд-во стандартов, 2001. 274 с.
59. *Исаев С. В.* 25 правил внедрения SPC // *Методы менеджмента качества*. 2015. № 4. С. 40–43.
60. *Исикава К.* Японские методы управления качеством: сокр. / пер. с англ. М.: Экономика, 1988. 256 с.
61. *Казинцев А. В.* Шесть Сигм в России. Методика снижения потерь, дефектов, издержек. М.: Типография «Новости», 2009. 368 с.
62. *Качалов В.* Преемственность — ожидаемая и реализованная особенность стандартов ISO // *Стандарты и качество*. 2015. № 12. С. 40–42.
63. *Качество в истории цивилизации. Эволюция, тенденции и перспективы управления качеством / под ред. Дж. Джурана: в 3 т. М.: РИА «Стандарты и качество», 2004.*

64. *Кедров Б. М.* Энгельс и диалектика естествознания. М.: Политиздат, 1970. 471 с.
65. *Козлов Б. А., Ушаков И. А.* Справочник по расчету надежности аппаратуры радиоэлектроники и автоматики. М.: Сов. Радио, 1975. 420 с.
66. *Кох Р.* Принцип 80/20 / пер. с англ. М.: Эксмо, 2012. 448 с.
67. *Лapidус В. А.* Всеобщее качество (TQM) в российских компаниях. Н. Новгород: Приоритет, 2008. 432 с.
68. *Лapidус В., Цвиркунов Д.* Причины успехов и неудач в преобразованиях. Пять необходимых элементов преобразований // Стандарты и качество. 2019. № 10. С. 93–99.
69. *Маликов И. М., Половко А. М., Романов Н. А., Чукарев П. А.* Основы теории и расчета надежности. Л.: Судпромгиз, 1960. 142 с.
70. *Марин В. П., Гродзенский С. Я.* Надежность и испытания изделий радиоэлектроники: учеб. пособие / МИРЭА. М., 2009. 136 с.
71. *Нив Г.* Организация как система: Принципы построения устойчивого бизнеса Эдвардса Деминга / пер. с англ. М.: Альпина Паблишер, 2019. 512 с.
72. *Оно Т.* Производственная система Тойоты. Уходя от массового производства. М.: Изд-во ИКСИ. 2008. 208 с.
73. *Орлов А. И.* Эконометрика: учебник для вузов. М.: Экзамен, 2003. 576 с.
74. *Орлов А. И.* Прикладная статистика. М.: Экзамен, 2006. 671 с.
75. «Семь инструментов качества» в японской экономике. М.: Изд-во стандартов, 1990. 88 с.
76. *Сифоров В. И.* О методах расчета надежности систем, содержащих большое число элементов // Изв. АН СССР. 1954. № 6.
77. Статистическое управление процессами. SPC. Ссылочное руководство. Н. Новгород: ООО СМЦ «Приоритет», 2012. 407 с.
78. *Уиллер Д., Чамберс Д.* Статистическое управление процессами: Оптимизация бизнеса с использованием контрольных карт Шухарта/ пер с англ. М.: Альпина Бизнес Букс, 2009. 409 с.
79. *Ушаков И. А.* Надежность: прошлое, настоящее, будущее. Обзор // Методы менеджмента качества. 2001. № 5. С. 21–25; № 6. С. 28–32.
80. *Фейгенбаум А.* Контроль качества продукции / пер. с англ. М.: Экономика, 1986. 471 с.
81. *Хан Г., Шаниро С.* Статистические модели в инженерных задачах / пер. с англ. М.: Мир, 1969. 395 с.
82. *Хафф Д.* Как лгать при помощи статистики / пер. с англ. 3-е изд. М.: Альпина Паблишер, 2017. 163 с.
83. *Хэрри М.* «Шесть сигм»: стратегия прорыва в респектабельность // Методы менеджмента качества. 2000. № 6. С. 10.

84. *Хэрри М., Шредер Р.* 6 SIGMA. М.: Эксмо, 2003. 464 с.
85. *Чесалин А. Н., Гродзенский С. Я., Нилов М. Ю., Фам Ван Ты.* Интеллектуальные инструменты управления качеством цифрового производства // Стандарты и качество. 2020. № 3. С. 68–73.
86. *Шадрин А. Д.* Lean, Agile и стандартизация менеджмента // Стандарты и качество. 2019. № 6. С. 107–109.
87. *Шваб К.* Четвертая промышленная революция / пер. с англ. М.: Эксмо, 2016. 208 с.
88. *Шторм Р.* Теория вероятностей, математическая статистика, статистический контроль качества. М.: Мир, 1970. 368 с.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие к третьему изданию.....	5
Предисловие ко второму изданию.....	7
Введение	9
1. ЭВОЛЮЦИЯ МЕТОДОВ УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ.....	14
1.1. Система Тейлора. Качество продукции как соответствие стандартам.....	16
1.2. Система Шухарта. Качество продукции как стабильность процессов.....	20
1.3. Система Фейгенбаума. Комплексный контроль качества.....	23
1.4. Система Джурана. Всеобщее управление на основе качества.....	26
1.5. Концепция инновационного подхода и информационных технологий	29
1.6. Этапы развития представлений о качестве.....	30
2. ОСНОВЫ ФИЛОСОФИИ И КОНЦЕПЦИИ КАЧЕСТВА ДЕМИНГА	33
2.1. Система Деминга. Качество как удовлетворение потребностей потребителей и служащих.....	33
2.2. Принципы Деминга для менеджера	39
2.3. О «цепной реакции» Деминга и актуальности его учения.....	59
3. «ЗАПАДНЫЙ» И «ВОСТОЧНЫЙ» ПОДХОДЫ УПРАВЛЕНИЮ КАЧЕСТВОМ	69
3.1. «Западный» подход к управлению качеством	69

3.2.	«Восточный» подход к управлению качеством	73
3.3.	«Теория ограничений» и «Бережливое производство».....	79
3.4.	Особенности отечественных подходов к управлению качеством	82
4.	КАЧЕСТВО, ПОКАЗАТЕЛИ КАЧЕСТВА, УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ	88
4.1.	Что такое качество	88
4.2.	Трактовка «качества» классиками квалитологии	90
4.3.	Показатели качества продукции и услуги.....	95
4.4.	Контроль, планирование и управление качеством	100
5.	ПРИНЦИПЫ ВСЕОБЩЕГО УПРАВЛЕНИЯ НА ОСНОВЕ КАЧЕСТВА.....	107
5.1.	Принцип первый – ориентация на потребителя.....	107
5.2.	Принцип второй – лидерство руководителя.....	108
5.3.	Принцип третий – вовлечение (взаимодействие) персонала	109
5.4.	Принцип четвертый – процессный подход.....	111
5.5.	Принцип пятый – постоянное улучшение.....	114
5.6.	Принцип шестой – принятие решений, основанных на фактах.....	116
5.7.	Принцип седьмой – взаимовыгодные отношения с поставщиками (менеджмент взаимоотношений).....	117
6.	СТАНДАРТИЗАЦИЯ В УПРАВЛЕНИИ КАЧЕСТВОМ.....	120
6.1.	Краткая история развития стандартизации.....	121
6.2.	Термины и нормативные документы по стандартизации	124
6.3.	Цели, принципы и функции стандартизации	125
6.4.	Методы стандартизации	127
6.5.	Стандарты ИСО серии 9000	129
6.6.	Базовые стандарты управления качеством	133
6.7.	Стандарты ИСО серии 14000	134
6.8.	Интегрированная система менеджмента	140

7. СЕРТИФИКАЦИЯ В УПРАВЛЕНИИ КАЧЕСТВОМ	142
7.1. Краткая история сертификации.....	142
7.2. Основные понятия сертификации (декларирование соответствия).....	145
7.3. Основные цели и принципы сертификации.....	147
7.4. Обязательная и добровольная сертификация.....	148
7.5. Процедура проведения сертификации	152
7.6. Сертификация систем качества	156
8. СТАТИСТИЧЕСКОЕ МЫШЛЕНИЕ	161
8.1. Статистическое мышление и вирусная теория менеджмента	161
8.2. Эволюция статистических исследований.....	167
8.3. С чего начинать статистическое исследование	173
8.4. Методы размножения выборок.....	184
9. ИНСТРУМЕНТЫ СТАТИСТИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА	187
9.1. Контрольный листок	188
9.2. Диаграмма Парето	190
9.3. Схема Исикавы	197
9.4. Гистограмма.....	201
9.5. Диаграмма рассеяния	205
9.6. Стратификация (расслаивание).....	210
9.7. Контрольная карта	212
9.8. Алгоритм применения семи простых инструментов качества.....	225
10. МЕТОДЫ УМЕНЬШЕНИЯ ВАРИАБЕЛЬНОСТИ	230
10.1. Методы Тагути	230
10.2. Концепция «Шесть сигм».....	236
11. ВЫБОРОЧНЫЙ КОНТРОЛЬ ПРИ ПРИЕМКЕ ПРОДУКЦИИ	245
11.1. Выборочный контроль. Экономические критерии. Основные определения	245

11.2. Постановка задачи выборочного контроля.....	250
11.3. Схема испытаний Бернулли как модель выборочного контроля	257
11.4. Распределение Пуассона как модель выборочного контроля	261
11.5. Усеченный контроль. Последовательный анализ Вальда	264
11.6. Способы модификации последовательных испытаний	269
12. СТАТИСТИЧЕСКОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ	275
12.1. Контрольные карты кумулятивных сумм	276
12.2. Исследование последовательных планов контроля и регулирования методом статистических испытаний	278
13. ЭЛЕМЕНТЫ ТЕОРИИ НАДЕЖНОСТИ	284
13.1. Значение проблемы надежности в технике в прошлом и настоящем	284
13.2. Понятия, термины и определения теории надежности	291
13.3. Показатели надежности	299
13.4. Надежность системы элементов	309
14. МОДЕЛИ ОТКАЗОВ И ЗАКОНЫ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ МОМЕНТОВ ИХ ВОЗНИКНОВЕНИЯ	313
14.1. Равномерное распределение	315
14.2. Экспоненциальное распределение (модель мгновенных повреждений)	317
14.3. Гамма-распределение (модель накапливающихся повреждений)	320
14.4. Нормальное распределение (модель суммирования повреждений)	321
14.5. Логарифмически-нормальное распределение (модель упрочнения)	324
14.6. Распределение Вейбулла (модель слабого звена)	325

14.7. Смесь распределений	331
14.8. Статистико-физический метод анализа надежности изделий электронной техники.....	335
15. О ПЕРСПЕКТИВНЫХ МЕТОДАХ УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ	341
15.1. Развитие систем менеджмента и промышленные революции	341
15.2. «BIG DATA»: история, перспективы.....	344
15.3. Основные направления в развитии систем управления качеством в условиях четвертой промышленной революции.....	350
Заключение	354
Список использованной литературы	357