

Закрытое акционерное общество «ОНИКС»
«Объединение научных, инженерных и коммерческих структур»

**ТИСЕНКО В.Н.
ШАДРИН А.Д.
ДРАЧЕВ О.И.
ИЛЮШИН И.А.
КРАВЦОВ А.Н.
КРАВЦОВ Н.В.**

ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ СРЕДСТВА МЕНЕДЖМЕНТА

Научный редактор – д.т.н., проф. кафедры
«Системы качества» СПбГПУ – Коршунов Г.И.

Тольятти
2012

УДК 658.516
ББК 34.41
И72

Научные редакторы: д.т.н., проф. кафедры «Системы качества» Санкт-Петербургского государственного политехнического университета – **Г.И.Коршунов**;

Рецензенты: д.т.н., проф. каф. «Автоматизация производственных процессов» Волгоградского государственного технического университета – **А.Л. Плотников**; к.э.н., доц. каф. «Экономика и менеджмент технологий и материалов» Санкт-Петербургского государственного политехнического университета – **Е.С. Балашова**;

Авторы: **В.Н. Тисенко, А.Д. Шадрин, О.И. Драчев, И.А. Илюшин, А.Н.Кравцов, Н.В. Кравцов**

И72 Инструментальные средства менеджмента [Текст] / В.Н. Тисенко [и др.]; Науч. ред. Г.И. Коршунов; Закрытое акционерное об-во "ОНИКС" (Об-ние науч., инженерных и коммерческих структур); - Тольятти: ЗАО «ОНИКС», 2012 – 217 с.: ил., табл.;

ISBN 978-5-9903090-2-9

Рассмотрены методы управления качеством продукции, в т.ч. с использованием различных инструментальных средств, включая автоматизированные, а также конкретные методы менеджмента качества. Приведены вопросы теории и практики применения информационных технологий, и, прежде всего – математические.

Методический уровень материала рукописи соответствует современным образовательным технологиям. В связи с чем, монография полезна для использования специалистами машиностроительных производств, а также в качестве учебного пособия для студентов многих машиностроительных направлений и специальностей, желающим овладеть компетенциями и навыками использования математических методов и других методов современных информационных технологий в менеджменте. Может представлять интерес для практических специалистов, занимающихся менеджментом качества и управления реальными системами.

УДК 658.516
ББК 34.41
ISBN 978-5-9903090-2-9

© Тисенко Виктор Николаевич, 2012
© Шадрин Александр Давыдович, 2012
© Драчев Олег Иванович, 2012
© Илюшин Илья Андреевич, 2012
© Кравцов Алексей Николаевич, 2012
© Кравцов Николай Владимирович, 2012
© ЗАО «ОНИКС», 2012

ОГЛАВЛЕНИЕ

ОГЛАВЛЕНИЕ	3
СПИСОК ПРИНЯТЫХ СОКРАЩЕНИЙ	4
ПРЕДИСЛОВИЕ	5
ВВЕДЕНИЕ	6
ГЛАВА 1. НЕКОТОРЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ТЕОРИИ ВЕРОЯТНОСТЕЙ И МАТЕМАТИЧЕСКОЙ СТАТИСТИКИ	11
1.2. Определения вероятности	13
1.3. Числовые характеристики случайной величины	17
1.4. Распределение случайной величины	18
1.5. Предмет математической статистики	24
1.6. Качество, информация, энтропия	26
ГЛАВА 2. О «СТАТИСТИЧЕСКОМ МЫШЛЕНИИ»	32
2.1 Эксперимент «воронка и мишень» Эдварда Деминга	32
2.2. Стандарты iso серии 9000 и статистические методы	39
2.3. «Вирусная теория» менеджмента	40
ГЛАВА 3. СЕМЬ ПРОСТЫХ СТАТИСТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ МЕНЕДЖМЕНТА КАЧЕСТВА	45
3.1. Контрольные листки	45
3.2. Причинно-следственная диаграмма	47
3.3. Диаграмма парето	48
3.4. Диаграмма рассеивания	51
3.5. Гистограмма	54
3.6. Контрольные карты	57
3.7. Расслоение данных (стратификация)	62
ГЛАВА 4. МЕНЕДЖМЕНТ РИСКА	65
4.1. Общие положения	65
4.2. Концепции анализа риска	68
4.3. Принципы управления риском	69
4.4. Анализ риска в жизненном цикле продукции	71
4.5. Основные составляющие процесса анализа риска	72
4.6. Принципы экспертного анализа	76
ГЛАВА 5. МЕТОД АНАЛИЗА ВИДОВ И ПОСЛЕДСТВИЙ ПОТЕНЦИАЛЬНЫХ ДЕФЕКТОВ	80
5.1. Общие положения	80
5.2. Алгоритм проведения ФМЕА	83
5.3. Расчет количественного показателя риска и последующие действия	88
ГЛАВА 6. МЕТОД РАЗВЕРТЫВАНИЯ ФУНКЦИИ КАЧЕСТВА	89
6.1. Общие положения	89
6.2 Традиционный метод развертывания функции качества	90
6.3. Новый метод развертывания функции качества	96
ГЛАВА 7. МОДЕЛИРОВАНИЕ И ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССОВ	104
7.1. Общие положения	104
7.2. Метод наименьших квадратов	105
7.3. Оптимизация технологического процесса (на примере серийного производства)	110
7.4. Алгоритм оптимизации на основе моделирования	118
Глава 8. ПРИМЕНЕНИЕ НЕЧЕТКИХ ЛОГИК ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ	122
8.1. Математические методы описания сложных систем	122
8.2. Основные положения теории нечетких множеств заде	128
8.3. Логика антонимов как альтернатива логике заде	139
8.4. Основные положения логики антонимов	143
8.5. Сопоставление возможностей логики заде и логики антонимов	144
8.6. Моделирование систем менеджмента качества с целью их оценивания	147
Глава 9. УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ ДЕТАЛЕЙ КЛАССА «ВАЛ» ЧЕРЕЗ СИСТЕМУ СТАНДАРТОВ ОРГАНИЗАЦИИ	153
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	188
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	191
ПРИЛОЖЕНИЕ 1.	194
Аннотации российских стандартов	194
по статистическим методам	194
ПРИЛОЖЕНИЕ 2.	207
Классификация методов анализа отказов и риска	207
ПРИЛОЖЕНИЕ 3.А.	208
Пример работы 4-х фазной модели РФК для проекта «Автомобильная дверь»	208
ПРИЛОЖЕНИЕ 3.Б.	211
Пример выполнения шагов нового метода РФК	211

СПИСОК ПРИНЯТЫХ СОКРАЩЕНИЙ

АСМК – автоматизированная система менеджмента качества

ЛА – логика антонимов

ЛПР – лицо, принимающее решение

МР – менеджмент риска

НЛ – нечеткая логика

ПЧР – приоритетное число риска

РГ – рабочая группа

РФК – развертывание функции качества

СМК – система менеджмента качества

САПР – система автоматизированного проектирования;

ФСА – функционально-стоимостной анализ;

ФФА – функционально-физический анализ;

ЧПУ – числовое программное управление;

ОДМО – область достижимых значений эксплуатационных характеристик при рассматриваемом методе обработки;

ОРЭС – область регламентируемых значений эксплуатационных свойств (характеристик);

ОЭМО – область эффективных значений эксплуатационных характеристик при рассматриваемом методе обработки;

МО – метод обработки;

ПРЕДИСЛОВИЕ

Представленная монография посвящена актуальному для российской экономики в целом и для машиностроительного производства в частности вопросу: как организовать производство любой компании эффективным, т.е. обеспечивающим потребности всех заинтересованных сторон. При этом авторы опирались на богатый накопленный мировым сообществом опыт в этой области, основные принципы и подходы которого сформулированы в международных и национальных стандартах серий 9000, 14000 и др.

В последние годы стандарты на системы менеджмента стали наиболее эффективным инструментом совершенствования систем управления организациями во всем мире. Область применения этих стандартов постоянно расширяется: разработаны стандарты по менеджменту качества, экологии, безопасности труда. Широкое применение стандарты находят в различных областях - в машиностроении, в автомобильной промышленности, нефтяной, газовой, пищевой, медицинской промышленности и в образовании. К сожалению, отечественное машиностроение пока широко не применяет принципы менеджмента качества в связи с тем, что большинство предприятий не находятся в положении конкурирующей стороны, не испытывает давления со стороны конкурентов. Поэтому они и не уделяют большого внимания снижению себестоимости продукции, организации работ по принципу бережливого производства. Но вступление России в ВТО неминуемо заставит предприятия учиться работать в условиях жесткой конкуренции, в условиях развитого рынка.

В представленной монографии авторы рассмотрели основные вопросы создания и совершенствования систем менеджмента качества на машиностроительных предприятиях». Настоящая книга существенно дополняет опубликованные материалы описанием инструментальных средств менеджмента, предлагает читателям возможность ознакомиться с основными принципами их разработки. Это позволит пользователям лучше ориентироваться в предлагаемых им средствах и использовать те, которые оптимальны для использования в условиях машиностроительного предприятия. В связи с этим эта монография представляет несомненный интерес для практического использования широким кругом специалистов независимо от их отраслевой принадлежности и стадии развития предприятия. Авторы книги представили как материалы, пригодные для использования практически всеми руководителями, так и материалы, относящиеся к управлению качеством продукции машиностроительной отрасли. Авторы книги представили необходимые сведения как о традиционно используемых в условиях серийного производства средствах, основанных на применении методов математической статистики и теории вероятностей, так и о достаточно новых, перспективных для использования в условиях единичного производства методах нечетких логик.

Читателям, безусловно, будет полезен материал по «простым» методам менеджмента качества (глава 3), которые позволят быстро и достаточно просто получать обоснованные управленческие решения. Приведенные в главах 4 и 5 материалы тесно связаны с менеджментом риска и достаточно новыми для российских предприятий технологиями определения возможных дефектов в работе предприятий (метод FMEA и др.). Полезны для читателя сведения о возможности автоматизации инструментальных средств, а также информация об одной из предлагаемых пользователям реальной автоматизированной системе.

Научный уровень положений рукописи является достаточно высоким, что подтверждается предшествующей публикацией авторами этих положений в специальных периодических изданиях и в диссертации одного из авторов. В связи с изложенным, данная книга может быть рекомендована для работников машиностроительной отрасли, особенно для специалистов служб качества предприятий, а также студентам, желающим овладеть компетенциями в менеджменте с использованием международных и отечественных стандартов, включая менеджмент качества.

Г.И. Коршунов, д.т.н., проф. каф. «Системы качества» СПбГПУ

ВВЕДЕНИЕ

В части 1 книги [45] шла речь о том, что менеджмент направлен на решение задачи удовлетворения требований различных заинтересованных сторон, причем эти требования, зачастую, противоречивы. Поэтому во второй части книги, наряду с другими методами, рассматриваются методы принятия оптимальных решений.

Существенно, что в целом менеджмент — не техническая область деятельности. Точнее — не только техническая, но, в значительной степени, экономическая и гуманитарная область, поскольку менеджмент всегда, в конечном счете, направлен на человека, на работника предприятия или на представителя другой заинтересованной стороны. Поэтому инструментальные методы менеджмента очень разнообразны.

Для примера, назовем некоторые известные инструменты (методы) менеджмента, описание которых можно встретить в специальной литературе: 20 ключей управления Ивао Кобаяси, Девять правил искусства борьбы на мечях Миямото Мусаши, 13 шагов Д. Таттла, система 5s, Balanced Scorecard (сбалансированная система показателей), Total Performance Scorecard (универсальная система показателей деятельности), методология «Шесть сигм», концепция Total Productive Maintenance (TPM), система The Practical Program of Revolution in Factories and Other Organizations, система Business Performance Management (BPM), методика Quality Operating System, Концепция «проактивной» компании, Бенчмаркинг, Коучинг, Бережливое производство (Lean Manufacturing), Выталкивающее производство (Push Production), Вытягивающее производство (Pull Production), Защита от ошибок – (Poke-Yoke – Error Proofing), Канбан (Kanban), Точно вовремя (Just-in-time), CALS-технологии, Первым вошел – первым вышел (FIFO), Последним вошел – первым вышел (LIFO), Разбивка пакета работ, Управление временем, SWOT-анализ, Системы управления данными об изделии (PDM-системы), Системы управления ресурсами компании (ERP), Управление по целям, Управление по результатам и немало других.

Каждый из перечисленных методов в отдельности, возможно, имеет смысл, и не исключено, что где-то успешно применяется. Каждый из перечисленных методов претендует (или претендовал при своем первом применении) на то, что он является **инновационным**.

Любая **инновация вообще может считаться инструментом менеджмента**, поскольку за счет инновации предприятие делает шаг (и иногда очень значительный) в сторону совершенствования своей деятельности и повышения конкурентоспособности. Применение инновации, в той или иной степени, требует перестройки системы управления организацией, т.е. перестройки менеджмента.

Однако методы, перечисленные двумя абзацами выше, зачастую, не имеют теоретического обоснования, доказывающего улучшение характеристик работы предприятия при применении данного метода. На практике же улучшение одной характеристики зачастую ведет к ухудшению другой, да и улучшение может быть однократным и случайным. Эти, и им подобные методы, зачастую имеют характер моды, их появление вызвано (вполне естественным) желанием

их авторов обратить на себя внимание, а их распространению способствуют более или менее организованные рекламные кампании.

Сама величина приведенного перечня (а он далеко не полон) может вызвать естественный вопрос: «Если известно так много эффективных инструментов менеджмента, то почему в менеджменте так много неудач?»

Дело в том, что, в лучшем случае, эти методы предлагают некоторую новую «упаковку» уже известным, опробованным и действительно эффективным научным разработкам. Однако, эти методы крайне редко с достаточной глубиной соответствуют первоначальному научно-обоснованному замыслу.

Эти методы могут быть, безусловно, полезны при изучении способов связей с общественностью, поскольку о них говорят, их изучают и цитируют достаточно часто. Как известно, «упаковка», т.е. подача материала, играет не последнюю роль в успехе того или иного начинания.

Концепция данной книги состоит в том, что эффективным может быть только менеджмент, основанный на принципах кибернетики.

Как известно, кибернетика — наука об управлении, связи и переработке информации. Кибернетика изучает процессы управления с информационной стороны, независимо от энергетических или конструкционных характеристик реальных систем. При изучении различных процессов кибернетика широко использует математический аппарат и системный подход. Часто кибернетику определяют как науку о способах восприятия, передачи, хранения, переработки и использования информации в целях оптимизации процессов и систем. Основное техническое средство для решения задач кибернетики — ЭВМ. Задача кибернетики заключается в превращении некоего нечеткого понятия в точное и ясное с тем, чтобы знать реально, как им пользоваться в дальнейшем.

Кибернетика рассматривает организацию как систему — совокупность элементов, обладающую взаимосвязью между отдельными частями, причем взаимосвязь эта не единообразна. Связи между одними внутренними частями играют более важную роль, чем между другими. Другими словами, связи внутри предприятия не должны быть абсолютно устойчивыми, чтобы строгая определенность одних ее частей не исключала возможности изменения каких-то других. Эти изменения, различные в различных случаях, неизбежно носят статистический характер, и поэтому **только статистическая теория обладает достаточной гибкостью, чтобы придать понятию организации разумный смысл.**

Лишь в отдельных случаях (в частности, при решении задач из школьных задачников) мы имеем дело с однозначными, строго детерминированными связями. В менеджменте вероятностные причинно-следственные связи являются **общим видом связей**, тогда как связи, приводящие к однозначным предсказаниям, представляют собой лишь частный случай. Другими словами, управление, в принципе, есть вероятностный процесс, и риск получения нежелательного исхода присутствует всегда.

Следует подчеркнуть, что, например, многие известные авторы, такие как Э. Деминг, Дж. Харрингтон, Г. Тагути, Ф. Кросби и ряд других, являются весь-

ма авторитетными и уважаемыми специалистами, развивающими в своих работах именно кибернетические принципы в практическом менеджменте.

Таким образом, мировоззренческая книга направлена на формирование у читателя «кибернетического подхода»* и «статистического мышления» (см. далее, глава 2).

Авторы исходят из того, что **менеджмент есть процесс, в котором объектом, инструментом и непосредственной целью является информация.**

Менеджер (руководитель) получает и обрабатывает только информацию. Эта информация может отражать сколь угодно сложные процессы и свойства материальных объектов — механизмов, предприятий или даже государств. Руководитель может даже не видеть те материальные объекты, ту продукцию, которую выпускает его предприятие. Но он обязательно воспринимает информацию о состоянии руководимых процессов и выпускаемой продукции, т.е. непосредственным объектом менеджмента является информация. Иногда говорят, что информация — «хлеб управления».

Обработка получаемой информации и принятие решений ведется по некоторым алгоритмам. Эти алгоритмы далеко не всегда могут быть точно описаны. При принятии решений всегда большое значение имеют опыт и интуиция специалиста, которые не поддаются формальному описанию и не могут быть непосредственно переданы от одного человека (учителя) другому (ученику).

Вместе с тем, разработано огромное количество алгоритмов (они могут называться «методами», «моделями», «схемами» и т.д.), которые имеют формальное описание и могут применяться для повышения эффективности принимаемых решений в самых разных областях человеческой деятельности. Эти алгоритмы и есть инструментальные методы менеджмента. Они используют накопленные людьми знания, т.е. информацию. Таким образом, именно информация является инструментом менеджмента.

И, наконец, непосредственная продукция менеджера (руководителя) это **решение**, приказ, указание, т.е. тоже информация. Эта информация может приводить в движение огромные материальные и финансовые потоки, армии людей и менять ход истории. Но главное, на что мы сейчас обращаем внимание читателя, это **первичность информации** в работе специалиста вообще и руководителя в особенности.

Для успеха управления информация должна обладать свойствами **полноты, достоверности, оперативности (своевременности) и доступности**. Именно на обеспечение этих требований и направлены инструментальные методы, описываемые в данной книге.

Подчеркнем, что на обеспечение этих требований направлены требования международных стандартов ИСО серии 9000, серии 14000, OHSAS серии 18000 и ряд других, которые подробно рассматриваются в части 1. Эти стандарты также можно считать инструментальными средствами менеджмента.

В части 1 [45], на рис. 1.3.1, приведена схема процесса восприятия информации человеком. Из этой схемы следует, что на пути к субъекту информация

* Подробнее по этому поводу см. часть 1, глава 3.

проходит **физический фильтр** (в теории информации называемый ограниченной пропускной способностью канала связи) и **семантический фильтр**, связанный с определенным, ограниченным, запасом знаний субъекта — **тезаурусом**.

Чтобы быть воспринятой, информация должна преодолеть еще и **прагматический фильтр**. Причем этот фильтр также связан с тезаурусом, то есть включает в себя субъективные особенности самого человека, его точку зрения на ценность данной информации, на то, нужна ему данная информация или ее можно не принимать во внимание.

Часто в практических ситуациях физический фильтр связан с чрезмерно большим объемом информации, которую менеджер (или специалист) физически просто не в состоянии воспринять.

Наличие семантического фильтра (т. е. недостаток знаний) иногда не позволяет людям отличить объект, который сможет удовлетворить их потребности, от объекта, который этого сделать не сможет.

Инструментальные методы, описываемые в данной книге, по существу, позволяют (при их успешном применении) «снижать толщину» физического и семантического фильтров, т.е. делать информацию о состоянии объектов более полной, достоверной, своевременной и доступной для менеджера (специалиста), принимающего решения.

При этом повышается эффективность прагматического фильтра — менеджер получает информацию («хлеб управления») более высокого качества и, соответственно, может принимать лучшие решения.

Таким образом, под «инструментами менеджмента» понимается набор методов (приемов, алгоритмов), которые применяются при сборе, обработке и анализе информации и при выработке управляющих решений, основанных на этой информации.

Во второй части **в первой главе** книги приводятся отдельные элементарные понятия теории вероятностей и математической статистики. Предполагается, что эти сведения, в целом, известны студенту из дисциплин, изучавшихся на предыдущих курсах, и здесь напоминаются, поскольку без их четкого понимания невозможно понимание многих дальнейших положений книги. В отдельном параграфе рассматривается взаимосвязь качества, информации и энтропии при управлении процессами.

Во второй главе приводятся обоснования вероятностного подхода к менеджменту — так называемого «статистического мышления».

В третьей главе речь идет о семи простых статистических методах менеджмента качества, к которым относятся: контрольные листки, причинно-следственная диаграмма, диаграмма Парето, диаграммы рассеивания, гистограммы, контрольные карты и расслоение данных.

В четвертой главе излагается современная концепция менеджмента риска на основе российских национальных стандартов.

В пятой главе рассматривается метод анализа видов и последствий потенциальных дефектов, представляющий собой алгоритм практической реализации менеджмента риска.

В шестой главе приводятся основные положения и методика развертывания функции качества, применяемая на предприятиях при решении задачи увеличения степени удовлетворения требований всех заинтересованных сторон.

В седьмой главе приводятся основные понятия о методе наименьших квадратов, позволяющем получать математические модели процессов производства серийной продукции, и приводится пример оптимизации такого процесса для изделий с несколькими показателями качества.

В восьмой главе части 2 излагаются основные методы моделирования социо-технических систем вообще и СМК в частности, включая методы, использующие нечеткие логики. Особое внимание обращается на возможность применения новой логики антонимов, позволяющей оценивать такие уникальные и единичные объекты как СМК с целью принятия оптимальных управленческих решений по их развитию.

Зададимся вопросом. Для чего нужны стандартные инструменты менеджмента, рассматриваемые в данной книге, если сегодня существуют эффективные возможности тщательного глубокого анализа и решения почти всех имеющихся проблем? Ответ прост: тщательную, эксклюзивную, работу могут выполнять единицы, и затраты на такую работу, как правило, немалые. А стандартным инструментам можно научить почти любого. Пусть результат будет хуже эксклюзивного — зато можно быстро решить гораздо большее число проблем.

Используя на практике инструментальные методы менеджмента, необходимо помнить, что любой инструмент, сам по себе, не бывает ни хорош, ни плох. Калькулятором можно забивать гвозди, но лучше это делать молотком. Как справедливо отмечает российский специалист М. Шустер, хороший инструмент тот, что лучше всего подходит для обработки конкретного предмета, а изучение свойств этого предмета — первый шаг к созданию инструмента. Металл можно плавить вследствие его возможности плавиться, а уже потом — благодаря печи, которая была бы не нужна, если бы металл не имел такого свойства. Только когда известны потребности рынка, можно выбирать идею для инновации. Только когда известны характеристики процесса, которым вы управляете, можно думать о подходящих инструментах менеджмента.

Главы 1, 2, 3, 4, 7, приложение 1 и заключение написаны Шадриним А.Д., главы 5, 6, приложения 2 и 3 – Илюшиным И.А., глава 8 – Тисенко В.Н., глава 9 – Драчевым О.И., Кравцовым А.Н. и Кравцовым Н.В.

ГЛАВА 1. НЕКОТОРЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ТЕОРИИ ВЕРОЯТНОСТЕЙ И МАТЕМАТИЧЕСКОЙ СТАТИСТИКИ

1.1. Общие положения

Следует подчеркнуть, что данная глава ни в коей мере не является пособием по изучению предметов, названных в ее заголовке. Специалист должен познакомиться с теорией вероятностей и математической статистикой с помощью специальной литературы, а студент – вспомнить соответствующие дисциплины, изученные ранее.

В данной главе, можно сказать, рассказывается (напоминается) об отдельных положениях двух указанных дисциплин, без знания которых невозможно понять многие важнейшие аспекты менеджмента.

События. В теории вероятностей всякий факт, который может произойти в результате некоторого действия (процесса, работы, испытания и т.п. – в данной главе все это будет называться *опытом*), называется **событием**.

Примерами опытов могут быть: стрельба по цели, бросание шестигранного кубика, изготовление изделия, написание программы, эксплуатация трактора и т.д. При этом событиями соответственно могут быть: попадание в цель при выстреле, выпадение трех очков при бросании кубика, изготовление годного изделия, появление программы, разрыв гусеницы трактора. Но не только. Событиями являются все факты, которые нас окружают: приход трамвая, встреча с другом, восход солнца, заключение контракта, избрание президента, рождение, смерть и т. д.

События в теории вероятностей (и в жизни) разделяются на **достоверные**, **невозможные** и **возможные** (последние чаще называют **случайными**). События обозначаются большими буквами латинского алфавита: А, В, S и т.д.

Достоверным называется событие, которое **всегда** наступает в результате опыта.

Невозможным называется событие, которое **никогда** не наступает в результате опыта.

Случайным называется событие, которое **иногда** наступает, а **иногда** не наступает в результате опыта.

На практике результат любого управления (в том числе менеджмента) зависит от сочетания качества замысла (плана, проекта) и качества реализации (изготовления) этого замысла. Будем далее этот результат называть «продукцией».

Качество проекта (плана, разработки, конструкции) является мерой совершенства принятого проектного решения, его соответствия требованиям заинтересованных сторон. Качество проекта определяется, прежде всего, принципиальным решением той задачи, которая поставлена перед разработчиком. Проект должен предусматривать такую конструкцию изделия или такой состав услуги, при которой продукция будет полностью соответствовать сегодняшним и ожидаемым требованиям, то есть таким требованиям, которые могут возникнуть в будущем в связи с развитием технического прогресса, изменением моды и т.п.

Но уже тут возникают вопросы: при любых ли условиях и, в частности, как долго продукция должна соответствовать этим требованиям? Хотелось бы, конечно, иметь такую продукцию, которая соответствовала бы нашим требованиям при любых условиях и всегда, то есть служила бы вечно. Но это нереально, в природе нет вечных вещей.

Аналогичное положение имеет место и с **качеством реализации**. Идеальный случай – все изготовленные изделия или оказанная услуга абсолютно точно соответствуют конкретному проекту. Но в природе не может быть даже двух абсолютно одинаковых объектов. В производстве изделий точность изготовления всегда ограничена, что практически находит отражение в допусках на все параметры продукции, которые характеризуют ее качество. Услуга (например, прическа) также никогда не может быть воспроизведена абсолютно точно.

Таким образом, очевидно, что, осуществляя управление (действия по обеспечению и поддержанию качества продукции), **никогда** нельзя быть **абсолютно** уверенным в конечном результате. То есть, изготавливая даже одно изделие, мы не можем **в точности** предсказать, каковы будут его параметры.

Еще с меньшей точностью можно предсказать показатели качества каждого отдельного образца продукции при серийном выпуске, когда продукция выпускается тысячами, миллионами единиц, с помощью многих станков и аппаратов, многими людьми в течение длительного времени.

Сегодня вряд ли кто-нибудь возьмется спорить с утверждением, что численные показатели качества (например, параметры изделий) есть **величины случайные**, или с тем, что отказ (дефект) продукции есть **случайное событие**. Но, к сожалению, еще распространено мнение, что все эти неопределенности и случайности есть результат ограниченности наших знаний, а отказы изделий и дефекты услуг объясняются небрежностью, неграмотностью, низкой культурой, злым умыслом и тому подобными причинами, которые можно устранить, стоит только приобрести новое оборудование, заменить исполнителей, повысить зарплату, наказать кого следует и т.д.

Спору нет, все перечисленные факторы влияют на качество. Но «борьба» с ними заслоняет важнейшее обстоятельство, которое заключается в том, что **случайность объективно присуща всем природным явлениям**. Семантический и физический барьеры не устранимы — это объективная реальность.

Рассмотрим простую ситуацию. Предприятию удалось изготовить одно единственное годное изделие, то есть изделие, удовлетворяющее всем требованиям заинтересованных сторон и технических условий. Чиновник может заявить: «Наш менеджмент обеспечивает качественную продукцию». И это будет правдой. Но такое заявление может удовлетворить только другого чиновника. По существу же оно бессмысленно. Потребителю (даже если он и не отдает себе в этом отчет) важно знать, с какой вероятностью эта продукция будет удовлетворять его потребности непосредственно после изготовления, и как будет меняться вероятность отказа во времени, в процессе эксплуатации. Именно поэтому в технические условия на изделия серийного и массового выпуска вво-

дится величина нормативного показателя качества (NQL)*. И для всех изделий — и одиночных, и мелко-серийных, и массовых — вводятся показатели надежности. А запись в паспорте изделия «Гарантия два года» потребитель совершенно справедливо понимает как низкую вероятность отказа изделия, по крайней мере, в течение двух лет. Даже в ситуации, когда этот потребитель — домашняя хозяйка, и она плохо понимает, что такое надежность. Сложнее обстоит дело с качеством услуг, но и здесь закон и контракты предусматривают варианты действий сторон в случае дефекта.

Можно спорить по поводу того, происходят ли на Земле достоверные события и есть ли события, которые являются невозможными. Например, тот факт, что никто не зафиксировал, как рак свистит на горе, совсем не означает, что такое событие никогда не может произойти.

Но что не подлежит сомнению, так это то, что ни невозможные, ни достоверные события не должны нас интересовать ни в нашей личной жизни, ни — тем более — в работе. Зачем думать о том и тратить время на то, что все равно произойдет или не произойдет ни при каких условиях? Очевидно, что этими вещами заниматься не следует. То есть **на практике мы имеем дело только со случайными событиями!**

А раз так, то очевидно, что обязательным аппаратом для анализа ситуаций, возникающих в менеджменте качества (а, строго говоря, в менеджменте вообще) должна служить теория вероятностей.

1.2. Определения вероятности

Что такое вероятность, интуитивно понимает каждый. В теории для вероятности имеется несколько определений. Не вдаваясь здесь в строгие математические подробности, дадим два определения – классическое и геометрическое.

Перед этим отметим пять свойств событий:

1. Первое свойство очевидно из известного опыта с подбрасыванием монеты. При этом могут наступить два события: выпадет «орел» или «решка». Появление одного события исключает появление другого. Такие события называются *несовместными*. Появление же, например, короля и дамы среди шести карт у одного игрока – события *совместные*.

2. Второе свойство связано с такой ситуацией, когда может произойти только одно событие из данной группы. Например, при заключении контракта поставка продукции может быть произведена в трех видах комплектации за три различные цены. Никакие другие варианты, не входящие в группу из трех, произойти не могут. Такие три события называются *единственно возможными*.

* Нормативный показатель качества (NQL) – предельное количество (или процент) несоответствий в поставленной продукции, при котором потребитель не имеет права предъявить претензий изготовителю и обязан продукцию принять. Этот показатель обычно записывается в контракт.

3. Третье свойство также хорошо всем знакомо на примере азартных игр*. При честной игре нет никаких оснований предполагать, что при подбрасывании кубика выпадение одной из граней (например, той, на которой расположена шестерка) является более возможным, чем выпадение других граней. То же самое имеет место с «орлом» и «решкой». Такие события называются *равновозможными*.

4. Два события являются *зависимыми*, если вероятность одного зависит от появления или не появления другого.

5. Два события являются *независимыми*, если вероятность одного события не зависит от появления или не появления другого.

Примерами зависимых событий могут быть свойства сырья и свойства изготовленной из этого сырья продукции, наличие диплома о квалификации работника и его назначение на руководящую должность и т. д. А независимыми могут быть в огороде бузина, в Киеве дядька и тому подобной пары объектов.

Классическое определение. *Вероятностью* появления некоторого события A называется отношение числа исходов, благоприятных появлению этого события к общему числу несовместных единственно возможных и равновозможных в данном опыте исходов.

Математическими символами данное определение можно записать:

$$P(A) = \frac{m}{n},$$

где: $P(A)$ – вероятность события A ;

m – число исходов, благоприятных для события A ;

n – общее число несовместных единственно возможных и равновозможных в данном опыте исходов.

Тут примерами могут быть выигрыш в честной лотерее, обнаружение дефектного изделия в случайной выборке при выборочном контроле и т.д.

Приближенной характеристикой вероятности является так называемая **частота**.

Частотой f события A называется отношение числа испытаний, в которых появилось событие A , к общему числу проведенных испытаний.

Математически:
$$f(A) = \frac{m}{n},$$

где m — число испытаний, в которых появилось событие A ;

n — общее число проведенных испытаний.

На практике мы часто имеем дело со случайными событиями, число возможных исходов которых невозможно сосчитать, поскольку это число **бесконечно**. Сюда относятся, например, все измерения с помощью шкал или приборов: длина, температура, масса и т.д. Измеренный вес изделия может получить-

* Кстати, термин "азартные игры" (и слово "азарт") происходит от французского *hasard*, что означает "случай".

ся любым. Кроме того, играет роль и точность измерения. Здесь нельзя говорить о количестве равновозможных случаев.

В этом случае говорят об **области**. Хорошо известно, что размеры детали, количество продукта в фасовке и тому подобные величины задаются с допуском: «плюс, минус столько-то».

Тогда подходят к определению вероятности следующим образом. Пусть (для двумерного случая) мы имеем некоторую область D , площадь которой S_D и внутри ее меньшую область d с площадью S_d (рис. 1.2.1). Событием является появление точки в области D . Событием A является появление точки в области d .

Геометрическое определение. Вероятностью события A называется отношение размера области S_d , благоприятствующей появлению события A , к размеру всей области S_D .

Математическими символами данное определение можно записать:

$$P(A) = \frac{S_d}{S_D}.$$

Из приведенных определений можно легко вывести три **основных свойства вероятности**.

1. Вероятность случайного события A есть неотрицательное число между 0 и 1. Математически: $0 \leq P(A) \leq 1$.
2. Вероятность достоверного события равна 1.
3. Вероятность невозможного события равна 0.

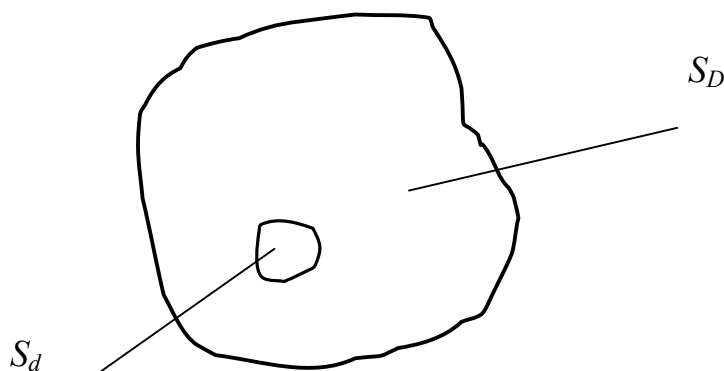


Рис. 1.2.1. К геометрическому определению вероятности

Важный факт. Заметим, что утверждение, обратное последнему свойству, неверно. Если вероятность случайного события равна нулю, то это событие

может произойти. И это для нас очень важно — и в менеджменте, и в повседневной жизни.

Этот факт поясняется с помощью геометрической интерпретации классического определения. Представим себе ситуацию, когда мы точкой стреляем в данную площадь D . Известно, что в площадь S мы попадаем. Вопрос: какова $P(K)$ — вероятность попасть в точку K , находящуюся в площади D ?

Решение очевидно: площадь точки K равна 0, а количество несовместных единственно возможных и равновозможных исходов (количество точек на площади D) равно бесконечности. Следовательно:

$$P(K) = \frac{0}{S_D} = \frac{1}{\infty} = 0.$$

Из этого факта вытекает важное практическое следствие: **всякое случайное событие – в том числе неприятность – всегда может случиться.** Но и удача всегда может иметь место.

Рассмотрим еще несколько положений теории вероятностей.

Суммой двух или нескольких событий называется событие, состоящее в появлении хотя бы одного из этих событий.

Например, суммой S событий A – получение годного изделия с первого раза и B – получение годного изделия со второго раза – будет получение годного изделия безразлично когда – или с первого или со второго раза.

Обозначается сумма $S = A + B$.

Произведением двух или нескольких событий называется событие, состоящее в совместном появлении всех этих событий.

Например, если событие A – получение годного изделия по геометрическим размерам, B – получение годного изделия по массе и C – получение годного изделия с низкой себестоимостью. То произведение S – это получение годного изделия по обоим параметрам и с низкой себестоимостью.

Обозначается произведение $S = A \times B \times C$.

Из этих определений ясно, что на предприятии нас интересуют, как правило, *произведения* случайных событий – когда *все* получилось. И по опыту мы знаем, что это труднее всего.

Теорема.

Вероятность произведения независимых событий равна произведению вероятностей этих событий.

То есть для вышеприведенного примера с событием A – получением годного изделия по геометрическим размерам, B – получением годного изделия по массе и C – получением годного изделия с низкой себестоимостью, вероятность произведения $P(S)$ – получение годного изделия по обоим параметрам и с низкой себестоимостью – будет равна $P(S) = P(A) \times P(B) \times P(C)$.

Так, если $P(A) = 0,95$; $P(B) = 0,98$; а $P(C) = 0,99$, то $P(S) = 0,9217$.

То есть, как мы уже отмечали: когда нам нужно получить и одно, и другое, и третье *одновременно*, вероятность нашего успеха быстро уменьшается.

Случайная величина – это переменная величина, которая принимает те или иные значения с определенными вероятностями. Мы уже применяли выше этот термин, полагая, что его значение понятно читателю, и он сам может привести немало примеров случайных чисел. Это и количество дефектных изделий в партии продукции, и количество потраченной электроэнергии в данном месяце, и время прихода автобуса на остановку и т.д.

Случайные величины бывают **дискретными** (которые можно пересчитать поштучно) и **непрерывными** (которые можно измерить с некоторой точностью, но пересчитать нельзя). Дискретными случайными величинами являются, например, то же количество дефектных изделий в партии, число мальчиков на сто новорожденных, количество предприятий, прошедших сертификацию в данном органе по сертификации, и т.п.

Непрерывные случайные величины – это, например, физические параметры изделия (размер, масса и т.д.), температура воздуха или тела больного, затрата горючего на 100 км пробега автомобиля и т.п.

1.3. Числовые характеристики случайной величины

Важнейшей числовой характеристикой случайной величины является ее *математическое ожидание*, суть которого больше известна под названием «среднее арифметическое значение». Обычно оно обозначается буквой M_x , где индекс « x » означает самую случайную величину, или буквой μ . Мы не будем останавливаться на этой характеристике в связи с ее простотой.

Второй по важности числовой характеристикой является *среднее квадратическое отклонение*. Обычно она обозначается буквой σ — «сигма».

Эта характеристика во многих практических случаях является ключевой для получения высокого качества. Ее сущность отражена в ее названии, а методика расчета проиллюстрирована с помощью табл. 1.3.1.

В выборке случайных чисел: $x_1 = 1$, $x_2 = 2$, $x_3 = 3$, $x_4 = 4$, $x_5 = 10$ — среднее арифметическое значение $\mu = 4$. Отклонение каждого случайного числа от среднего ($\Delta_i = x_i - \mu$) приведено в третьем столбце. Среднее арифметическое значение величины Δ всегда равно нулю, поэтому с его помощью характеризовать отклонение случайной величины от среднего значения μ нельзя. В этой ситуации рассчитывают Δ_i^2 и определяют среднее значение этих квадратов отклонений. Величина σ^2 называется дисперсией.

Таблица 1.3.1

№ п/п	X_i	$\Delta_i = x_i - \mu$	$\Delta_i^2 = (x_i - \mu)^2$
1	1	- 3	9
2	2	- 2	4
3	3	- 1	1
4	4	0	0
5	10	6	36
Сумма	20	0	50
Среднее значение	$\mu = 4$	0	$\sigma^2 = 10$

Она хорошо характеризует разброс (рассеивание, вариацию — это все синонимы) случайной величины, однако использовать ее не всегда удобно, так как ее размерность отличается от размерности самой случайной величины. Чтобы уйти от этого недостатка, из дисперсии извлекают квадрат и получают среднее квадратическое отклонение.

В рассматриваемом примере $\sigma = \sqrt{10}$.

1.4. Распределение случайной величины

Случайные величины принимают значения, которые заранее — до того как опыт произведен — точно предсказать невозможно. Однако многие случайные величины в окружающей нас действительности обладают удивительным свойством вести себя не абсолютно беспорядочно, а подчиняться некоторым закономерностям.

Так, в демографии хорошо известно число 0,514. Оно выражает долю мальчиков в общем числе новорожденных. Количество фактически родившихся мальчиков в разные периоды в разных районах может изменяться, но это изменение всегда происходит «вокруг» этого числа. Или еще один факт из той же области, в которую пока не вмешался человек: на каждые три тысячи новорожденных приходится один с лишней хромосомой, ответственной за появление синдрома Дауна. Причем появление этой хромосомы у младенца не зависит ни от страны, ни от ни от питания и образа жизни родителей.

На практике часто приходится встречаться с опытами (операциями, явлениями), которые повторяются при неизменном комплексе основных условий. Помимо упомянутого рождения детей, это и массовое производство различных изделий, и интенсивность космического излучения, и количество пассажиров на данной станции метро в данное время суток, и многократное измерение одной и той же величины различными способами, и т.д. При этом на результатах опыта сказываются многочисленные факторы, неподдающиеся контролю, варьирующиеся от одного опыта к другому. И никто из людей не в состоянии этими факторами управлять. Такие факторы называются **случайными**.

Примерами случайных факторов могут служить неконтролируемые изменения среды (температура, давление и др.), физиологические изменения в организме работника, процессы в элементарных частицах применяемого сырья и т.п.). Наличие в опыте большого количества случайных факторов приводит к тому, что результаты опытов, проводящихся (казалось бы) в неизменных условиях, оказываются различными — вспомните эксперимент с воронкой Деминга.

Немецкий математик К. Гаусс установил, что, когда на результат опыта воздействуют только случайные факторы, этот результат может быть описан с помощью кривой, которая теперь называется **нормальной кривой распределения**.

Нормальная кривая распределения строится в координатах: изменяющаяся случайная величина X (принимающая значения x) — по оси абсцисс. По оси ординат W — вероятность того, что случайная величина X примет данное значе-

ние x . Эта кривая коротко называется «нормальной кривой», «кривой Гаусса» или «колоколом Гаусса».

Гаусс и русский математик А. М. Ляпунов вывели формулу аналитического выражения нормальной кривой. Нормальная кривая распределения характеризуется двумя величинами — математическим ожиданием μ и стандартным (средним квадратическим) отклонением σ , которое является корнем из величины, называемой «дисперсией» — σ^2 (см. выше — таблицу 1.3.1). Среднее квадратическое отклонение показывает, на какую величину чаще всего случайная величина X отклоняется от μ (см. рис. 1.4.1). Аналитическое выражение зависимости $W(x)$ имеет вид:

$$W(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}} \quad (1.4.1)$$

Для специалиста важно понять «физический смысл» нормальной кривой. Нормальная кривая служит хорошим приближением фактического распределения всякий раз, когда рассматриваемая случайная величина представляет собой сумму большого числа независимых случайных величин, максимальная из которых мала по сравнению со всей суммой.

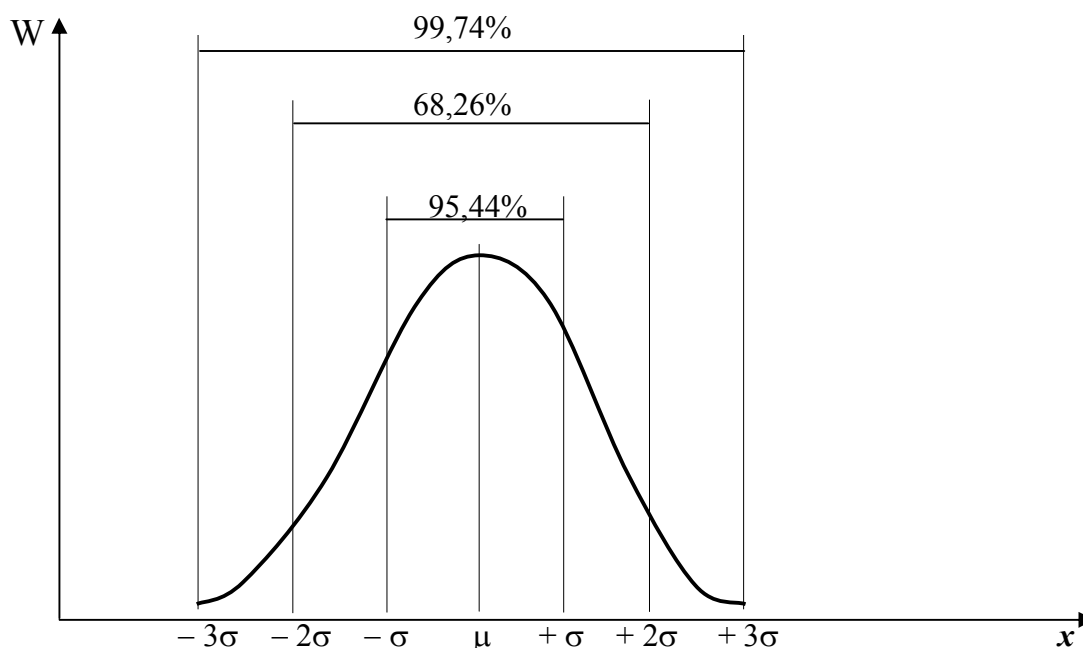


Рис. 1.4.1 Нормальное распределение случайной величины

У нормальной кривой несколько замечательных свойств. Назовем два из них.

Первое состоит в том, что эта кривая касается оси абсцисс в бесконечности справа и слева от среднего значения μ . Этот факт означает то, о чем мы говорили выше: никакое значение никакой случайной величины, имеющей нормальное распределение, не является невозможным.

Второе свойство состоит в том, что практически все значения данной случайной величины (около 99,74%) расположены на расстоянии не более плюс-минус 3σ от среднего значения μ . Это свойство называется «правилом трех сигм» и играет очень важную роль в менеджменте качества. Оно означает, что если процесс описывается нормальным распределением показателя качества, то вероятность того, что этот показатель качества выйдет за пределы плюс-минус 3σ от среднего значения μ , пренебрежимо мала (равна примерно 0,26%). При этом, как показано на рис. 1.4.1, в пределах $\mu \pm \sigma$ располагается основная часть значений данной случайной величины (около 68%), а в пределах $\mu \pm 2\sigma$ — около 94% значений. В двух крайних областях, лежащих между отклонениями $\pm 2\sigma$ и $\pm 3\sigma$, содержится суммарно 5,74% значений случайной величины. Оставшиеся примерно 0,26% лежат справа и слева от границ $\mu \pm 3\sigma$ до плюс и минус бесконечности.

Форма кривой нормального распределения зависит от величины σ . При «малом» σ кривая — высокая и узкая (кривая 1 на рис 1.4.2). При «большом»* значении σ кривая распределения «расползается» вправо и влево от значения μ (кривая 4 на рис 1.4.2). Кривые 2 и 3 на рис. 1.4.2 характеризуют распределения с промежуточным значением σ .

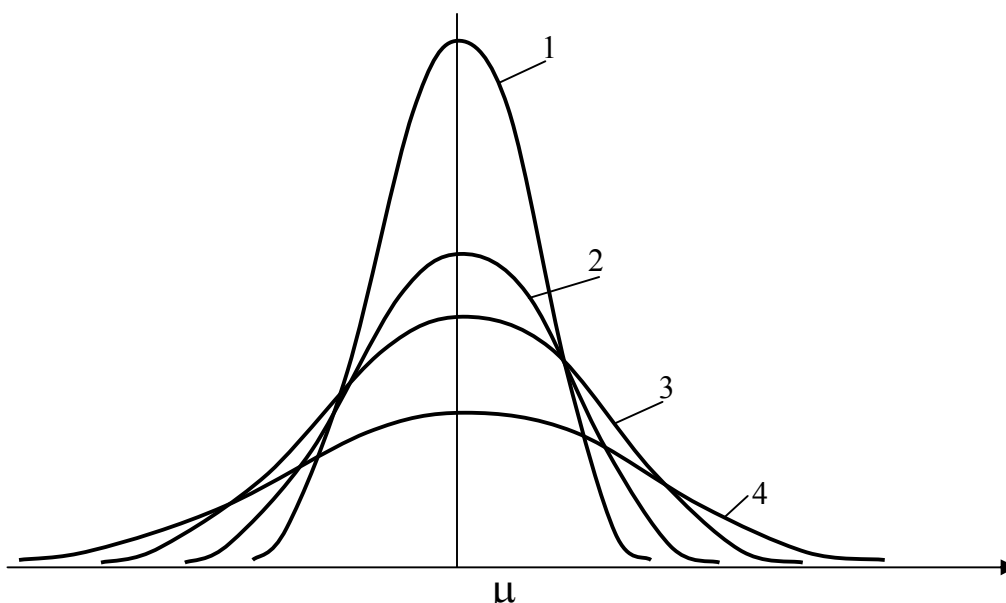


Рис. 1.4.2. Варианты нормального распределения

Пусть при изготовлении изделия с номинальным значением параметра $x = \mu$ этот параметр распределен по нормальному закону с центром именно в точке μ . (Рис. 1.4.2). Тогда очевидно, что чем больше σ , тем меньше изделий имеет величину параметра ровно $x = \mu_0$. Другими словами, чем больше σ , тем ниже точность процесса изготовления данного изделия. Таким образом, «сигма —

* Слова «малое» и «большое» здесь и далее стоят в кавычках, так как эти оценки относительны. Сравнить непосредственно можно только значения σ , описывающие распределение одного и того же параметра.

враг высокого качества». Кривая 4 на рис. 1.4.2 характеризует партию изделий худшего качества, чем кривая 1.

Если же кривыми 1 и 4 характеризуются оценки качества единичных объектов, то можно сказать, что оценка первого объекта вызывает меньше противоречий, чем оценка четвертого объекта.

Большое значение для теории и практики имеет задача определения вероятности $P(x_1 < X < x_2)$ нахождения случайной величины X , следующей нормальному закону, в интервале (x_1, x_2) необходимо вычислять определенный интеграл вида

$$P(x_1 < X < x_2) = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} \int_{x_1}^{x_2} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}} dx = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{\frac{x_1-\mu}{\sigma}}^{\frac{x_2-\mu}{\sigma}} e^{-\frac{z^2}{2}} dz \quad (1.4.2).$$

Однако, неопределенный интеграл вида

$$\int e^{-\frac{z^2}{2}} dz$$

не выражается через известные элементарные функции. Поэтому для вычисления величины $P(x_1 < X < x_2)$ используют определенный интеграл вида:

$$\Phi_0(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^z e^{-\frac{v^2}{2}} dv,$$

называемый *нормированной функцией Лапласа*, или просто *функцией Лапласа*.

Если воспользоваться функцией Лапласа, то $P(x_1 < X < x_2)$ определяется из соотношения:

$$P(x_1 < X < x_2) = \Phi_0\left(\frac{x_2 - \mu}{\sigma}\right) - \Phi_0\left(\frac{x_1 - \mu}{\sigma}\right) \quad (1.4.3),$$

причем значения $\Phi(z)$ берутся из таблиц, имеющих во многих книгах по статистике.

Примеры использования соотношения (1.4.3) приведены в параграфе 7.3.

Помимо величины σ , точность процесса изготовления данного изделия оценивается расстоянием центра фактического распределения параметра X данного изделия (математического ожидания величины X) от его номинального (наилучшего) значения.

На рисунке 1.4.3. приведены примеры нормальных распределений показателя качества (параметра) X в трех совокупностях объектов (партиях продукции) — А, Б и Д. При этом: μ — номинальное значение параметра X ; X_H и X_B — соответственно, нижняя и верхняя границы поля допуска параметра X .

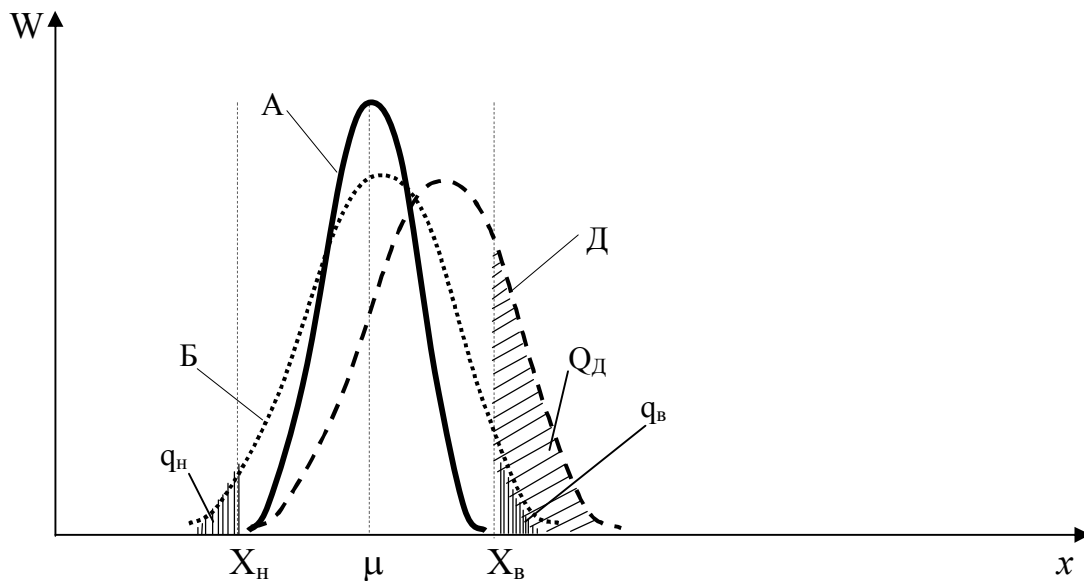


Рис. 1.4.3. Примеры распределений показателя качества X в трех совокупностях (партиях продукции)

Из рисунка 1.4.3 видно, что в партии А брака нет, центр распределения параметра X совпадает с номиналом. В таком случае говорят, что процесс настроен оптимально.

В партии Б центр распределения параметра X совпадает с номиналом, т.е. центр процесса настроен оптимально. Однако разброс параметров настолько больше, чем в случае А, что имеется брак: параметры части изделий выходят за нижнюю границу (доля таких изделий составляет q_n), параметры другой части изделий выходят за верхнюю границу (доля таких изделий составляет q_v) — соответствующие области под кривой «Б» заштрихованы. Поскольку в данном случае $q_n = q_v$.

В партии Д центр распределения параметра X смещен относительно номинала, а разброс параметров примерно равен разбросу в случае Б. При этом также имеется брак: параметры части изделий выходят за верхнюю границу X_v (доля таких изделий составляет Q_d).

На рисунке 1.4.4, заимствованном из ГОСТ Р 50779.44 (подробнее об этом стандарте см. приложение 1), приведена графическая иллюстрация трех типичных состояний процесса, который анализируется с помощью пяти распределений параметров продукции этого процесса в выборках, замеренных последовательно через некоторые промежутки времени.

Подводя итог параграфа, следует подчеркнуть, что:

- адекватная оценка качества может быть дана только с помощью **распределения;**
- **управляя процессами, мы управляем распределениями показателей качества продукции этих процессов;**

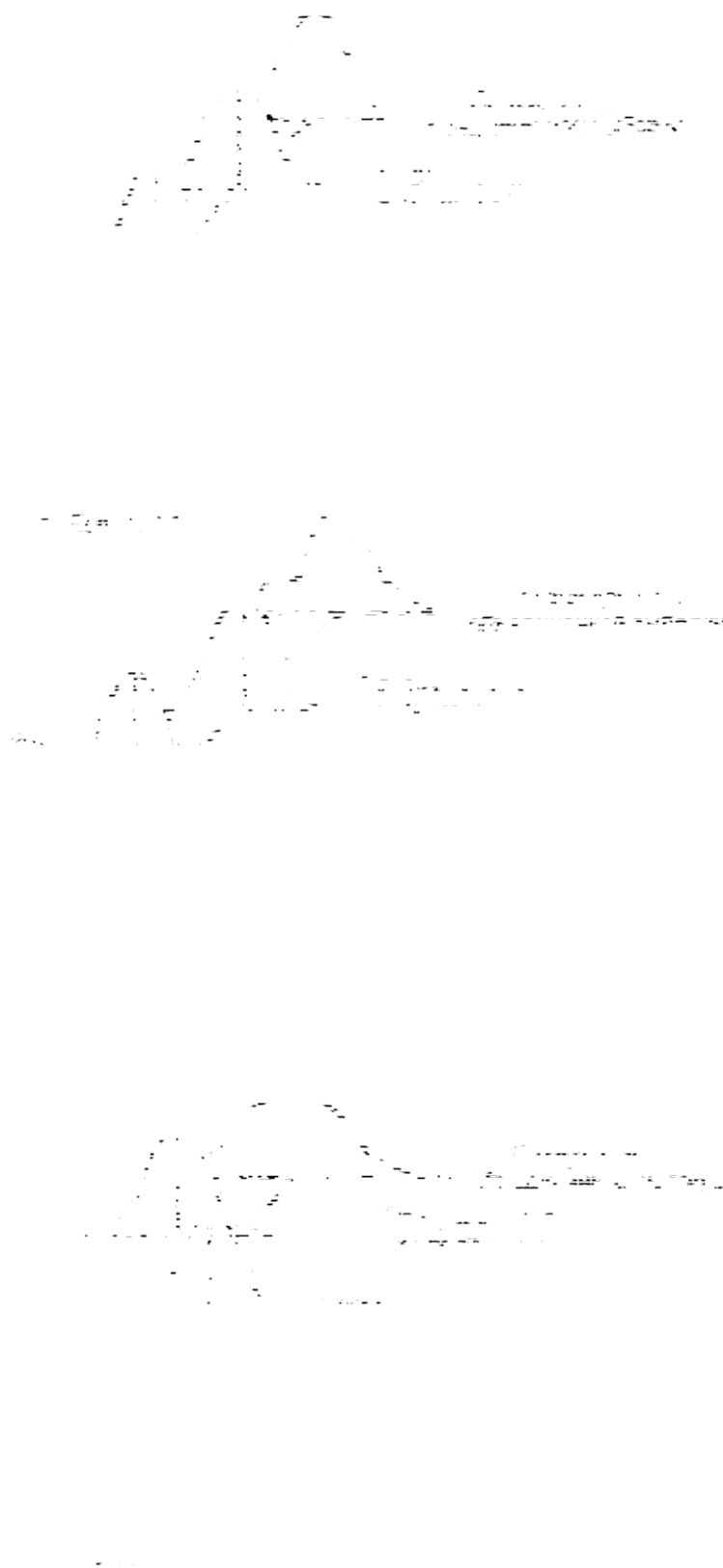


Рис. 1.4.4. Графическая иллюстрация типичных состояний процесса

- не зная, каково распределение показателей качества результата процесса, мы не знаем, каково качество данной продукции; следовательно,

мы не знаем, хорошо ли протекает процесс, и не знаем, каково качество управления данным процессом;

- чем «шире» распределение, характеризующее качество, тем это качество менее однородно; а если речь идет об изготовлении продукции, то при «широком» распределении качество более низкое, чем при «узком»^{*}.

В последнем положении мы не говорим, что при широком распределении качество всегда хуже, чем при узком. Поскольку, когда оценка не регламентирована какими-либо определенными требованиями, и оценку, например, дают люди (эксперты), эта оценка может быть ошибочной. Так, большинство немцев в середине 30-х годов XX в. высоко оценивало нацизм, а в середине 90-х годов XX в. очень многие россияне высоко оценивали деятельность фирмы МММ, которая, фактически обкрадывала большинство своих клиентов. То есть какое-то время соответствующие оценки качества наверняка были «узкими». Однако, как показало время, оба эти явления оказались очень далекими от истинных потребностей людей.

1.5. Предмет математической статистики

Термин «статистика» имеет более 200 различных определений. Он происходит от латинского «status» — государство и в буквальном переводе означает «государственная арифметика». Статистика исследует различные стороны жизни людей. Для нас важно, что статистика служит основанием для принятия решений. В условиях, когда запас наблюдений ограничен, а получаемые значения наблюдаемых величин изменчивы, принять решение можно только на основе анализа поведения (то есть распределения) этих величин. Методы такого анализа и называются статистическими, или короче — статистикой.

Приведем определение. **Статистика** — это получение, обработка, анализ и публикация информации, характеризующей количественные свойства объекта. **Примечание.** Термином «статистика» также называют ряд чисел, характеризующий какой-либо объект, и числовые характеристики случайной величины, в частности среднее значение и дисперсию.

Как мы видим, никакого намека на массовость в этом определении нет. И ключевым, возможно, самым важным для менеджмента качества, является слово **публикация**. Только тогда, когда результаты тех или иных действий публикуются, есть шансы на хороший результат. Причем публикация не означает, конечно, передачу по радио или что-то в этом духе. Просто результаты работы каждого исполнителя должны быть известны ему самому, его руководителям и коллегам, для которых это имеет значение. В этом смысле публикацией, например, являются записи о фактических параметрах в сопроводительную документацию на продукцию.

Подробнее на статистических методах мы остановимся в главе 3.

Для менеджмента существенно, что статистика — инструмент для обнаружения ошибки. Причем «ошибки» не в смысле простой «просчет», когда наши

^{*} При одном и том же математическом ожидании параметра.

глаза или уши обманывают нас. Или ошибаются используемые нами инструменты, или мы делаем ошибку при арифметических подсчетах. Эти ошибки тоже изучаются статистикой. Но они не принципиальны. Ошибка эксперимента есть нечто более существенное, чем обман зрения или неточная рулетка.

Пока никто не смог объяснить, почему случайные процессы подчиняются математическому описанию и график этого описания имеет форму колокола. Это — одна из тайн природы (или Господа Бога), однако это — факт. Кроме нормального, известны и другие распределения. Так, интенсивность космического излучения подчиняется закону Пуассона. Этот закон говорит нам, какое число длинных и коротких интервалов интенсивного излучения будет иметь место в будущем, но мы никогда не можем знать заранее, каким будет следующий интервал — длинным или коротким. Гораздо раньше этот закон был применен учеными для описания частоты смертей в кавалерии от удара копытом лошади. Сейчас этот факт почти исключен вместе с кавалерией, однако распределение Пуассона «работает» при поломках техники, при расчете нагрузки линий связи, при прогнозе появления вакантных мест в Верховном суде вследствие смерти или ухода в отставку и т.д. При анализе надежности технических устройств и оптимизации их технического обслуживания часто используется закон Вейбулла, и т.д. В данной книге эти законы и способы их применения не рассматриваются.

Именно факт наличия закономерностей в проявлении случайных событий используется специалистами в менеджменте качества для отделения «чисто» случайных процессов от процессов, в которых один из факторов оказывает на результат большее влияние, чем остальные. Такие факторы называют «систематическими». И именно те процессы, в которых установлено наличие систематических факторов, должны являться предметом внимания и воздействия на предприятии.

Примером различия случайного и систематического факторов может служить такая ситуация. Токарь изготовил деталь, диаметр которой оказался меньше допустимого по чертежу, — это вполне может быть результатом действия случайности. После этого токарь, желая скрыть допущенный брак, находит где-то подходящую по размерам заготовку из непроверенного материала, делает из нее годную по диаметру деталь, и деталь отправляется потребителю.

Подобная ситуация вполне может привести к быстрому выходу детали из строя, и это будет уже результатом наличия систематического фактора.

Или другой пример. Закономерность случайного разрыва звеньев тракторных гусениц может быть нарушена в результате систематически плохого содержания тракторов — количество разрывов будет выше, чем предсказано с помощью распределения Пуассона. Или наоборот — в результате тщательного контроля за их состоянием количество разрывов гусениц станет меньше. Именно система организации работ — в том числе воспитание работников, хранение заготовок, контроль и анализ — приводит к появлению брака или к его предотвращению.

На практике всегда необходимо выяснять, какой фактор искажает нормальное течение процесса, и устранять его или снижать его воздействие на результат.

1.6. Качество, информация, энтропия

В части 1 книги, в разделе 1.3, качество рассматривается как информация о свойствах объекта.

Точку зрения на качество, как информацию о свойствах объекта, нельзя считать определением, хотя бы потому, что и понятие информации трактуется по-разному, и единственного общепризнанного определения информации пока не существует. Вместе с тем, информация имеет несколько аспектов, по которым среди специалистов расхождений нет. Отметим два таких аспекта.

Первый аспект состоит в том, что информация понимается как мера уменьшения неопределенности при совершении какого-либо события.

Второй аспект заключается в связи понятий информации и энтропии. По определению Л. Бриллюэна, информация есть отрицательный вклад в энтропию [1]. При этом главное, на что мы здесь обращаем внимание, состоит в том, что отсутствие информации есть свойство объекта, а не того, кто за объектом наблюдает. Объективной же мерой отсутствия информации, мерой принципиальной невозможности знания объекта и является энтропия [2]. С другой стороны, энтропия объекта равна максимальной информации данного объекта, т.е. она характеризует его существенную определенность — качество.

Отсюда следует, что к созданию, оценке и анализу качества в менеджменте можно подходить с учетом того, как подходят к созданию, оценке и анализу информации.

Информационные методы в менеджменте качества разрабатываются многими авторами. Причем, в частности, отмечается, что информацию можно трактовать как отражение случайной выборкой изучаемого явления. Подробно информационный подход для анализа данных о качестве рассмотрен, например, в монографии [3]. Авторы [3] утверждают, что энтропия выражает внутреннее информационное единство многообразия вопросов, отражающих состояние технологического процесса.

Посмотрим, как можно оценить качество объекта в единицах измерения количества информации или величины **энтропии***, т.е. в битах [4].

Наиболее разработанной здесь является методика расчета энтропии объекта A , имеющего k различных состояний, причем известна вероятность p_i каждого из этих состояний. При этом энтропия объекта A , в битах, определяется по формуле Шеннона:

$$H(A) = - \sum_{i=1}^k p_i \log p_i, \quad (1.6.1)$$

где имеются в виду двоичные логарифмы.

На рисунке 1.6.1 приведены гистограммы распределений некоторого параметра Y в двух различных партиях изделий, для которых установлены верхний

* Предполагается, что читатель знаком с понятием «энтропия».

(Y_B) и нижний (Y_H) пределы допуска на величину Y , а центры распределений совпадают с серединой поля допуска (Вообще, здесь и далее в данном параграфе речь идет о «центрированных» параметрах, или о параметрах, приведенных к номиналу — когда этот номинал существует).

В статье, из которой взят данный пример, с помощью таких гистограмм рассмотрена ситуация оценки качества телевизоров одной марки, но двух разных производителей. При этом показано, что качество изделий, характеризуемое гистограммой «а», лучше качества изделий, характеризуемого гистограммой «б». Здесь мы не будем подробно останавливаться на содержательной стороне примера, а посчитаем энтропию партии изделий, характеризуемых величиной параметра Y для двух рассматриваемых партий с помощью формулы (1.6.1). При этом вероятности p_i будем считать равными соответствующим относительным частотам.

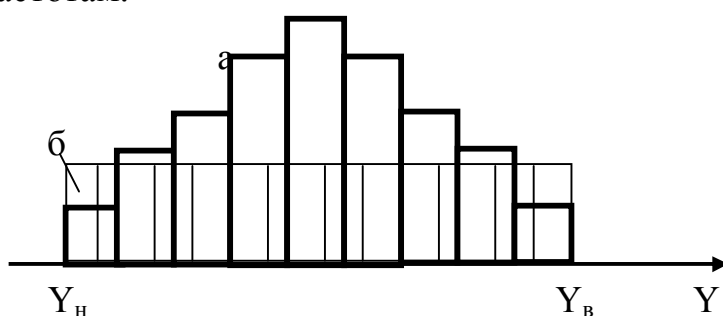


Рис 1.6.1. Гистограммы распределений параметра Y для двух партий изделий

Для гистограммы «а»: $p_1 = p_9 = 0,048$; $p_2 = p_8 = 0,088$; $p_3 = p_7 = 0,128$; $p_4 = p_6 = 0,152$; $p_5 = 0,168$. Для гистограммы «б», содержащей 12 интервалов, все значения p_i одинаковы и равны $1/12 = 0,083$. Т.е. гистограмма «б» соответствует равномерному распределению, а гистограмма «а» — в некотором приближении — нормальному.

С помощью таблиц, содержащих значения H при данном p_i , имеющихся, например, в [2], определяем (в битах) по формуле (1.6.1): для гистограммы «а»: $H_a(A) = 3,0555$; для гистограммы «б»: $H_b(A) = 3,576$. Таким образом, сравнение качества двух рассматриваемых партий, данное на уровне суждения («партия «а» лучше партии «б»), получает количественное подтверждение: энтропия (т.е. неопределенность характеристики) совокупности изделий типа «б» выше, следовательно, качество этой совокупности изделий хуже, чем качество совокупности изделий типа «а».

Отметим, что если гистограмма равномерного распределения «б» содержала бы 9 интервалов — так же как гистограмма «а», то при этом для гистограммы «б»: $p_i = 1/9 = 0,111$, и $H_b(A) = 3,162$. То есть величина оценки энтропии тех же изделий снизилась. Но это связано, конечно, не с изменением их качества, а со снижением точности самой оценки, или — в терминах рисунка 1.3.1 из [1] — с увеличением «толщины» физического и (или) семантического фильтров: чем менее точна оценка, тем меньше различимо качество.

В общем случае, когда различные состояния объекта нельзя пронумеровать, так как они непрерывно переходят одно в другое, причем каждое отдель-

ное состояние имеет вероятность, равную нулю, а распределение вероятностей непрерывно и характеризуется некоторой плотностью $f(y)$, формула (1.6.1) принимает вид [5]:

$$H(A) = - \int_{-\infty}^{\infty} f(y) \log f(y) dy - \log \varepsilon, \quad (1.6.2)$$

где: y — значения случайной величины Y ; ε — погрешность определения состояния объекта, или погрешность измерения величины Y .

Из формулы (1.6.2) следует принципиальный вывод: при стремлении ε к нулю величина $(-\log \varepsilon)$ и вслед за ней величина $H(A)$ стремятся к бесконечности, что естественно, так как чем точнее мы хотим определить состояние объекта, тем большую неопределенность мы должны устранить; и при безграничной точности эта неопределенность также растет неограниченно. Таким образом, это свидетельствует о том, что устранить физический фильтр (см. рис. 1.3.1 из [1]) невозможно, и подтверждает адекватность предложенной модели качества как информации о свойствах объекта.

Для практических задач целесообразно задаться некоторой ограниченной малой величиной ε и определять так называемую «приведенную энтропию» [5]:

$$H_n(A) = - \int_{-\infty}^{\infty} f(y) \log f(y) dy$$

На рисунке 1.6.2 сплошными линиями изображены, аналогичные гистограммам рис. 1.6.1, непрерывные нормальное и равномерное распределения параметра Y , причем размах R этих двух распределений одинаков и равен $R = Y_B - Y_H$. Для этих распределений можно показать [5], что:

для нормального:

$$H_n(A)_n = \log(\sqrt{2\pi e} \sigma_y) \quad (1.6.3),$$

где σ_y — стандартное отклонение;

для равномерного:

$$H_n(A)_p = \log(Y_B - Y_H) = \log R \quad (1.6.4).$$

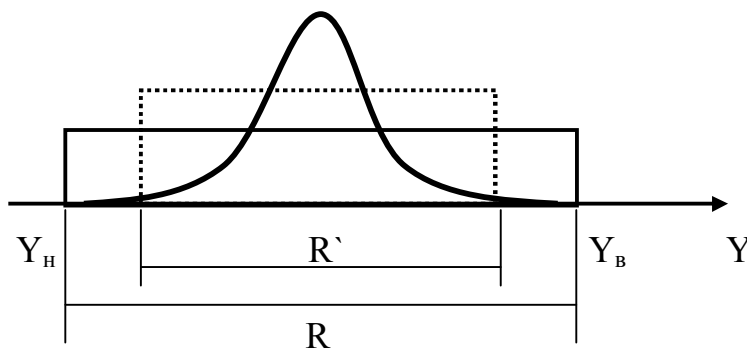


Рис. 1.6.2. Распределения параметра Y для трех партий изделий

Подставив в выражение (1.6.3) известные приближенные значения констант и значение $\sigma_y = R/6$, можно рассчитать:

$$H_{II}(A)_H = \log\left(\sqrt{2 \cdot 3,142 \cdot 2,718 \cdot R / 6}\right) \approx \log(0,689 \cdot R).$$

То есть, в общем случае, при постоянном размахе параметра, энтропия выше (и, как видим, — качество хуже) в случае равномерного распределения этого параметра. Однако, здесь необходимо отметить важную деталь: при равных размахах стандартное отклонение равномерного распределения σ'_y больше, чем стандартное отклонение нормального σ_y :

$$\sigma'_y = \frac{R}{2\sqrt{3}} = \sigma_y \sqrt{3}$$

Если же стандартные отклонения двух рассматриваемых распределений равны, то размах равномерного R' будет меньше, чем у нормального, т.е. при $\sigma'_y = \sigma_y$ имеем:

$$\frac{R}{6} = \frac{R'}{2\sqrt{3}} \quad \text{и} \quad R' = \frac{R}{\sqrt{3}}$$

Соответствующее равномерное распределение приведено на рис. 1.6.2 пунктирной линией. В этом случае приведенная энтропия параметра, имеющего такое распределение:

$$H'_{II}(A)_p = \log R' \approx \log(0,577 \cdot R)$$

То есть при равных стандартных отклонениях энтропия партии, имеющей равномерное распределение, меньше энтропии партии, имеющей нормальное распределение параметра. Следовательно, в данном случае качество первой партии лучше. Этот вывод нетрудно сделать и из рисунка 1.6.2: пунктирная линия характеризует ситуацию, когда параметры самых плохих изделий существенно отстоят от границ допуска, и теоретическая вероятность появления брака равна нулю. В то время как при нормальном распределении запаса нет, и теоретическая вероятность появления брака равна примерно 0,0027.

И еще одно замечание. Величина энтропии, определяемая по формуле Шеннона, не может претендовать на полный учет всех факторов, обуславливающих «неопределенность опыта»*. В нашем случае, оценивается не качество партии (или даже выборки) в целом, а только один его показатель — параметр Y . И только для тех целей, которые регламентированы указанными допусками.

Как показано в работах математиков, при заданных вторых центральных моментах n -мерного или бесконечномерного параметра соответствующая энтропия максимальна в случае нормального распределения. Это обстоятельство в связи с предложенным подходом к оценке качества является очень существ-

* Подробнее см. Яглом А.М., Яглом И.М. Вероятность и информация. - М.: Наука, 1973. — 512 с., с. 111.

венным. В частности, из него следует, что при постоянной точности процесса производства, максимальную информацию мы получаем, используя продукцию с нормальным распределением параметров (поскольку количество информации, приобретаемое при полном выяснении состояния объекта, равно энтропии этого объекта ([5], с. 481). Следовательно, нормальное распределение показателя качества является предпочтительным по сравнению с другими распределениями, и это подтверждается практикой статистического анализа управления качеством промышленной продукции.

С другой стороны, когда мы хотим получить определенное значение параметра (номинал) и знаем его, качество (как цель) для нас состоит не в максимуме получаемой информации, а в минимуме неопределенности т.е. в минимуме величины $H(A)$, следовательно – в минимуме разброса (см. формулы (1.6.3) и (1.6.4)). Впрочем, взаимосвязь вида распределений параметров, характеристик этих распределений и соответствующей энтропии гораздо подробнее рассмотрена в монографии профессора СПбГПУ П.В. Новицкого*.

Здесь же отметим еще три принципиальных обстоятельства, связанных с предложенным подходом оценки качества.

Первое. Приведенные примеры делают достаточно ясным понимание качества серийной продукции, параметры которой, с одной стороны, являются случайными величинами и распределены непрерывно или дискретно, а с другой стороны четко регламентированы. Сложнее с качеством индивидуальных объектов, таких как самолет, дом, диссертация, статуя Аполлона и т.д.

Второе. Известно немало работ, в которых определяется величина энтропии и количество информации различных объектов. Так, М.В. Волькенштейн в [2], (стр. 40) пишет: «Энтропия в том или ином теле определяется экспериментально... Ее значение может быть вычислено и теоретически». При этом показано, как может быть определена энтропия четыреххлористого углерода, графита и серебра. На стр. 172 в той же книге даны расчеты количества информации в цепи ДНК и синтезированной белковой цепи. В упомянутой книге «Вероятность и информация» приведены примеры определения энтропии букв алфавита, информационных характеристик различных языков, текстов телеграмм, литературных и музыкальных произведений, телевизионного изображения.

Третье. Не вызывает сомнения важнейшая роль информации в духовной жизни людей. Вместе с тем, информация лежит и в основе биологической жизни. Этот вопрос достаточно подробно исследовал физик Э. Шредингер**. Специалист по кибернетике физиолог Н.А. Бернштейн писал: «Среда, как все неживые совокупности, движется согласно второму принципу термодинамики, всегда в направлении возрастания энтропии. Организм и в своем онтогенетическом формировании и во всех проявлениях активности по ходу жизни движется негэнтропически, добиваясь и достигая понижения уровня энтропии в самом

* Новицкий П.В. Основы информационной теории измерительных устройств. Л. Энергия 1968г. 248с.

** Шредингер Э. Что такое жизнь? Физический аспект живой клетки. – М. – Ижевск: НИЦ «РХД», 2002. – 92 с.

себе и в объекте своего воздействия»*. Один из ведущих советских специалистов по кибернетике А.А. Ляпунов писал: «Жизнь можно охарактеризовать как высокоустойчивое состояние вещества, использующее для выработки сохраняющих реакций информацию, кодируемую состоянием отдельных молекул»**.

Это определение жизни, приведенная выше точка зрения Н.А. Бернштейна на роль негэнтропии и аналогичные выводы других авторов позволяют утверждать, что неосознаваемые человеком потребности его организма также состоят в увеличении упорядоченности (снижении энтропии). Следовательно, увеличение количества получаемой информации (снижение энтропии) является универсальной (и духовной, и физической) потребностью человека. Этот факт необходимо учитывать, при решении проблем менеджмента.

На основании изложенного в данном параграфе можно высказать следующие положения:

1. Информация и энтропия являются понятиями, которые, с одной стороны, представляют объективные свойства предметов, процессов и явлений, с другой — отражают потребности человека и, следовательно, могут быть использованы в менеджменте для объективной характеристики качества.

2. Оценка качества на основе оценки энтропии (количества информации) объектов не должна встречать принципиальных трудностей, и является «вопросом технологии», а более точное, по сравнению с современным, обоснование понятий «энтропия» и «количество информации», позволит сделать существенный шаг как в оценке и понимании качества, так и в менеджменте.

3. Исследование взаимосвязи качества, информации и энтропии является, на наш взгляд, весьма перспективным. На сегодняшний день практические методы использования связи этих понятий в менеджменте разработаны явно не достаточно.

* Бернштейн Н.А. На путях к биологии активности. // Вопросы философии, 1965, № 10. - С. 66-78.

** Ляпунов А.А. Проблемы технической и прикладной кибернетики. – М.: Наука, 1980. – 335 с.

ГЛАВА 2. О «СТАТИСТИЧЕСКОМ МЫШЛЕНИИ»

2.1 Эксперимент «воронка и мишень» Эдварда Деминга¹

Один из тезисов Э. Деминга — крупнейшего специалиста XX века по менеджменту, прежде всего по менеджменту качества — говорит о том, что зачастую наилучшие намерения, самые горячие усилия и усердная работа не обеспечат желаемого результата. Почему? Разве может быть что-то плохое в хороших намерениях и усердной работе? К сожалению, ответ утвердительный. Мы все знаем поговорку о том, что дорога в ад вымощена благими намерениями. Вариант Деминга таков: «Мы сами всё разрушим своими же усердными стараниями».

Если старания и усердная работа направлены на неправильные, вредные дела или на нужные дела, но не таким путем, как следовало бы, в конце концов, мы можем оказаться в гораздо худшем положении, чем были вначале. Чем сильнее человек бьется в зыбучих песках, тем быстрее исчезает в них.

Старания и усердная работа часто направлены на исправление тех вещей и явлений, которые бесполезны или вредны. Никто не говорит, что старания и усердная работа сами по себе плохи, но для того, чтобы эта добродетель была вознаграждена и принесла положительные результаты, а не разочарования знания, нужны знания — глубинные знания — как их называет Деминг.

Эксперимент «воронка и мишень», появившийся в результате предложения, сделанного Ллойдом Нельсоном Демингу в 1986 г., — достаточно простая физическая модель того, как даже большие усилия по улучшению могут закончиться плачевно. И этот эксперимент — вовсе не чисто академическое упражнение.

Эксперимент можно провести с очень простым оборудованием:

- Воронка вроде той, что найдется в любой кухне или гараже.
- Штатив-держатель для воронки, например настольная лампа, к которой воронку можно прикрепить проволокой.
- Небольшой шарик, который может пройти в отверстие воронки.
- Стол или другая горизонтальная поверхность, покрытая мягким отстирывающимся материалом, предпочтительно глаженным, чтобы не было складок, или лист плотной бумаги.
- Тонко пишущая ручка или заточенный карандаш.
- Линейка и транспортир или любой другой прибор для измерения расстояния и углов, не обязательно с большой точностью.

Мишень наносится на ткань, и воронка располагается над мишенью. Шарик бросают сквозь воронку, а положение, где он останавливается на столе, отмечают ручкой. Держатель и, следовательно, воронка могут передвигаться в соответствии с набором правил, которые мы сформулируем ниже. Шарик бросают в воронку во второй раз, позиция его остановки помечается, и воронка передви-

¹ По книге Г. Нива "Пространство доктора Деминга". М.: «Альпина Бизнес Букс». 2002.

гается вновь. Процесс нужно повторить несколько десятков раз. Какие правила для перемещения воронки мы можем рассмотреть? Деминг предлагает четыре.

Правило 1. Самое легкое: не двигайте воронку безотносительно к тому, где шарик останавливается. Компьютерное моделирование ста последовательных бросаний шарика в соответствии с правилом 1 дает результат, показанный на рисунке 2.1.1. Нет ничего удивительного в том, что мы получаем фигуру рассеяния приблизительно в форме круга с центром на мишени.

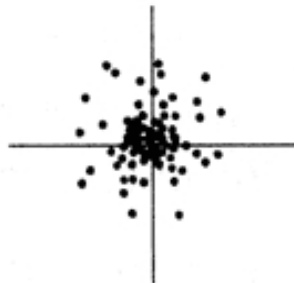


Рис. 2.1.1. Сто точек, полученных с применением первого правила воронки

Это не совсем то, чего нам хотелось бы. Мы стремились к тому, чтобы все шарики попали в центр мишени. Давайте постараемся улучшить дело.

«Давайте же что-нибудь делать. Не сидите просто так. Нужно что-то предпринять. Двигайте воронку!», — восклицает в такой ситуации не слишком квалифицированный руководитель.

В соответствии с правилами 2 и 3, воронка двигается таким образом, чтобы скомпенсировать то расхождение, на которое шарик отклонился от мишени. Мы опишем эти правила в обратном порядке, поскольку правило 3 (используя нумерацию Деминга) — простая и относительно грубая попытка компенсации, в то время как правило 2 — более тонкая.

Правило 3 работает следующим образом. Предположим, шарик остановился в шести дюймах к востоку от центра мишени. Тогда воронка двигается на запад *от центра* перед следующим броском. Или, если шарик останавливается на четыре дюйма на юго-запад от мишени, воронка двигается так, чтобы прицеливаться в точку на четыре дюйма на северо-восток *от центра* мишени перед следующим бросанием.

Очевидная слабость правила 3 в том, что при определении следующего положения воронки оно не принимает во внимание положения, занимаемого ею в текущий момент. Последствия этого легко проследить, если провести соответствующий эксперимент. Читатель может попробовать прорисовать эту ситуацию и выяснить, какое поведение будет наблюдаться в соответствии с правилом 3, прежде чем посмотреть на рисунок 2.1.3.

Правило 2 демонстрирует более разумную позицию передвижения воронки относительно ее предшествующего положения, а не по отношению к цели. Поэтому, возвращаясь к предшествующей иллюстрации, предположим, что шарик остановился в шести дюймах к востоку от мишени. Правило 2 двигает воронку на шесть дюймов к западу *от ее текущего положения*. И если на следующем

шаге шарик находится в четырех дюймах на юго-запад от мишени, то воронка двигается на четыре дюйма к северо-западу *от ее текущего положения*.

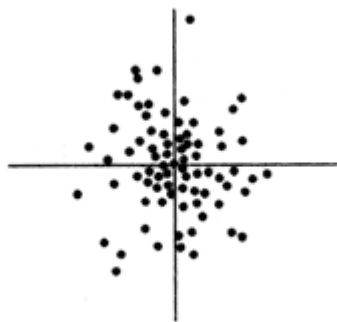


Рис. 2.1.2. Сто точек, полученных с применением второго правила воронки

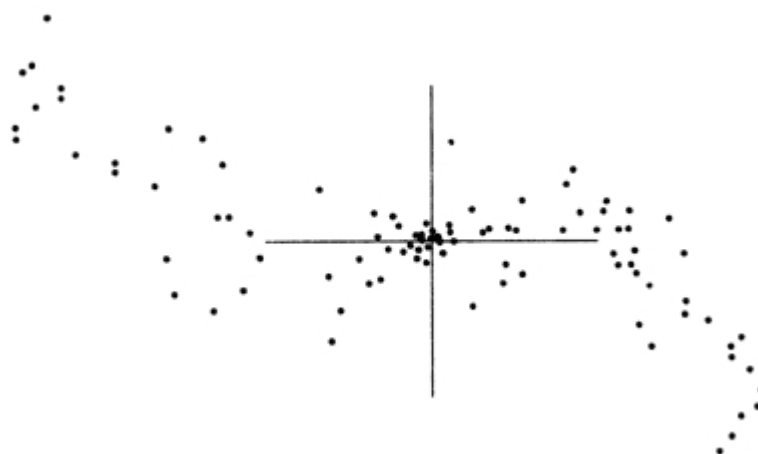


Рис. 2.1.3. Сто точек, полученных с применением третьего правила воронки

Рисунки 2.1.2 и 2.1.3 показывают характер расположения точек остановки шарика при использовании правил 2 и 3 соответственно. Правило 3 дает ужасающий результат. С течением времени общая тенденция такова, что шарик все дальше и дальше удаляется от центра, перемещаясь в последовательных бросаниях от одной части рисунка к другой.

Причина для сильных перемещений такова: если воронка, скажем, нацелена на три единицы к востоку от мишени, то и шарик, по всей видимости, закончит движение где-то в этой области, что предполагает правило 3; затем сдвинем воронку ориентировочно на три единицы к западу от мишени в следующем бросании. После этого она вернется назад на восток и т.д.

А теперь с надеждой обратимся к результатам «улучшенного» правила 2. Но какое разочарование! Конечно, дела не обстоят так же откровенно плохо, как в случае с правилом 3. Итак, мы вернулись к ситуации, дающей практически ту же круговую форму рассеивания результатов вокруг мишени. Но круг теперь больше, чем он был, т.е. разброс вырос, и ухудшилось качество наших попаданий. В действительности (хотя это нельзя точно рассчитать) любой ра-

зумный подход к измерению площадей двух кругов показывает, что площадь в случае использования правила 2 вдвое превышает площадь, соответствующую правилу 1.

Итак, великая идея оказалась никуда негодной. Что делать? По всей видимости, следует забыть о цели и в интересах улучшения качества сконцентрироваться *на минимизации изменчивости* между последующими бросаниями шарика. Таким образом, мы, видимо, можем улучшить однородность и воспроизводимость, хотя и сконцентрируемся на каком-то положении, отличном от первоначальной цели. Имеется очевидный путь к достижению этой цели. Это дает нам **правило 4**: на каждом шаге располагайте воронку непосредственно над тем положением, где шарик только что приземлился.

Ну что ж, одна часть этого описания верна. Правило 4 действительно минимизирует вероятное расстояние между отметками двух последующих бросаний. Поэтому на небольшом временном интервале это правило, кажется, действительно имеет некоторый смысл. Но будьте осторожны! Что произойдет в перспективе? Ответ приведен на рисунке 2.1.4. Поведение практически такое же плохое, как в случае правила 3: «система взрывается».

По мере продолжения эксперимента у шарика проявляется тенденция удаляться все дальше и дальше от мишени. Этому не приходится удивляться, учитывая, что мишень не фигурирует в наших вычислениях месторасположения воронки. Единственное настоящее отличие от правила 3 — положение шарика не колеблется с одной стороны картины к другой, оно непрерывно удаляется от центра в некотором общем направлении.

«Все это ведет лишь к ухудшению положения дел!» — может воскликнуть в такой ситуации не слишком квалифицированный наблюдатель. Или: «Хотели, как лучше, а получилось, как всегда».

Выяснив сущность правила 2, мы легко можем сделать следующий шаг и рассмотреть, как проявляется вмешательство в других, менее формализованных, но более серьезных — практических — случаях. Рабочие, которых хвалят или ругают в зависимости от того, оказались ли их показатели выше или ниже средних (тогда как их работа на самом деле соответствует статистически управляемой ситуации), подвергаются воздействию в соответствии с правилом 2 или, возможно, другими правилами, а общий результат их работы будет поэтому более вариабельным.

Несколько слов для пояснения. Читатель, безусловно, прав, когда считает, что какая-то реакция на инцидент, ошибку или отказ иногда может быть оправданной. В самом деле, действия, направленные на успокоение потребителя или выплату ему и другим пострадавшим компенсаций, могут быть необходимы или как минимум желательны. Тип действий, по поводу которых Деминг проявляет озабоченность, — это **воздействия на процесс или систему из-за появления сомнительного изолированного события**.

Итак, как же это согласуется с теоретическими предпосылками эксперимента «воронка и мишень»? Ответ заключается в том, что в основе таких экспериментов лежат **два фундаментальных предположения**.

Одно из них таково: воронку действительно можно установить точно над целью или над любой другой точкой.

Второе: процесс, дающий отклонение от цели, находится в статистически управляемом состоянии.

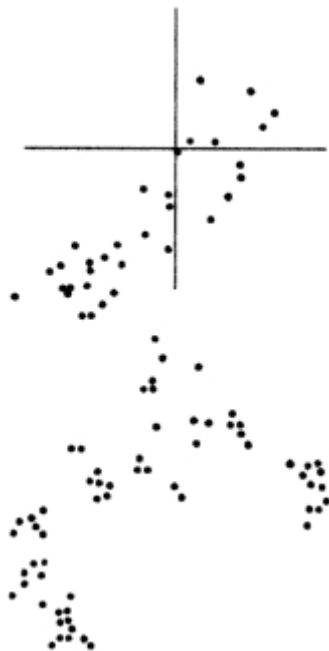


Рис. 2.1.4. Сто точек, полученных с применением четвертого правила воронки

Если второе предположение неверно, а первое хоть как-то выполняется, правило 2 может давать лучший результат, чем правило 1. Т.е. может быть относительно полезным, вести настройку по результатам исследовательских наблюдений. Так, в частности, если среднее процесса изменяется в некоторых пределах непредсказуемым образом, правило 2 позволяет отслеживать его особенности. Такое отслеживание не будет полностью безнадежным, если среднее изменяется на небольшую величину между шагами. Примером такого «гуляния» среднего как источника особых причин вариаций служит старение катализаторов и колебания содержания основного компонента в руде в процессе выплавки металла. Конечно, результат с точки зрения разброса и близко не будет так же хорош, каким он был бы, если процесс мог быть поставлен под контроль, т.е. когда катализаторы вовремя обновляются, а колебания содержания основного компонента в руде незначительны.

Следовательно, ключевым становится вопрос, **находится ли определяющий процесс в статистически управляемом состоянии или нет**. Если да, тогда правило 2 вредно, если нет — оно может быть полезным. Другими словами, **в процесс, находящийся в статистически управляемом состоянии, вмешиваться не следует**. Поэтому важный момент в изучении того, что касается реакции на любые происшествия, ошибки, жалобы и т.д., — будут ли они частью системы? Иными словами, вызваны ли они некоторыми исключительными особыми причинами, либо процесс описывается нормальным распределением показателя качества, и мы просто имеем дело с относительно высокими или низкими значениями, которые, тем не менее, находятся в пределах границ случай-

ного изменения (т.е. в пределах плюс-минус 3σ от среднего значения)? В первом случае действительно нужны некоторые действия для выявления причины этого особого случая, чтобы постараться предотвратить его повторное проявление.

Практическую иллюстрацию правила 3 найти не так легко. Основная причина этого заключается, прежде всего, в том, что правило 3 просто глупо. Основываясь на той же идее, что и правило 2, оно не принимает во внимание положение, в которое был нацелен прибор перед последней попыткой. К тому же, как мы видели, применение правила 3 вызывает настолько необузданное поведение системы, что на практике такое поведение будет быстро обнаружено, и даже если его причины не вполне понятны, будет принята другая стратегия. Тем не менее, проявления действия правила 3 не так уж невозможно обнаружить. Пусть мы стреляем из винтовки, и, предположим, пуля попадает на один дюйм выше цели. Не таким уж и неразумным покажется решение целиться на один дюйм ниже мишени, а не на один дюйм ниже точки, в которую прицеливались перед этим. Глупо, но вообразимо.

Полезным ключом к распознаванию проявлений действия правила 3 может быть наблюдаемое поведение системы, т.е. увеличивающаяся нестабильность с дикими скачками то в одну, то в другую сторону. Так как подобное поведение нежелательно, оно имеет тенденцию к проявлению только в том случае, если интервал времени, в котором протекает процесс, довольно велик. В качестве примера можно привести метания между левыми и правыми силами в политике или между свободой печати и цензурой.

Учитывая, что вред, наносимый правилом 2, ограничен (это ни в коем случае не означает, что им можно пренебречь), а правило 3 проявляется достаточно редко, на практике самые серьезные проблемы может создать правило 4. Однако и оно коварно. В очень узком смысле оно и в самом деле уменьшает разброс. Если две рассмотренные выше предпосылки справедливы, то нельзя не согласиться с тем, что возможным способом минимизации среднего различия между произвольно взятыми исходами будет прицеливание воронки на точку предшествующего исхода. Но долговременный эффект такой локальной оптимизации мы уже видели на рисунке 2.1.4.

Удачный способ понять, что происходит в случае действия правила 4, это представить себе игру в «испорченный телефон», которой иногда забавляются на вечеринках. Один человек шепчет другому одно или два предложения, тот затем шепчет то, что понял, третьему и т.д. К тому времени, когда сказанное доходит до пятнадцатого или двадцатого игрока, оно становится весьма отличным от того, каким было вначале.

Деминг приводит три примера действия правила 4. Первый — это оператор, который старается достичь однородности, пытаясь сделать каждый предмет таким же, как предшествующий. Второй случай, непосредственно связанный с первым, — практика подбора цветов, когда каждая партия материала, или краски, или обрабатываемой фотопленки подбирается как можно более близко к предшествующей партии.

Третий пример — практика обучения рабочего рабочим. Люди, участвующие в рабочем процессе, обучают новенького. Через три дня он уже «ветеран» и считается уже вполне готовым к обучению других новичков, которые, в свою очередь, через несколько дней обучают новое поколение. Почему так делается? Одна из причин очевидна: это дешево. Вспомним одно из правил Э. Деминга: «Менеджеры пытаются экономить копейки, они игнорируют огромные потери».

Извинительна в принципе (хотя и не на практике) та причина, что существует общая уверенность, будто тот, кто делает определенную работу, знает ее лучше, чем кто-либо другой. Так оно и есть по отношению к некоторой части этой работы. Но **частичное знание — это неправильно, неверно, опасно**. Идея иметь сотрудника, обучающего других, выглядит отлично. Но с течением времени результат будет уходить все дальше и дальше от желаемого. В этом случае мы действительно применяем правило 4 и участвуем в процессе, который статистики определяют как «случайное блуждание» с удалением от цели. Практика, когда рабочий обучает рабочего, может давать еще более плохой результат, поскольку процесс обучения требует знания методов обучения: без их знания будет возникать дополнительное отклонение от цели.

И все же наихудший эффект от практики, соответствующей правилу 4, возникает на высшем уровне руководства: Когда руководители работают совместно, не используя принципов «глубинного знания»*, основываясь на правиле 4, они удаляются в безбрежную даль от цели, стараясь при этом изо всех сил.

Как только смысл этих идей доходит до сознания учащихся, уже имеющих опыт практической работы, они приводят многочисленные примеры неправильных воздействий, когда усилия в большей степени направляются на нейтрализацию последствий, чем на их первопричины, включая обвинения работников, не имеющих никакого отношения к причинам. Например, перебранки с официантами по поводу плохого качества пищи, возложение вины за потерянные полотенца на горничную в гостинице и т.п.

Другие предложения Деминга, инициированные отдельными нежелательными случаями, касались системы прогнозирования и планирования расходов, включая обязательность расходования остатка бюджетных средств в конце года под угрозой их урезания в следующем году; привязки уровня зарплаты к уровню инфляции; пересмотра учебных курсов на основе отзывов отдельных студентов; ежеквартальные перераспределения материальных затрат и усилий с целью достижения нужных для квартального отчета результатов; занижения цены по сравнению со среднерыночной; планирования длительности предстоящего совещания на основе продолжительности предшествующего; привлечения консультантов по преодолению проявлений некоторой проблемы, а не нахождению того, почему она появляется; остановка производственной линии, как только что-то выходит за границы допусков; снятие копии с копии; введение торговых барьеров; распространение ядерных технологий.

* В России иногда говорят, что решения принимаются «по понятиям»

Эксперимент «воронка и мишень» — это отличный пример того, как очень простое средство может продемонстрировать глубокие и мудрые идеи. Не давайте этой простоте ввести вас в заблуждение: смысл, который она несет, чрезвычайно важен. Смысл может быть раскрыт только с помощью принципов и методов кибернетики, которые Деминг (не без основания) называет «системой глубинных знаний».

2.2. Стандарты iso серии 9000 и статистические методы²

Рассмотрим проблемы отдельного нового или только что приватизированного, достаточно типичного российского предприятия. Имеем:

- изношенные фонды;
- отсутствие новых заказов и снижение старых;
- полное невежество руководителей в вопросах менеджмента;
- коррупцию руководства районных властей, рэкет налоговый и др.;
- кумовство, местничество и круговую поруку в руководстве;
- отсутствие дисциплины и неуправляемость (воруют, пьют, посылают);
- хамство и неуважение к клиентам;
- запущенную бухгалтерию и отчетность;
- мусор, грязь и прочие спутники разрухи.

За что хвататься? Куда бежать? Кого увольнять? Где вложенные деньги?!!

Только без суеты. В данный момент нельзя действовать, нужно собирать достоверную информацию, загружать ее в «оперативную память» и переваривать. Все равно любые действия на данном этапе дадут только выплеск информации дополнительно к той, что и так нельзя переварить. Не нужно начинать наводить порядок с умножения хаоса.

Невозможно решить сразу все проблемы. Поэтому нужно решать только самые важные. Нужно отличать самые важные проблемы от просто важных. Для этого и необходимы статистические методы.

Вам нужно увеличить отдачу от людей, оборудования, сырья и денег, а сделать это могут только люди. Причем не все, а только квалифицированные. Стало быть, сначала нужно сконцентрировать усилия на главных процессах, на поиске ключевых людей, затем на методах мотивации, затем на собственно мотивации этих отобранных людей. Именно этого требует от предприятия стандарт ИСО 9001.

Немало ошибок совершается, когда люди пытаются управлять другими людьми при помощи чисто технократических методов. Разница между техникой и человеком состоит в том, что техника имеет дело только с количественно измеримыми величинами (напряжение, сопротивление, мощность), а деятельность человека измерима только качественными показателями (безопасность, удовлетворенность, ответственность...).

² В данном параграфе использован материал статьи М. Шустера «Классификационный подход. Истоки и роль статистических методов». Mail.ru. Информационная рассылка № 270. Апрель 2008. QUALITY - Менеджмент качества и ISO 9000.

Статистические методы анализа — это методология измерения результатов деятельности человека, то есть перевода качественных характеристик в количественные. Цель измерения — определение параметров взаимодействующих элементов — с тем, чтобы знать, как объединить эти элементы в работоспособную схему.

Рассмотрим некоторые требования ИСО 9001.

Ответственность руководства. Бессмысленно начинать реорганизацию по всему предприятию сразу. Каждый отдел и начальник с определенной силой влияет на общие результаты труда, и начинать нужно с тех, чье влияние максимально.

Анализ контракта, оценка поставщика. Если организация заключает 4 тысячи контрактов в год с тысячей поставщиков, бессмысленно даже мечтать о том, что все они могут быть адекватно проанализированы и оценены. Здесь нужны классификационные методы, которые выведут в зону внимания руководства только те контракты и поставщиков, которые действительно представляют угрозу.

Управление документами. Не нужно наводить порядок в управлении всеми документами сразу, это невозможно. Важно правильно определить, какие из них дают наибольший вклад в конечный результат. Нестрашно, если не все имеют должностные инструкции. А вот отсутствие описанного технологического процесса на сложное изделие — это уже серьезно.

И так далее.

Примечание. Тренированный разум, управленческий опыт и чутье, зачастую, дают много лучший результат, чем стандартные методы, будь то статистические или другие. Однако, эти методы абсолютно необходимы для придания выводам какой-то видимости наукообразия, поскольку так гораздо легче убеждать заказчика, или другого сомневающегося, в правильности предлагаемых мер. Кроме того, опыт — «сын ошибок трудных». Опыт, строго говоря, тоже — результат статистического анализа, и дается опыт дорогой ценой. Стандартные методы позволяют экономить человеческие силы, время и деньги.

Глобальным является принцип Паретто: 20% причин создают 80% неприятностей*. Стандарты ИСО писали люди, которые знали основные источники и области причин появления проблем. Именно 20% этих источников и обозначены в стандартах. Но поскольку никаким документом невозможно передать столь гигантский объем информации, она была сжата до уровня философии и спрятана между строк. Стандарты ИСО — не руководство к действию, а способ организации мышления.

2.3. «Вирусная теория» менеджмента

Современный специалист по менеджменту должен обладать «статистическим мышлением». Определение этого термина отсутствует в словарях. В предыдущих параграфах уже были изложены некоторые основные положения «статистического мышления». Оно представляет собой мировоззрение, адек-

* Подробнее о принципе Парето см. п. 3.3.

ватно отражающее положение на отдельном рабочем месте, на предприятии, на рынке и в жизни вообще. В отличие от наивной позиции, в соответствии с которой все явления имеют свои причины, все неприятности на предприятии происходят по вине людей и только злой умысел или ограниченность нашего знания не позволяет нам иногда этих людей или эти причины определить.

Истоки статистического мышления лежат в объективной реальности и в образовании, основанном на научном анализе реальности. Как отмечает С. Дайменд: *«Мыши и люди скрежещут зубами, специалист спокойно отмечает срыв своих планов как ошибку эксперимента».*

Статистическая концепция Американского общества качества звучит так: *«Статистическое мышление – это философия обучения и действий, основанных на следующих фундаментальных принципах: 1) вся работа протекает в системе взаимосвязанных процессов; 2) вариация присуща всем процессам; 3) понимание и снижение вариации – ключи к успеху».*

В современной практике менеджмента качества разработано представление о «вирусном» распространении вариаций процессов. Этот подход описан в замечательной книжке американского специалиста М. Трайбуса «Вирусная теория менеджмента» [6]. Приведем несколько отрывков из этой книжки. Цитаты довольно длинные, но «лучше не скажешь».

«В свое время врачи должны были узнать, что вирусы, хотя они и невидимы, могут различными способами передаваться от одного пациента к другому. Им пришлось поверить, что вирусы действительно существуют. Они должны были узнать про стерилизацию и антисептики. Им надо было привыкнуть к мысли об обязательности мытья рук. Наконец, они должны были изучить различные культуры вирусов и многообразные причины инфекционных заболеваний. Одним словом, медики были вынуждены сформировать новое представление о мире.

То же самое предстоит сделать и вам. Позвольте привести один пример. Рассмотрим предприятие, приобретающее литье (или даже имеющее свой собственный литейный цех). Металлические отливки, в процессе преобразования в детали, подвергаются последовательной механической обработке, осуществляемой на различных станках. Затем из различных обработанных деталей собирается изделие, в котором детали совершают возвратно-поступательное и вращательное движения, как предполагается, с определенной точностью.

Мы знаем, что металл, полученный литейным цехом, не абсолютно однороден. Всегда есть некоторые различия и составе и способах его обработки. Технологический процесс в литейном цехе тоже имеет некоторую нестабильность. Мы можем сказать, что эти процессы заражены вирусом изменчивости. В результате мы получаем отливки, различающиеся по составу, размерам, твердости и структуре. Причем разная твердость и структура встречается не только в разных отливках, но даже в разных местах одной отливки.

Когда такие отливки поступают на механическую обработку, то в скором времени вирус изменчивости заражает станки. Различия в твердости, например, приводят к неодинаковому износу инструментов, а рабочему становится

трудно точно задать скорость и подачу. Изнашивание инструмента становится непредсказуемым, как и обслуживание станка. Следовательно, инфекция распространилась и на склад с инструментами. Теперь трудно точно предсказать их срок службы. Значит, требуется увеличить запас инструментов. Теперь и запасы инструментов стали объектом сильной изменчивости. Невозможность предсказания потребности в обслуживании усложняет этот процесс, приводит к увеличению числа наладчиков, которых надо принять на работу.

Необходимость нанять и обучить сразу так много людей приводит к перегрузке учебного процесса и потому не все они оказываются одинаково подготовленными. Следовательно, система обслуживания также заражается вирусом изменчивости. Станок из-за различного обслуживания может отказать гораздо раньше, чем ожидалось. Недостаточно обученные рабочие не следуют в точности инструкциям и правилам обслуживания. Таким образом, вирус изменчивости из отдела обслуживания проникает в отдел кадров, где личные дела свидетельствуют о больших различиях в отношении работников к делу, тогда как фактически они подвергаются неконтролируемой (!) изменчивости. Они становятся жертвами лотереи, но ни сами работники, ни отдел кадров не понимают этого. Вирус изменчивости заражает каждый отдел, к которому прикасается».

«Так как менеджеры оценивают операторов индивидуально, ... поэтому они стремятся избавиться от „худшей половины” работников. Они и не подозревают, что их производство заражено вирусом изменчивости, и действуют в соответствии со своими представлениями. На все у них есть объяснение. Они уверены в своей правоте. При этом они не догадываются, что ломают судьбы некоторых работников и сами представляют опасность для процветания предприятия. Но поскольку ни менеджеры, ни работники ничего не знают о вирусе изменчивости, то не ведают, что творят, а значит, и не хотят, чтобы им объяснили».

«Джуран отразил сущность распространения инфекции в утверждении, известном как «правило Джурана»: **любая проблема на 85% определяется системой, а на 15% – рабочим».**

«Иногда встречаются менеджеры, которые, столкнувшись с какой-либо проблемой, считают, что это они виноваты в ее возникновении и могли бы кое-что предпринять для ее устранения. Мне часто нелегко было убеждать таких людей в том, что в действительности ошибка определяется именно системой. Большинство менеджеров будет упорствовать в мысли о том, что надо менять людей, в то время как именно система требует изменений».

«Различия в компонентах служат причиной изменчивости в работе собранных из них изделий. Изменчивость готовых изделий может быть столь велика, что только часть их не придется переделывать. Некоторые изделия столь плохи, что годятся только в лом или, в лучшем случае, могут быть разобраны и собраны заново с использованием других деталей, которые, в свою очередь, также могут оказаться зараженными вирусом изменчивости».

«Эта заразность variability, которая распространяется от машины к машине, затем на обслуживающий персонал и даже проникает в личные дела, как правило, не обнаруживается менеджерами, не знакомыми с „теорией вирусов”. У них есть собственные взгляды на жизнь. Применяемые ими методы „лечения” на самом деле могут даже усилить заразность инфекции».

«Сколько же можно было сберечь, если бы совсем не было изменчивости. Рассмотрим только один пример. Компания Генри Бека (Henry Beck) из Далласа, штат Техас, продемонстрировала, насколько быстро она сможет построить одноэтажный дом с двумя спальнями на заранее заложенном фундаменте. Как было рассказано в журнале „Лайф” („Life”), с момента начала сборки до того, как дом был закончен и покрашен, прошло менее трех часов, причем одна женщина в это время уже принимала горячую ванну, а другая готовила ужин на кухонной плите. Подумайте только – три часа! Обычное время – 30 дней, а часто и больше. Но почему же так происходит? Да потому, что невозможно распланировать работу людей столь точно.

*Если плотник начнет прибывать доску через секунду после того как ее отпилят, а не через 15 минут, затрачиваемое время уменьшится в 900 раз! Три часа превратятся в 2700 часов. Однако на постройке дома невозможно организовать работу людей таким образом, чтобы терялись лишь секунды. Мы не можем ожидать здесь точности полета ракеты или полета в балете. На производстве такой точности достигнуть трудно. **Но мы можем сделать каждую операцию более точной.** И если добьемся этого, то ошибки, просчеты, брак, задержки – все это станет исчезать».*

«Мы не привыкли думать о достижении такой точности управления, чтобы суметь построить дом в течение нескольких часов. Нам кажется нормальным полдня ожидать приема управляющего в банке. Невозможность точно распланировать деятельность означает, что для сложных видов работы затраченное время в 1000 раз превышает время необходимое. Это – цена вируса изменчивости».*

Современное предприятие должно иметь развитую «имунную» систему, защищающую производство от недопустимо высокой изменчивости. Суть этой системы в том, что специалисты понимают: **продукция, возникающая на выходе каждого рабочего места, каждого процесса, характеризуется не числом (параметром), а распределением чисел (параметров).** Методической базой для создания такой системы являются статистические методы. Когда же исполнитель или менеджер принимает во внимание только **точечные оценки** (годный – негодный, хорошо – плохо, белый – черный и т.п.), решение принимается на основе **неверной (неполной) информации** и не может быть эффективным.

С другой стороны, как говорят специалисты, всякий раз, когда в обычной жизни или в результате статистического анализа производственной информа-

* Подчеркнем: М. Трайбус говорит об изменчивости из-за случайных причин. Если же к этой, неизбежной «естественной», изменчивости добавляется изменчивость, сознательно вносимая людьми, преследующими свои личные (политические) цели, предприятие «болеет» уже очень серьезно. Но об этой «неестественной» изменчивости мы в данной главе не говорим.

ции мы можем воскликнуть: «Это не случайность!» — мы находимся на пути к обнаружению систематического фактора, а следовательно, на пути к успеху.

Подводя итог данной главы, повторим несколько приведенных выше положений, каждое из которых, с одной стороны, является источником, а с другой — выражением «статистического мышления».

1. Случайность объективно присуща всем природным явлениям.

2. Лишь в отдельных случаях (например, при подсчете имеющихся материальных объектов — скажем — рублей, которые держим в руках) мы имеем дело с однозначными, строго детерминированными связями. Вероятностные причинно-следственные связи являются общим видом связей, тогда как связи, приводящие к однозначным предсказаниям, представляют собой лишь частный случай.

3. Ни невозможные, ни достоверные события не должны быть предметом нашего внимания. На предприятии (да и в личной жизни) мы управляем только случайными событиями.

4. Физический и семантический барьеры при восприятии информации неустранимы, следовательно, абсолютно точно люди не воспринимают информацию никогда.

5. Осуществляя действия по управлению объектом, никогда нельзя быть абсолютно уверенным в конечном результате.

6. Даже если вероятность события равна нулю, то это событие может произойти.

7. Управляя процессами, мы управляем распределениями показателей качества продукции этих процессов.

9. Нельзя дважды войти в одну и ту же воду.

После каждого из приведенных положений можно добавлять: **это объективная реальность.**

ГЛАВА 3. СЕМЬ ПРОСТЫХ СТАТИСТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ МЕНЕДЖМЕНТА КАЧЕСТВА³

Существует семь довольно простых методов менеджмента качества, получившим название «японских», так как именно в Японии они были впервые систематизированы и представлены в виде единой концепции. Почти все эти методы, как правило, уже знакомы студентам из дисциплин, изучаемых на предыдущих курсах, поскольку эти методы широко распространены и при обучении, и в практике различных предприятий. И хотя они и называются здесь «методами менеджмента качества», по существу это статистические методы менеджмента.

Семь простых методов, которыми на передовых японских фирмах обязаны владеть абсолютно все работники, от уборщицы до президента, позволяют решать от 50 до 95% всех возникающих проблем^{**}. Эти методы используются на некоторых отечественных предприятиях, к сожалению, эпизодически и, крайне редко на уровне рабочих.

Основной лозунг статистических методов — *«предупреждение дефектов вместо их обнаружения»*.

В состав «семи простых японских методов менеджмента качества» входят:

- *контрольные листки (формы сбора данных)*
- *диаграмма Исикавы*
- *диаграмма Парето*
- *диаграмма рассеивания*
- *гистограмма*
- *контрольные карты*
- *расслоение данных*

Поговорим подробнее о каждом из этих методов.

3.1. Контрольные листки

Определенная форма для сбора данных используется при систематическом сборе данных для получения ясного представления фактов.

Форма для сбора данных представляет собой шаблон, удобный для записи собранных данных. Она помогает представить собранные данные в удобной форме и облегчить проведение их анализа.

Процедура формирования и использования контрольного листка состоит в следующем:

- а) Установите конкретную цель сбора данных (адресуемые вопросы).

³ В данной главе использованы иллюстрации из [7]

^{**} Статистические методы повышения качества / Под ред. Куме Х. М.: Финансы и статистика, 304 с.

б) Идентифицируйте данные, требуемые для достижения поставленной цели (адрес вопросов).

с) Определите, как и кем будет проводиться анализ данных (статистические средства).

д) Составьте форму для записи данных. Обеспечьте при этом место для записи информации о том:

- кто собрал эти данные,
- где, когда и как данные были собраны.

е) Проверьте форму, собрав и записав в нее некоторое количество данных.

ф) Проанализируйте и измените форму, если требуется.

Пример. Количество дефектов каждого типа, связанных с каждой причиной, при воспроизведении документов, может быть указано в форме, представленной в табл. 3

Таблица 3.1.

Форма для сбора данных

Причина дефектов	Типы дефектов				Всего
	Пропущенные страницы	Смазанные копии	Пробитые насквозь знаки	Количество страниц с нарушением последовательности	
Замятие в машине					8
Влажность					6
Тонер					5
Состояние оригиналов					4
Другие (указать)					
Всего	3	12	5	3	23

Далее, по результатам контроля, в соответствующие графы таблицы ставятся определенные значки (черточки). Одна черточка означает один случай с соответствующими признаками. Так, в данном примере можно сказать, что чаще

- Формулируется проблема (очень важно правильно поставить цель, т.е. определить, чего мы хотим достичь в результате построения диаграммы Исикавы).
- Определяются все возможные факторы, влияющие на эту проблему (методы определения различны, но самый популярный – метод мозгового штурма) Для унификации задачи были названы факторы, получившие название «5 М»: Men — персонал; Machinery — оборудование; Methods — приемы работы; Materials — материалы; Measurements — измерения. Однако, применение этих факторов не обязательно при построении причинно-следственной диаграммы, и вместо этих факторов могут использоваться другие, что иллюстрируется рисунком 3.2.2.
- Выявленные причины наносятся на диаграмму в соответствии с критериями и иерархией.

Данная диаграмма позволяет хранить информацию об особенностях процессов, накапливая, таким образом, знания. Ведь не секрет, что при уходе специалиста в компании остается примерно только 5% знаний, которыми обладал этот специалист. Применение такой диаграммы позволит сократить потери, вызванные подобными событиями.

На рисунке 3.2.3 приведен пример причинно-следственной диаграммы для случая фотокопирования плохого качества.

Цели применения диаграммы Исикавы:

- Выявление взаимосвязи между проблемой и ее возможными причинами;
- Наглядное представление причинно-следственных связей;
- Экономия времени и ресурсов для анализа при повторном возникновении проблемы и смене персонала, участвующего в процессе.

3.3. Диаграмма парето

Эта диаграмма получила название в честь итальянского экономиста Парето, который, в частности, показал, что материальные блага распределяются неравномерно — небольшое количество людей владеет большей долей ресурсов, благ, и т.д. То же самое мы можем сказать и о проблемах, которые возникают на предприятиях — проблемы неравнозначны. С помощью диаграммы Парето можно разделить все проблемы (дефекты, вопросы, несоответствия) на немногочисленные существенные и многочисленные несущественные.

Джозеф Джуран отметил универсальное применение принципа Парето к любой группе причин, вызывающих то или иное последствие, причем большая часть последствий вызвана малым количеством причин. Анализ Парето ранжирует отдельные области по значимости или важности и позволяет выявить и в первую очередь устранить те причины, которые вызывают наибольшее количество проблем (несоответствий).

Иногда «принцип Парето» формулируют следующим образом: 80% событий (в том числе — неприятностей) возникает из-за 20% причин. Причем событиями могут быть появляющиеся дефекты, причины дефектов, случаи заболевания, любые качественные признаки — цвет, запах, национальность, химический элемент состава и т.д). Общий вид диаграммы Парето представлен на рис. 3.3.1.

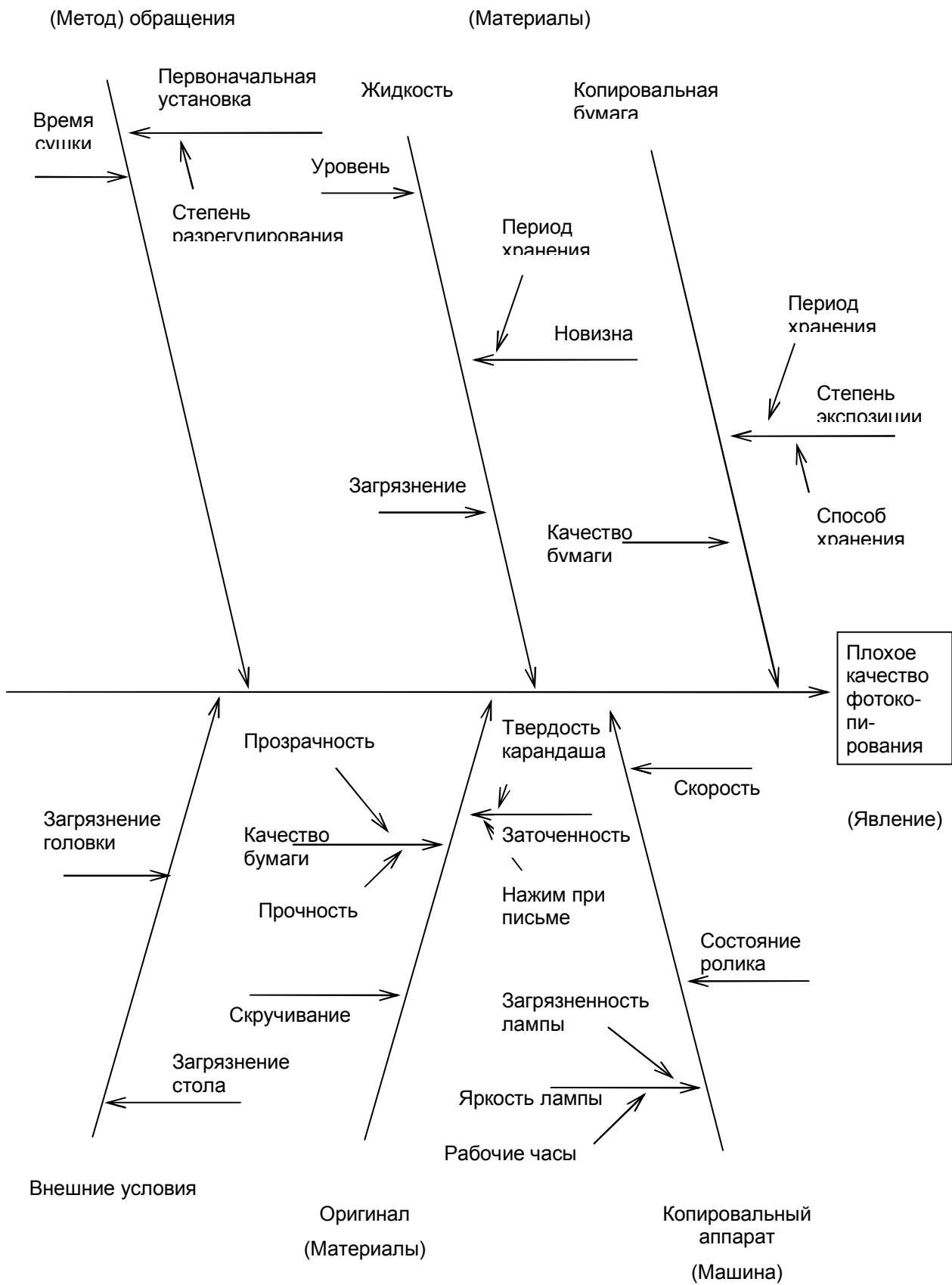


Рис. 3.2.3. Пример причинно-следственной диаграммы

Диаграмма строится следующим образом:

- Определяется параметр (событие), по которому будет строиться диаграмма (дефекты, затраты, направления деятельности, и т.д.)
- Собираются данные по выбранному параметру (о достоверности данных мы поговорим в дальнейшем);
- Данные ранжируются по убыванию, находится процентная доля каждой группы данных (дефектов, затрат, и т.д.);

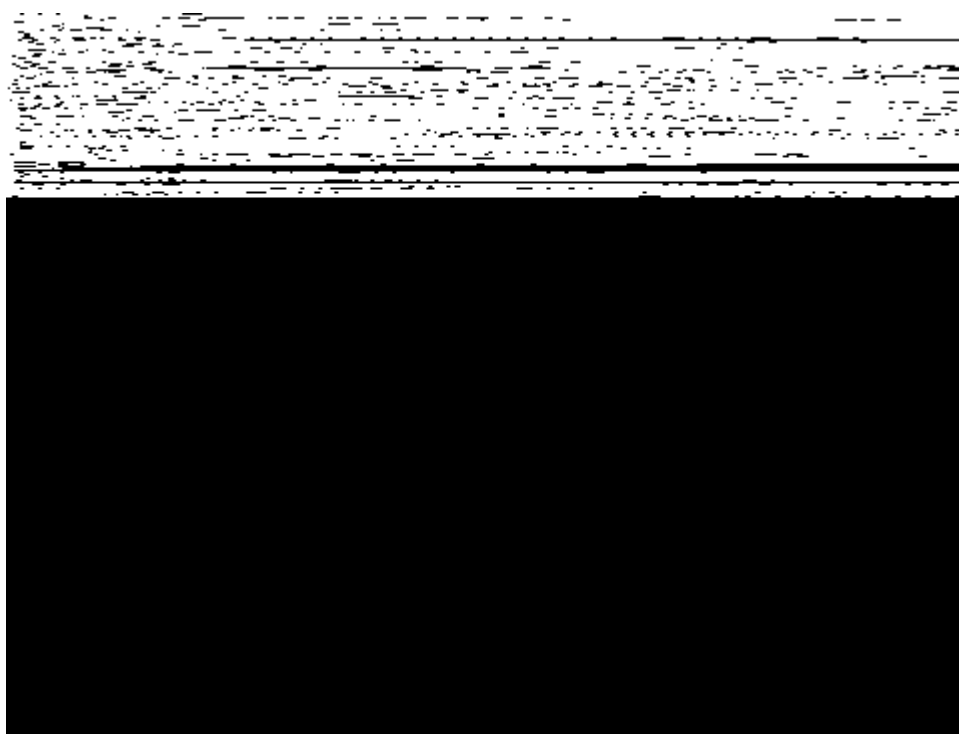


Рис. 3.3.1 Диаграмма Парето

- Ось абсцисс делится на интервалы, количество которых равно количеству групп данных, численные значения которых наносятся на координатную плоскость, на ось ординат;
- Строится ломаная линия, для чего к предыдущему значению группы прибавляется значение текущей группы, т.е. группы, над которой находится откладываемая точка. Таким образом, ломаная линия представляет собой график кумулятивной суммы значений групп данных;
- Вторая ось ординат размечается таким образом, чтобы 100% соответствовало сумме по группам данных.
- Восстанавливается перпендикуляр к оси ординат, до пересечения с кривой кумулятивной суммы, после чего из точки пересечения опускается перпендикуляр на ось абсцисс (на рис. 3.3.1 проведен из точки на границе областей «Q» и «B»).
- Группы данных, оказавшиеся по левую сторону от этого перпендикуляра, и представляют собой те немногочисленные существенные вопросы

(дефекты, статьи затрат, направления деятельности), которым необходимо уделить приоритетное внимание (на рис. 3.3.1 в эту область вошли четыре фактора: «G», «J», «M» и «Q»).

Цели применения диаграммы Парето:

- Наглядное представление групп данных;
- Разделение факторов (проблем) на немногочисленные существенные и многочисленные несущественные.

3.4. Диаграмма рассеивания

Эта диаграмма позволяет оценить, насколько два вида данных (параметра, характеристики, величины и т.д.) — Y и X — зависят друг от друга, т.е. имеется ли между ними корреляция, когда изменение одного вида данных приводит к изменению распределения другого. Эти виды данных могут быть:

- показателем качества и влияющим на него фактором;
- двум различным показателям качества;
- двум факторам, влияющим друг на друга или на один показатель качества.

Применение этой диаграммы позволяет, во-первых, лучше понять свойства процесса, и, следовательно, более эффективно управлять им. Во-вторых, с помощью этой диаграммы можно, в некоторых случаях, определить оптимальные значения факторов, для того чтобы минимизировать вариации показателя качества, и определить оптимальные условия протекания процесса. Пример диаграммы рассеивания с положительной корреляцией представлен на рисунке 3.4.1.



X

Рис. 3.4.1. Положительная корреляция

В этом случае существует практически линейная зависимость одного вида данных от другого, т.е. увеличение одного приводит к увеличению другого. Однако корреляция может быть и отрицательной (рис. 3.4.2):

Y



Х

Рис. 3.4.2 Отрицательная корреляция

В этом случае увеличение одного вида данных приводит к уменьшению второго.

Коэффициент корреляции (обозначается r) рассчитывается по формуле:

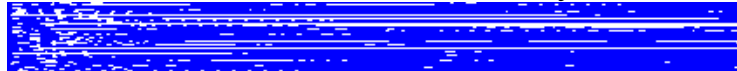
$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2 \sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2}}$$

где X_i, Y_i — текущие значения данных;

\bar{X}, \bar{Y} — математические ожидания данных.

Мы рассмотрели случаи, когда корреляция линейна, т.е. точки выстраиваются вдоль прямой линии. Однако существует и нелинейная корреляция, когда точки располагаются не линейно, а каким-либо другим образом (рис 3.4.3). В этом случае для исследования иногда проводят разбиение всей области рассеяния на участки прямолинейной зависимости и исследуют их по отдельности.

У



Х

Рис. 3.4.3 Нелинейная корреляция

Кроме того, возможен случай, когда две исследуемые группы данных влияния друг на друга не оказывают. В таких случаях говорят, что корреляция отсутствует (рис. 3.4.4):

Величину или силу корреляции определяют при помощи коэффициента корреляции, который может принимать значения от -1 до 1 . В случае если коэффициент корреляции по модулю больше $0,85$, говорят о сильной зависимости, если значение коэффициента находится между $0,5$ и $0,85$, зависимость слабая, если же коэффициент корреляции менее $0,5$ – говорят, что зависимость отсутствует. Практика показывает, что говорить о практической значимости корреляции можно при значении коэффициента корреляции больше $0,6$.

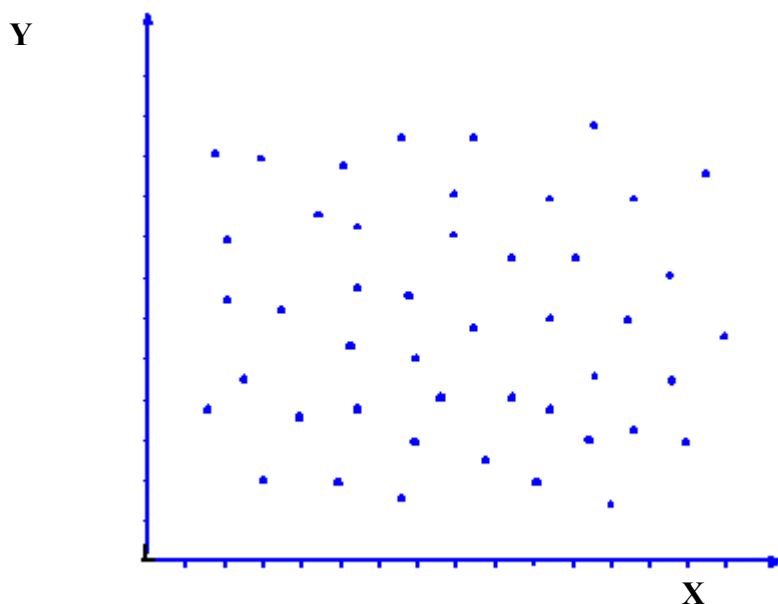


Рис. 3.4.4. Отсутствие корреляции

Цели применения диаграмм рассеивания:

- Выявление и наглядное представление взаимной зависимости групп данных;
- Оценка влияния одной группы данных на распределение другой (анализ);
- Определение оптимальных условий протекания процесса (улучшение).

Вслед за построением диаграмм рассеивания часто проводится регрессионный анализ – ищутся аналитические зависимости между управляемыми факторами и целевыми функциями. Ниже приведены некоторые из таких зависимостей.

$$y = a_0 + a_1x$$

$$y = a_0 + a_1x + a_2x^2$$

$$y = a_0 + a_1x + a_2x^2 + a_3x^3$$

$$y = a_0 + a_1x + a_2x^2 + a_3x^3 + a_4x^4$$

$$y = a_0 + a_1x + a_2x^2 + \dots + a_nx^n$$

— прямая линия

— квадратная парабола

— кубическая парабола

— парабола четвертой степени

— парабола n-й степени

$y = 1 / (a_0 + a_1x)$, или $1/y = a_0 + a_1x$	— гипербола
$y = ab^x$, или $lg y = a_0 + a_1x$	— экспонента
$y = a_0 + a_1lg x$	— логарифмическая кривая
$lg y = a_0 + a_1 lg x$	— кубическая логарифмическая кривая

Некоторые виды регрессионных зависимостей

О регрессионном анализе подробнее пойдет речь в параграфах 7.2 и 7.3.

3.5. Гистограмма

Еще один из простых статистических инструментов анализа качества – гистограммы. Гистограмма – это столбчатый график, на оси абсцисс которого откладываются интервалы, на которые делят поле рассеяния полученных данных, а на оси ординат – частоту попадания замера в каждый интервал (рис. 3.5.1):

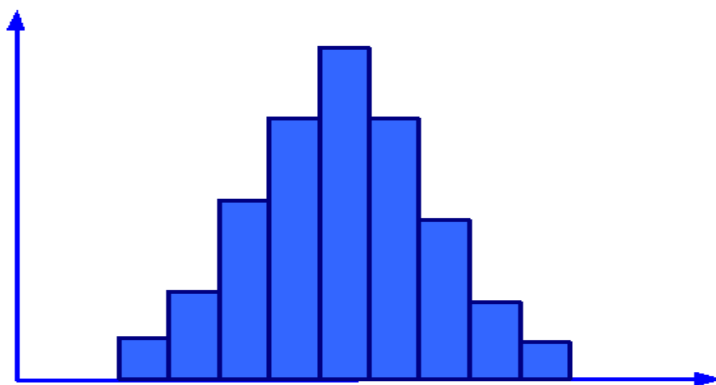


Рис. 3.5.1 Гистограмма

Порядок построения гистограммы:

- Определить количественный показатель (показатель качества, параметр, характеристику) процесса, распределение которой мы будем анализировать;

- Взять выборку статистических данных соответствующего показателя x объемом n , причем количество изделий (число измерений) не должно быть меньше 50, рекомендуемый объем — 100 и более. В противном случае снижается достоверность полученного результата и возрастает вероятность принятия ошибочного решения по результатам анализа гистограммы.

- Определить минимальное и максимальное значение показателя x : x_{\min}, x_{\max} ;

- Определить размах в выборке: $R = x_{\max} - x_{\min}$;

Выбрать количество интервалов k . Например, $k = 10$ или $k = 12$, или $k = 15$.

- Рассчитать ширину интервала b по формуле $b = R/k$;

- Считать верхнюю и нижнюю границу гистограммы соответственно:

x_{\max} и x_{\min} .

- Рассчитать нижнюю и верхнюю границу каждого интервала:

1-й интервал: $НГ_1 = x_{\min}, ВГ_1 = НГ_1 + b$;

2-й интервал: $НГ_2 = ВГ_1$, $ВГ_2 = НГ_2 + b$;

...

k-й интервал: $НГ_k = ВГ_{k-1}$, $ВГ_k = x_{max}$.

- Построить координатную плоскость, ось абсцисс — ось интервалов, ось ординат — ось частот (рис. 3.5.2):

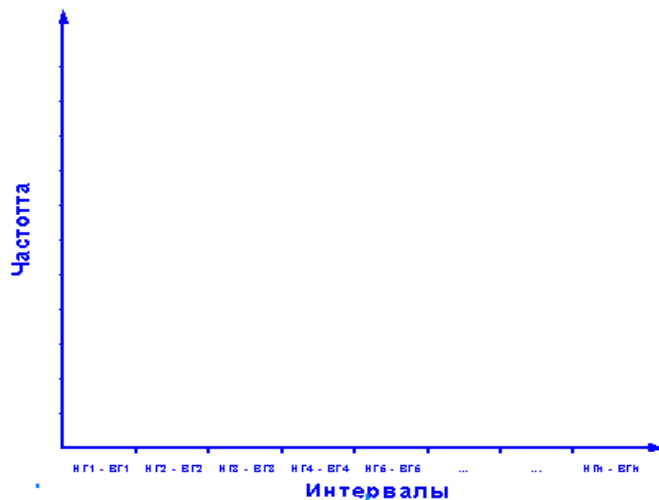


Рис. 3.5.2 Построение гистограммы. Координатная сетка.

- Подсчитать частоту (количество случаев) f_i попадания значения показателя в каждый интервал «i» (в случае совпадения значения с какой-либо границей, это значение относят к «левому» интервалу):

№ интервала	Границы интервала, мкм ($НГ_i - ВГ_i$)	Частота, f_i
1	$НГ_1 - ВГ_1$	f_1
2	$НГ_2 - ВГ_2$	f_2
3	$НГ_3 - ВГ_3$	f_3
...
k	$НГ_k - ВГ_k$	f_k

- Над каждым интервалом «i» построить столбик, численно равный величине f_i (рис. 3.5.3).

Цели применения гистограмм:

- Наглядное представление оценки качества как степени удовлетворения требований.
- Наглядное представление и оценка распределения показателя качества (параметра) в данной совокупности единиц продукции.
- Оценка способности процесса удовлетворять требования допуска на данный параметр.

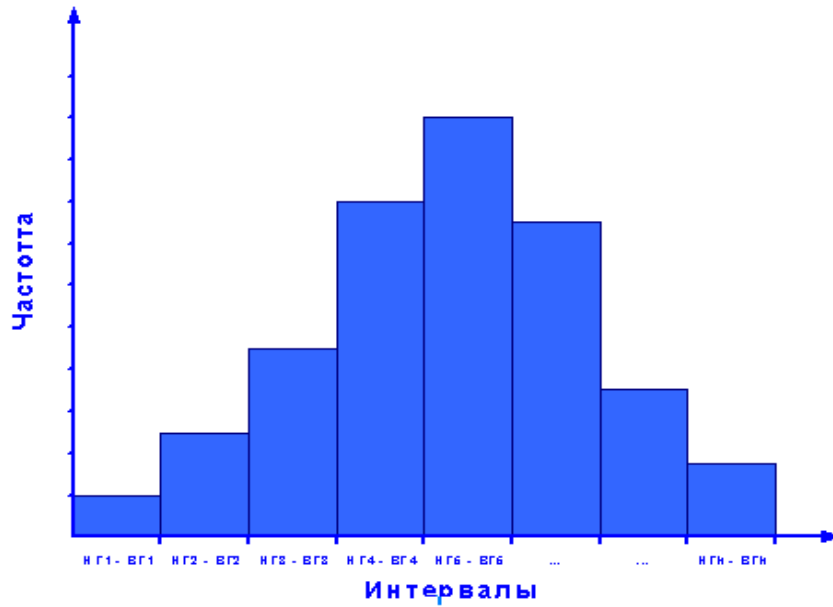
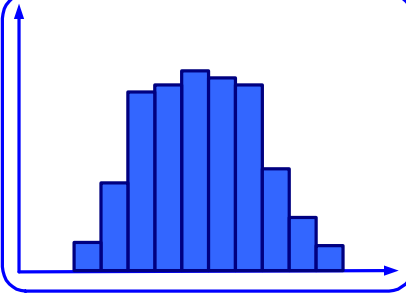
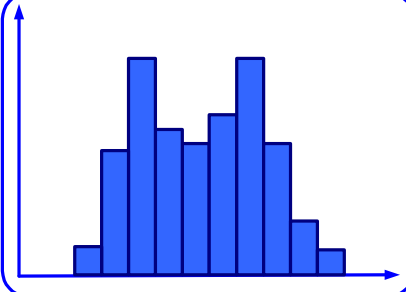
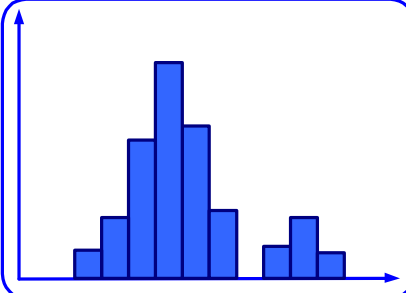
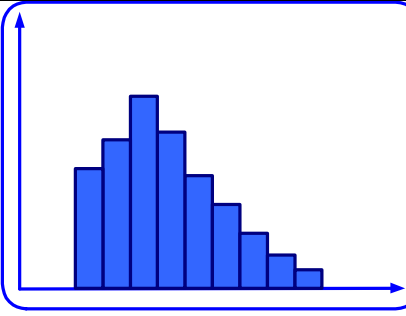


Рис. 3.5.3 Построенная гистограмма

Рассмотрим некоторые виды гистограмм:

Вид гистограммы	Описание	Комментарий
	Симметричная гистограмма	Приблизительно соответствует нормальному распределению
	Гистограмма положительно скошенного распределения	Соответствует распределению Рэлея; Характерна для одностороннего допуска – со стороны нижней границы
	Гистограмма - гребенка	Возможны ошибки при расчете и округлении ширины интервала b , ошибки при замерах и расчетах; Возможно, необходима стратификация (расслоение данных - см. п. 5.7).

	<p>Гистограмма - плато</p>	<p>Возможно, неверно выбрано количество интервалов; Возможно смещение нескольких распределений</p>
	<p>Двухпиковая (бимодальная) гистограмма</p>	<p>Смещение двух распределений с различными параметрами Необходима стратификация (расслоение данных - см. п. 5.7).</p>
	<p>Гистограмма с изолированным пиком</p>	<p>Возможно, в выборку попала часть изделий с другим распределением; Возможна ошибка в измерении – проверить достоверность данных</p>
	<p>Гистограмма с обрывом слева</p>	<p>Возможно, замеры проводились после отсеивания части изделий по нижней границе допуска</p>

3.6. Контрольные карты

Впервые контрольные карты были разработаны Вальтером Шухартом, работавшим в компании Bell Telephone Laboratories, в 1924 году. В принципе, без изменений они существовали до наших дней (рис. 3.6.1):

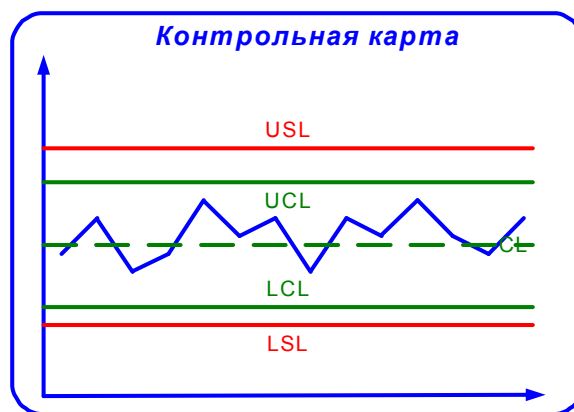


Рис. 3.6.1. Контрольная карта

Рассмотрим некоторые общие вопросы, связанные с содержанием и построением контрольных карт.

Контрольная карта строится в системе координат, по оси абсцисс которой откладываются последовательные номера выборок (или время), а по оси ординат — значения показателя качества. Линия среднего значения (CL – center line, center level) характеризует центр рассеяния (математическое ожидание) наблюдаемых значений. Верхняя контрольная граница (UCL – up control level) и нижняя контрольная граница (LCL – low control level). Эти границы определяют рамки, при выходе за которые процесс становится нестабильным.

Верхняя граница допуска обозначается USL (up specification level), нижняя граница допуска обозначается LSL (low specification level).

Поле допуска USL – LSL на контрольной карте играет *вспомогательную* роль, помогая определить положение центра настройки процесса относительно допуска, а также оценить разброс процесса по отношению к ширине допуска. В связи с тем, что в литературе, посвященной статистическим методам, обозначения контрольных границ различны (встречаются как англоязычные, так и русскоязычные аббревиатуры), приведем таблицу:

Наименование	Русскоязычное	Англоязычное
Верхняя граница допуска	ВГД	USL
Нижняя граница допуска	НГД	LSL
Верхняя контрольная граница	ВКГ	UCL
Нижняя контрольная граница	НКГ	LCL
Центральная линия (середины настройки)	СН	CL
Середины поля допуска	СД	CSL

Основной признак, свидетельствующий о нестабильности процесса — выход наблюдаемого значения (как правило, среднего по нескольким индивидуальным значениям, входящим в выборку), за контрольные границы. При этом процесс может продолжать удовлетворять допуск, но он уже становится неуправляемым, т.е. прогнозировать его развитие во времени невозможно. И напротив, процесс может не удовлетворять допуск, но быть стабильным, т.е. разброс параметров может быть небольшим. Оба эти случая наглядно демонстрируют неэффективность *управления качеством*.

Контроль — способ реактивного поведения, он и действия, следующие за ним (разбраковка, переделка и т.д.), ведут к издержкам и не позволяют своевременно выявить и идентифицировать причину, повлекшую появление несоответствующей продукции. Статистическое управление процессами позволяет предприятию занять активную позицию, т.е. предупреждать возникновение несоответствий и избежать издержек, связанных с появлением несоответствующей продукции.

Как читать контрольные карты

Самое важное в процессе управления — точное понимание состояния объекта управления с помощью чтения контрольной карты и быстрое осуществление подходящих действий, как только в объекте обнаружится что-нибудь необычное и существенное. Управляемое состояние объекта — такое состояние, когда процесс стабилен, а его среднее и разброс значительно не меняются. Находится ли процесс в данном состоянии или нет, определяется по контрольной карте, в частности, на основании следующих пяти критериев.

1. **Выход за контрольные пределы (границы)** — **ВКГ** или **НКГ**.

2. **Серия точек** — проявление такого состояния, когда точки неизменно оказываются по одну сторону от контрольной линии; число таких точек называется *длиной серии*. Серия длиной в 7 точек и более рассматривается как ненормальная. Даже если длина серии оказывается менее 6, в ряде случаев ситуацию следует воспринимать как ненормальную, например, когда (рис. 3.6.2):

а) не менее 10 из 11 точек оказываются по одну сторону от центральной линии;

б) не менее 12 из 14 точек оказываются по одну сторону от центральной линии;

в) не менее 16 из 20 точек оказываются по одну сторону от центральной линии.



Рис. 3.6.2. Серия точек

3. **Тренд (дрейф).** Если точки образуют непрерывно повышающуюся или понижающуюся кривую, говорят, что имеет место тренд (рис. 3.6.3).

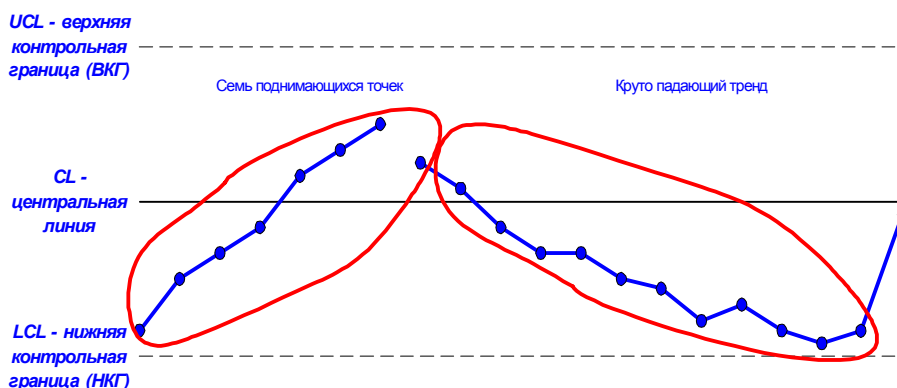


Рис. 3.6.3. Тренд

4. **Приближение к контрольным пределам.** Рассматриваются точки, которые приближаются к 3-х-сигмовым контрольным пределам, причем если 2 или 3 точки оказываются за 2-х-сигмовыми линиями, то такой случай надо рассматривать как ненормальный (рис. 3.6.4).

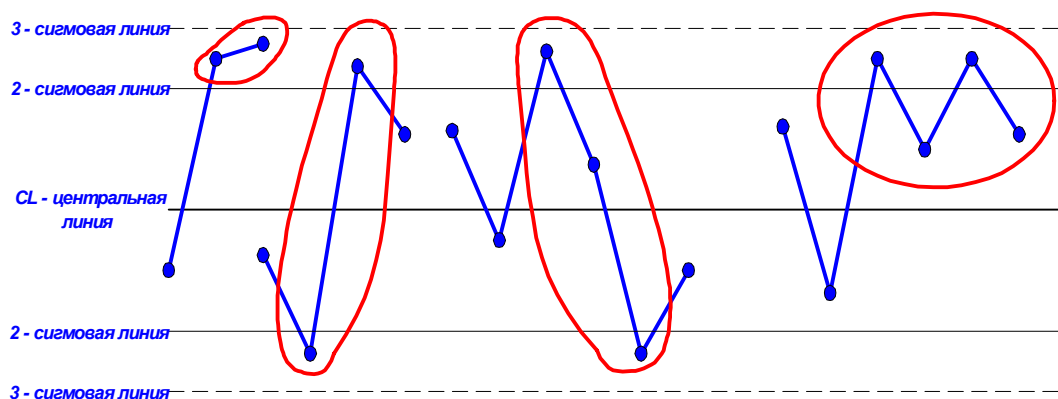


Рис. 3.6.4. Приближение к контрольным пределам

5. Периодичность. Когда ломаная линия повторяет структуру «то подъем, то спад» с примерно одинаковыми интервалами времени, это тоже ненормально (рис. 3.6.5).

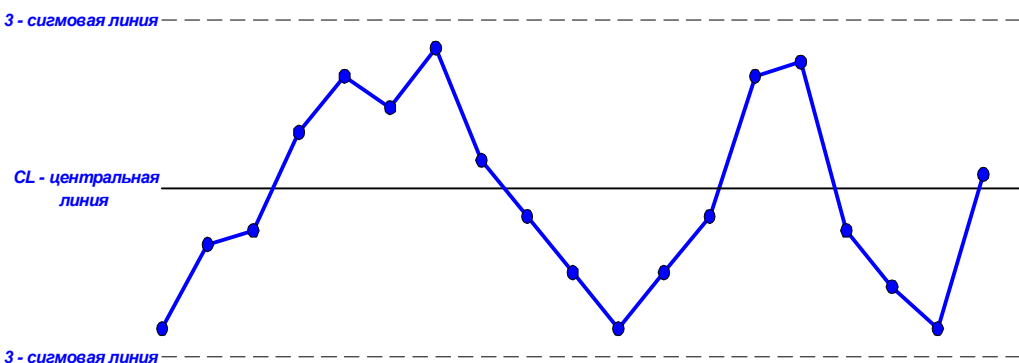


Рис. 3.6.5. Периодичность

Задание 3.6.1. Оценка процесса с помощью контрольной карты

На станции технического обслуживания автозавода поступило большое количество жалоб потребителей на тугое включение второй передачи.

В ходе анализа, проведенного с применением семи простых статистических методов, был выявлен один из основных параметров, влияющих на данный дефект: им оказался диаметр вала $\varnothing 20,15^{+0,050}_{-0,040}$.

Необходимо построить контрольную карту индивидуальных значений по данным замеров диаметра в октябре месяце, провести анализ на наличие признаков нестабильного поведения параметра, выдать рекомендации по улучшению процесса.

Исходные данные:

№ п/п	Дата замера	Значение
1	02.10	Ø20,114
2	03.10	Ø20,120
3	04.10	Ø20,126
4	06.10	Ø20,120
5	07.10	Ø20,126
6	08.10	Ø20,120
7	09.10	Ø20,180
8	10.10	Ø20,120
9	11.10	Ø20,180
10	13.10	Ø20,120
11	14.10	Ø20,114
12	15.10	Ø20,126
13	16.10	Ø20,126
14	17.10	Ø20,114
15	18.10	Ø20,180
16	20.10	Ø20,126
17	21.10	Ø20,240
18	22.10	Ø20,174
19	23.10	Ø20,120
20	24.10	Ø20,108
21	25.10	Ø20,114
22	27.10	Ø20,120
23	28.10	Ø20,120
24	29.10	Ø20,126

3.7. Расслоение данных (стратификация)

Этот весьма простой метод необходимо применять, когда показатель качества отобранной партии продукции (генеральной совокупности) характеризуется гистограммой, имеющей несколько вершин (мод). Такая ситуация может возникать, когда в одну партию попадают, например однотипные детали, изготовленные на нескольких станках, или на станке с несколькими работающими позициями (резцами, прессформами и т.п.), детали, изготовленные из различных партий заготовок, из различного сырья, разными операторами, измеренные различными средствами, разными контролерами, в различных условиях. Все эти различия могут быть факторами появления распределения показателя качества, существенно отличающегося от нормального.

В качестве примера можно привести ситуацию, с которой авторы [7] столкнулись при проведении анализа процессов в механосборочном производстве одного предприятия. При построении гистограммы и контрольной карты на основании замеров одной из деталей привода передних колес получилась следующая картина (рис. 3.7.1):

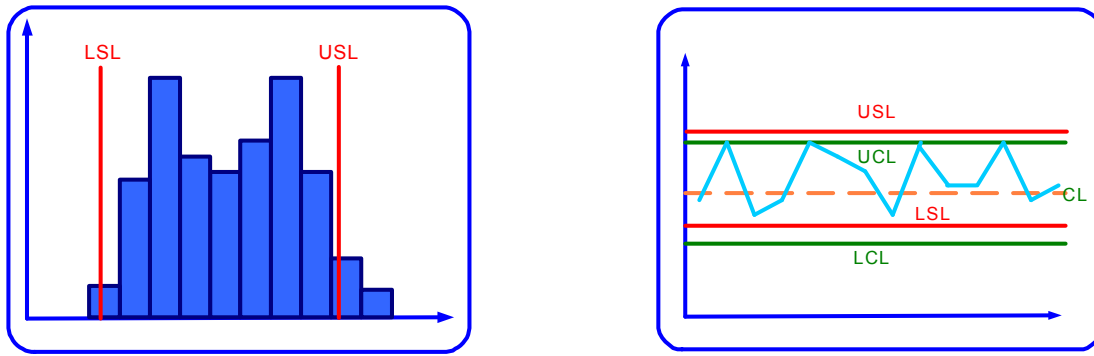


Рис. 3.7.1 Гистограмма и контрольная карта замеров

На первый взгляд, процесс явно имеет признаки нестабильности – множество точек за контрольными границами, однако гистограмма указывает на наличие нескольких распределений с различными средними значениями центра настройки. В результате анализа было выявлено, что детали, замеры которых были проведены, были получены с двух разных станков. Особенности технологического процесса (наличие идентификационной фаски на деталях, полученных со станка №1), позволило провести расслоение данных по фактору «станок». Результаты расслоения по станкам приведены на рисунках 3.7.2 и 3.7.3.

Станок №1

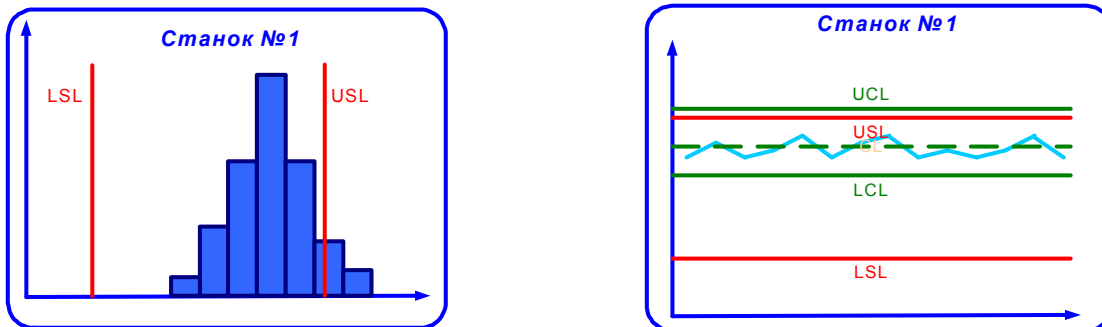


Рис. 3.7.2. Данные по станку 1

Станок №2

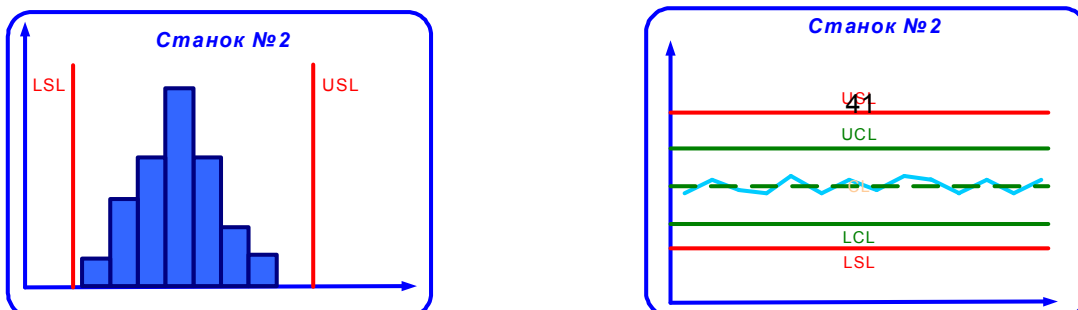


Рис. 3.7.3 Данные по станку 2

Как видно из результатов анализа, на первый взгляд нестабильный процесс — это два стабильных процесса, «наложенных» друг на друга. Для снятия проблемы достаточно было сместить наладку на первом станке.

На рисунке 3.7.4 приведен еще один пример анализа источника возникновения дефектов. Все дефекты (100%) были классифицированы на четыре категории — по поставщикам, по операторам, по смене и по оборудованию. Из анализа представленных данных наглядно видно, что наибольший вклад в наличие дефектов вносит в данном случае «поставщик 2».

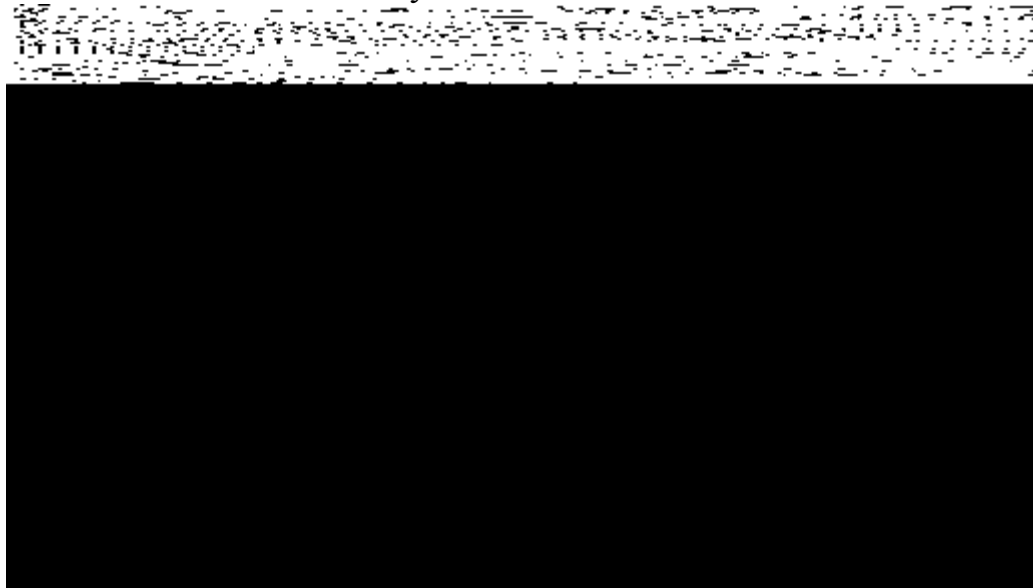


Рис 3.7.4. Пример стратификации данных

Стратификация — основа для других инструментов, таких как анализ Парето или диаграммы рассеивания. Такое сочетание инструментов делает их более мощными.

Рассмотренные примеры показывают, насколько сложными могут быть статистические данные, и очень важно понимание того, что изменчивость может иметь не только случайные, но и самые различные систематические причины, умение анализировать данные и принимать решения на основе фактов.

В заключение главы подчеркнем, что семь простых статистических инструментов менеджмента качества — это семь простых и ясных концепций, применение которых, тем не менее, позволит предприятию существенно повысить эффективность своих действий. Применять описанные методы можно по отдельности, для решения каких-либо локальных вопросов. Но наибольшая эффективность будет иметь место при комплексном, системном применении этих инструментов.

Применяемые в менеджменте статистические методы не ограничиваются приведенными выше. В главе приведены, можно сказать, только начальные элементарные сведения о статистических методах. В приложении 1 приведены аннотации некоторых действующих российских национальных стандартов по статистическим методам. Студентам полезно более подробно познакомиться с содержанием этих стандартов.

В последующих главах описываются инструменты менеджмента, также, в значительной степени, опирающиеся на статистический анализ.

ГЛАВА 4. МЕНЕДЖМЕНТ РИСКА

4.1. Общие положения

Слово «**риск**» — вполне понятное каждому читателю слово. Вместе с тем, в последние годы активно развивается научное и практическое направление, которое называется «менеджмент риска» (далее – МР). Известно, что инновационная деятельность связана с существенным риском. Менеджмент риска, безусловно, может быть отнесен к инструментальным средствам менеджмента, поэтому в данной главе приводятся некоторые понятия и принципы МР. Причем основным источником информации данной главы являются российские национальные стандарты, ссылки на которые приводятся в тексте.

В соответствии с ГОСТ Р 51897*, в менеджменте риска применяются следующие основные понятия и термины.

Риск: Сочетание вероятности события и его последствий.

Примечания

1 Термин «риск» обычно используют только тогда, когда существует возможность негативных последствий.

2 В некоторых ситуациях риск обусловлен возможностью отклонения от ожидаемого результата или события.

Вероятность: Мера того, что событие может произойти.

Примечание — ГОСТ Р 50779.10 дает математическое определение вероятности: «действительное число в интервале от 0 до 1, относящееся к случайному событию». Число может отражать относительную частоту в серии наблюдений или степень уверенности в том, что некоторое событие произойдет.

Событие: Возникновение специфического набора обстоятельств, при которых происходит явление.

Примечания

1 Событие может быть определенным или неопределенным.

2 Событие может быть единичным или многократным.

3 Вероятность, связанная с событием, может быть оценена для данного интервала времени.

Источник: Объект или деятельность с потенциальными последствиями.

Примечание — Применительно к безопасности источник представляет собой опасность.

Критерии риска: Правила, по которым оценивают значимость риска.

Примечание — Критерии риска могут включать в себя сопутствующие стоимость и выгоды, законодательные и обязательные требования, социально-

* ГОСТ Р 51897-2002. Менеджмент риска. Термины и определения. Risk management. Terms and definitions.

экономические и экологические аспекты, озабоченность причастных сторон, приоритеты и другие затраты на оценку

Менеджмент риска: Скоординированные действия по руководству и управлению организацией в отношении риска.

Примечание — Обычно менеджмент риска включает в себя оценку риска, обработку риска, принятие риска и коммуникацию риска.

Система менеджмента риска: Набор элементов системы менеджмента организации в отношении менеджмента риска.

Примечание — Элементы системы менеджмента риска могут включать в себя стратегическое планирование, принятие решений и другие процессы, затрагивающие риск.

Коммуникация риска: Обмен информацией о риске или совместное использование этой информации между лицом, принимающим решение, и другими причастными сторонами.

Примечание — Информация может касаться существования, природы, формы, вероятности, тяжести, приемлемости, мероприятий или других аспектов риска

Оценка риска: Общий процесс анализа риска и оценивания риска

Анализ риска: Систематическое использование информации для определения источников и количественной оценки риска.

Примечания

1 Анализ риска обеспечивает базу для оценивания риска, мероприятий по снижению риска и принятия риска.

2 Информация может включать в себя исторические данные, результаты теоретического анализа, информированное мнение и касаться причастных сторон

Идентификация риска: Процесс нахождения, составления перечня и описания элементов риска.

Примечания

1 Элементы риска могут включать в себя источники или опасности, события, последствия и вероятность.

2 Идентификация риска может также отражать интересы причастных сторон

Количественная оценка риска: Процесс присвоения значений вероятности и последствий риска.

Примечание — Количественная оценка риска может учитывать стоимость, выгоды, интересы причастных сторон и другие переменные, рассматриваемые при оценивании риска

Оценивание риска: Процесс сравнения количественно оцененного риска с данными критериями риска для определения значимости риска.

Примечание — Оценивание риска может быть использовано для содействия решениям по принятию или обработке риска.

Обработка риска: Процесс выбора и осуществления мер по модификации

риска.

Примечания

1 Термин «обработка риска» иногда используют для обозначения самих мер.

2 Меры по обработке риска могут включать в себя избежание, оптимизацию, перенос или сохранение риска,

Управление риском: Действия, осуществляемые для выполнения решений в рамках менеджмента риска.

Примечание — Управление риском может включать в себя мониторинг, переоценивание и действия, направленные на обеспечение соответствия принятым решениям

Оптимизация риска: Процесс, связанный с риском, направленный на минимизацию негативных и максимальное использование позитивных последствий и, соответственно, их вероятности.

Примечания

1 С точки зрения безопасности оптимизация риска направлена на снижение риска.

2 Оптимизация риска зависит от критериев риска с учетом стоимости и законодательных требований.

Снижение риска: Действия, предпринятые для уменьшения вероятности, негативных последствий или того и другого вместе, связанных с риском

Предотвращение риска: Решение не быть вовлеченным в рискованную ситуацию или действие, предупреждающее вовлечение в нее.

Сохранение риска: Принятие бремени потерь или выгод от конкретного риска.

Примечание — Сохранение риска не включает в себя обработку риска в результате страхования или перенос риска другими средствами

Принятие риска: Решение принять риск.

Примечание — Принятие риска зависит от критериев риска.

Остаточный риск: Риск, остающийся после обработки риска.

В соответствии с ГОСТ Р 51901^{*}, в менеджменте риска применяется еще ряд основных понятий и терминов, приведенных ниже.

Вред: Физический ущерб или урон здоровью, имуществу или окружающей среде.

Опасность: Источник потенциального вреда или ситуация с потенциальной возможностью нанесения вреда.

Опасное событие: Событие, которое может причинить вред.

Идентификация опасности: Процесс осознания того, что опасность существует, и определения ее характерных черт.

В приложении 2 приведена схема классификации методов анализа отказов и риска.

^{*} ГОСТ Р 51901-2002. Управление надежностью. Анализ риска технологических систем. Dependability management. Risk analysis of technological systems

4.2. Концепции анализа риска

Риск присутствует в любой деятельности человека. Он может относиться к здоровью и безопасности (учитывая, например, как немедленные, так и долгосрочные последствия для здоровья от воздействия токсичных химических продуктов). Риск может быть экономическим, например, приводящим к уничтожению оборудования и продукции вследствие пожаров, взрывов или других аварий. Он может учитывать неблагоприятные воздействия на окружающую среду.

Существенно, что в некоторых ситуациях риск обусловлен возможностью отклонения от ожидаемого результата или события. А как мы знаем, любое управление есть процесс вероятностный, поэтому любое управление связано с риском. Эта ситуация знакома нам из нашей повседневной жизни.

Бывает, мы пораньше выходим из дома, чтобы избежать риска опоздать на важное свидание, хотя бы и ценой некоторой потери времени на ожидание уже на месте встречи. Бывает, готовим письменный текст важного выступления (хотя хорошо знаем предмет), чтобы избежать риска не точно выразить свою мысль. И так далее. Как говорил Дидро, мудрость вообще состоит в том, чтобы избегать риска неприятностей.

Задачей управления рисками на предприятии в первую очередь, безусловно, является контроль, предотвращение или сокращение гибели людей, снижение заболеваемости, снижение ущерба, урона имуществу и логически вытекающих потерь, а также предотвращение неблагоприятного воздействия на окружающую среду.

Вместе с тем, менеджмент риска может быть полезен для предотвращения таких отклонений от ожидаемого результата, как получение дефектной продукции, отказ в получении инвестиций или неудача в переговорах о заключении выгодного контракта.

Результаты анализа риска могут использоваться специалистом, принимающим решение при оценке допустимости риска, а также при выборе между потенциальными мерами по снижению или устранению риска. С точки зрения специалиста, принимающего решение, к основным достоинствам анализа риска относятся:

- а) систематическая идентификация потенциальных опасностей;
- б) систематическая идентификация возможных видов отказов;
- в) количественные оценки или ранжирование рисков;
- г) оценка надежности возможных модификаций системы для снижения риска и достижения предпочтительных уровней ее надежности;
- д) выявление факторов, обуславливающих риск, и слабых звеньев в системе;
- е) более глубокое понимание устройства и функционирования системы;
- ж) сопоставление риска исследуемой системы с рисками альтернативных систем или технологий;
- и) идентификация и сопоставление рисков и неопределенностей;

к) помощь в установлении приоритетов при совершенствовании санитарных требований и норм;

л) формирование базы для рациональной организации профилактического обслуживания, ремонта и контроля;

м) обеспечение возможности поставарийного расследования и мер по предупреждению аварий;

н) возможность выбора мер и приемов по обеспечению снижения риска.

Все эти факторы играют важную роль в эффективном менеджменте предприятия независимо от того, какие задачи рассматриваются (охрана здоровья, безопасность, предотвращение экономических потерь, обеспечение выполнения требований постановлений правительства и т.п.).

Анализ может охватывать такие области специальных знаний, как:

а) системный анализ;

б) вероятность и статистика;

в) химическая технология, машиностроение, электротехника, строительная техника или ядерная техника;

г) физические, химические или биологические науки;

д) медицинские науки, в том числе токсикология и эпидемиология;

е) общественные науки, в том числе экономика, психология и социология;

ж) влияние человеческого фактора, эргономика и наука управления.

Анализ риска должен удовлетворять следующим требованиям:

а) быть научно обоснованным и соответствовать исследуемой системе;

б) давать результаты в форме, обеспечивающей понимание природы риска, способов его контроля и путей снижения;

в) быть прослеживаемым, повторяемым и контролируемым.

4.3. Принципы управления риском

Процесс управления риском охватывает различные аспекты работы — от идентификации и анализа риска до оценки его допустимости и определения потенциальных возможностей снижения риска посредством выбора, реализации и контроля соответствующих управляющих действий.

Анализ риска является частью оценки риска и процесса управления риском, показанного на рисунке 4.3.1, и состоит из определения области применения, идентификации опасности и оценки величины риска.

Опасности могут быть отнесены к следующим четырем основным категориям:

а) природные опасности (наводнения, землетрясения, ураганы, молния и т.д.);

б) технические опасности, источниками которых являются промышленное оборудование, сооружения, транспортные системы, потребительская продукция, пестициды, гербициды, фармацевтические препараты и т.п.;

в) социальные опасности, источниками которых являются вооруженное нападение, война, диверсия, конкурентная борьба и т.д.;

г) опасности, связанные с укладом жизни (злоупотребление наркотиками, алкоголь, курение и т.д.).

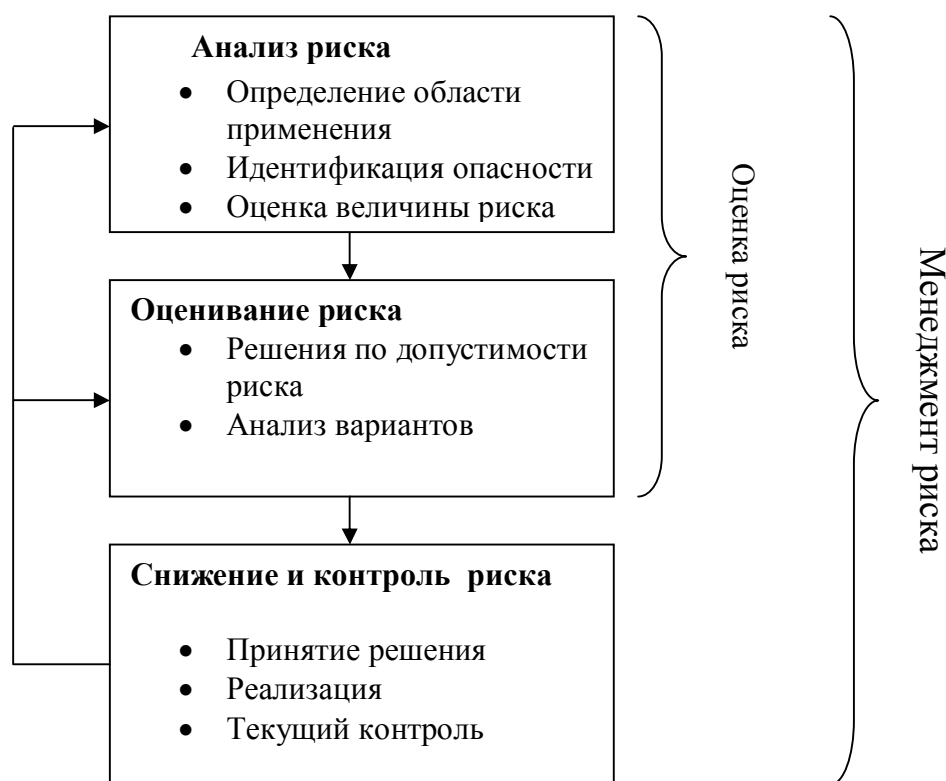


Рис. 4.3.1 Соотношения между анализом риска и другими действиями по управлению риском

Очевидно, что данные категории не являются взаимоисключающими. Так, при анализе технических опасностей часто бывает необходимо учитывать влияние факторов из других категорий (в особенности природных опасностей) и других систем в качестве части анализа риска.

Риск также может быть классифицирован исходя из характера возможных последствий. Например, характер последствий может быть:

- а) индивидуальным (воздействие на отдельных людей);
- б) профессиональным (воздействие на работающих);
- в) социальным (общее воздействие на сообщество людей);
- г) приводящим к имущественному урону и экономическим потерям (нарушения деловой деятельности, штрафы и т.д.);
- е) касающимся окружающей среды (воздействие на землю, воздух, воду, растительный, животный мир и культурное наследие).

Общей задачей анализа риска является обоснование решений, касающихся риска. Эти решения могут приниматься как часть более крупного процесса менеджмента посредством сопоставления результатов анализа риска с критериями допустимого риска. Во многих ситуациях возникает необходимость оценивания преимуществ того или иного решения.

В целом назначение критериев допустимого риска является достаточно сложной задачей, особенно в социальной, экономической и политической областях, и, строго говоря, находится вне сферы рассмотрения упоминаемых

стандартов. Вместе с тем, специалисты вполне могут использовать последовательный и структурированный подход данных стандартов к анализу риска и в этих областях.

4.4. Анализ риска в жизненном цикле продукции

и других Анализ риска представляет собой структурированный процесс, целью которого является определение как вероятности, так и размеров неблагоприятных последствий исследуемого действия, объекта или системы. В стандартах в качестве неблагоприятных последствий рассматривается вред, наносимый людям, имуществу или окружающей среде.

Посредством проведения анализа риска предпринимаются попытки ответить на три основных вопроса:

- что может выйти из строя (идентификация опасности);
- с какой вероятностью это может произойти (анализ частоты);
- каковы последствия этого события (анализ последствий).

В настоящем параграфе перечислены некоторые конкретные цели анализа риска, относящиеся к различным стадиям жизненного цикла опасных систем, оборудования или изделий:

а) Стадия проектирования:

- 1) выявление главных источников риска и предполагаемых факторов, существенно влияющих на риск;
- 2) предоставление исходных данных для оценки конструкции в целом;
- 3) определение и оценка возможных мер безопасности, закладываемых в конструкцию;
- 4) предоставление исходных данных для оценки потенциально опасных действий, оборудования или систем;
- 5) обеспечение соответствующей информацией при проведении опытно-конструкторских работ, ориентированных на нормальные и чрезвычайные условия;
- 6) оценка риска с учетом регламентов требований;
- 7) оценка альтернативных конструктивных решений.

б) Стадии изготовления, монтажа, эксплуатации и технического обслуживания:

- 1) контроль и оценка данных эксплуатации с целью сопоставления фактических показателей работы с соответствующими требованиями;
- 2) обеспечение исходными данными процесса разработки методик эксплуатации, технического обслуживания/контроля и действий в чрезвычайных ситуациях;
- 3) корректировка информации об основных источниках риска и влияющих факторах;
- 4) предоставление информации по значимости риска для принятия оперативных решений;
- 5) определение влияния изменений в организационной структуре, производстве, процедурах эксплуатации и компонентах системы;

б) подготовка персонала.

в) Стадия демонтажа, прекращения эксплуатации:

1) оценка риска, связанного с прекращением функционирования системы, и обеспечение возможности выполнения соответствующих требований;

2) обеспечение исходными данными процесса прекращения функционирования системы и ее демонтажа.

4.5. Основные составляющие процесса анализа риска

Для повышения эффективности и объективности анализа риска и обеспечения сопоставимости с другими результатами по анализу риска необходимо соблюдать следующие общие правила. Процесс анализа риска должен осуществляться в соответствии со следующими этапами:

а) определение области применения;

б) идентификация опасности и предварительная оценка последствий;

в) оценка величины риска;

г) проверка результатов анализа;

д) документальное обоснование;

е) корректировка результатов анализа с учетом последних данных.

Блок-схема данного процесса показана на рисунке 4.5.1. Оценка риска включает проведение анализа частот и анализа последствий. Несмотря на то, что на рисунке 4.5.1 документация изображена в качестве отдельного блока, она разрабатывается на каждой стадии процесса. В зависимости от области применения рассматриваются лишь определенные элементы представленного процесса. Например, в некоторых случаях может оказаться, что нет необходимости выходить за рамки исходного анализа опасности и последствий.

Необходимым требованием является скрупулезное знание рассматриваемой системы и используемых методов анализа.

Подробнее с методикой проведения перечисленных этапов анализа риска можно ознакомиться непосредственно в ГОСТ Р 51901.

Перечень наиболее распространенных методов, используемых при анализе риска, приведен в таблице 4.5.1.

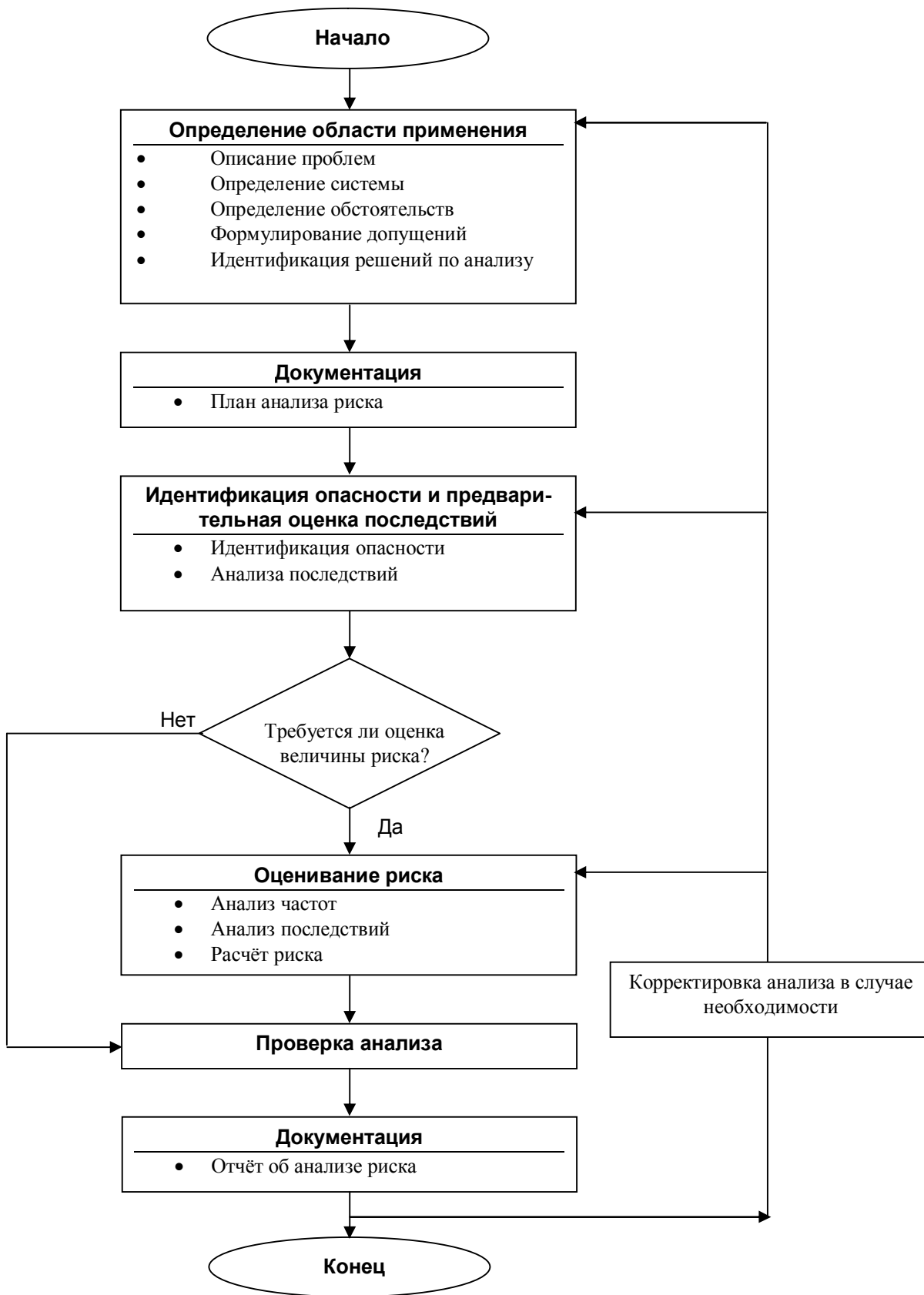


Рис. 4.5.1. Процесс анализа риска

Таблица 4.5.1

Перечень наиболее распространенных методов, используемых при анализе
риска

Метод	Описание и применение	Ссылка по ГОСТ Р 51901
Анализ «дерева событий»	Совокупность приемов идентификации опасности и анализа частот, в которых используется индуктивный подход с целью перевода различных инициирующих событий в возможные исходы	Приложение А (здесь и далее - ГОСТ Р 51901)
Анализ видов и последствий отказов, а также Анализ видов, последствий и критичности отказов	Совокупность приемов идентификации главных источников опасности и анализа частот, с помощью которых анализируются все аварийные состояния данной единицы оборудования на предмет их влияния как на другие компоненты, так и на систему в целом	Приложение А
Анализ «дерева неисправностей»	Совокупность приемов идентификации опасности и анализа частот нежелательного события, с помощью которых определяются все пути его реализации. Используется графическое изображение	Приложение А
Исследование опасности и связанных с ней проблем	Совокупность приемов идентификации фундаментальной опасности, при помощи которых оценивается каждая часть системы с целью обнаружения того, могут ли происходить отклонения от назначения конструкции и какие последствия это может повлечь	Приложение А
Анализ влияния человеческого фактора	Совокупность приемов анализа частот в области воздействия людей на показатели работы системы, при помощи которых определяется влияние ошибок человека на надежность	Приложение А
Предварительный анализ опасности	Совокупность приемов идентификации опасности и анализа частот, используемых на ранней стадии проектирования с целью идентификации опасностей и оценки их критичности	Приложение А
Структурная схема надежности	Совокупность приемов анализа частот, на основе которых создается модель системы и ее резервов для оценки надежности системы	МЭК 61078

Перечень дополнительных методов представлен в таблице 4.5.2. Иногда может оказаться необходимым использование более одного метода анализа.

В следующей главе приводится подробное изложение применения одного из этих методов — анализа видов и последствий потенциальных отказов.

Перечень дополнительных методов, используемых при анализе риска

Метод	Описание и применение
Классификация групп риска по категориям	Классификация видов риска по категориям в порядке приоритетности групп риска
Ведомости проверок	Составление перечней типовых опасных веществ и/или источников потенциальных аварий, которые нуждаются в рассмотрении. С их помощью можно оценивать соответствие законам и стандартам
Общий анализ отказов	Метод, предназначенный для определения того, возможен ли случайный отказ (авария) ряда различных частей или компонентов в рамках системы, и оценки его вероятного суммарного эффекта
Модели описания последствий	Оценка воздействия события на людей, имущество или окружающую среду. Используются как упрощенные аналитические подходы, так и сложные компьютерные модели
Метод Делфи	Способ комбинирования экспертных оценок, которые могут обеспечить проведение анализа частоты, моделирования последствий и/или оценивания риска
Индексы опасности	Совокупность приемов по идентификации/оценке опасности, которые могут быть использованы для ранжирования различных вариантов системы и определения менее опасных вариантов
Метод Монте-Карло и другие методы моделирования	Совокупность приемов анализа частоты, в которых используется модель системы для оценки вариаций в исходных условиях и допущениях
Парные сопоставления	Способ оценки и ранжирования совокупности рисков путем попарного сравнения
Обзор данных по эксплуатации	Совокупность приемов, которые могут быть использованы для выявления потенциально проблемных областей, а также для анализа частоты, основанного на данных об авариях, данных о надежности и прочее
Анализ скрытых процессов	Метод выявления скрытых процессов и путей, которые могли бы привести к наступлению непредвиденных событий

Методы, используемые для оценки величины риска, обычно являются количественными. Однако полный количественный анализ не всегда возможен из-за недостатка информации о системе или деятельности, подвергающейся анализу, отсутствия или недостатка данных об отказах (авариях), влиянии человеческого фактора и т.п. При таких обстоятельствах может оказаться эффективным сравнительное количественное или качественное ранжирование риска специалистами, хорошо информированными в данной области (экспертами). Подробнее принципы экспертного анализа излагаются в следующем параграфе.

4.6. Принципы экспертного анализа⁴

Какова будет реакция потребителей на рекламную компанию нового продукта? Как изменится социальная, технологическая, экологическая, экономическая, политическая ситуация через десять лет? Будет ли обеспечена экологическая безопасность инновационного производства или же вокруг возникнет рукотворная пустыня? Достаточно вдуматься в эти постановки вопросов, проанализировать, как десять лет назад мы представляли себе сегодняшний день, чтобы понять, что стопроцентно надежных прогнозов по такого рода вопросам просто не может быть. Вместо утверждений с конкретными числами можно ожидать лишь качественных оценок. Тем не менее, мы должны принимать решения, например, об инновационных и иных проектах и инвестициях, последствия которых скажутся через пять, десять и более лет.

Совершенно бесспорно, что для принятия обоснованных решений необходимо опираться на опыт, знания и интуицию специалистов. После второй мировой войны в рамках кибернетики, теории управления, менеджмента и исследования операций стала развиваться самостоятельная дисциплина — **теория и практика экспертных оценок**.

Методы экспертных оценок — это методы организации работы со специалистами-экспертами и обработки мнений экспертов. Эти мнения обычно выражены частично в количественной, частично в качественной форме. Экспертные исследования я проводят с целью подготовки информации для принятия решений лицом, принимающим решения (ЛПР). Для проведения работы по методу экспертных оценок создают Рабочую группу (сокращенно РГ), которая и организует по поручению ЛПР деятельность экспертов, объединенных (формально или по существу) в экспертную комиссию (ЭК).

Экспертные оценки бывают *индивидуальные* и *коллективные*. *Индивидуальные оценки* — это оценки одного специалиста. Например, преподаватель единолично ставит отметку студенту, а врач — диагноз больному. Но в сложных случаях заболевания или при угрозе отчисления студента за плохую учебу обращаются к *коллективному* мнению — симпозиуму врачей или комиссии преподавателей. Аналогичная ситуация — в армии. Обычно командующий принимает решение единолично. Но в сложных и ответственных ситуациях проводят военный совет. Один из наиболее известных примеров такого рода — военный совет 1812 г. в Филях, на котором под председательством М.И. Кутузова решался вопрос: «Давать или не давать французам сражение под Москвой?»

Другой простейший пример экспертных оценок — оценка выступлений артистов. Каждый из членов жюри поднимают фанерку со своей оценкой, а технический работник вычисляет среднюю арифметическую оценку, которая и объявляется как коллективное мнение жюри (ниже мы увидим, что такой подход некорректен с точки зрения теории измерений).

⁴ В параграфе использован материал монографии: Орлов А.И. Менеджмент. М.: Издательство "Изумруд", 2003. Монография доступна в интернете.

В фигурном катании процедура усложняется — перед усреднением *отбрасываются самая большая и самая маленькая оценки*. Это делается для того, чтобы не было соблазна зависить оценку одной спортсменке (например, соотечественнице) или занижить другой. Такие резко выделяющиеся из общего ряда оценки будут сразу отброшены.

Экспертные оценки часто используются при выборе — одного варианта технических устройств из нескольких, группы космонавтов из многих претендентов, набора проектов научно-исследовательских работ для финансирования из массы заявок, получателей кредитов инновационных проектов из многих желающих, и т.д.

Существует масса методов получения экспертных оценок. В одних с каждым экспертом работают отдельно, он даже не знает, кто еще является экспертом, а потому высказывает свое мнение независимо от авторитетов. В других экспертов собирают вместе для подготовки материалов для ЛПР, при этом эксперты обсуждают проблему друг с другом, учатся друг у друга, и неверные мнения отбрасываются. В одних методах число экспертов фиксировано и таково, чтобы статистические методы проверки согласованности мнений и затем их усреднения позволяли принимать обоснованные решения. В других - число экспертов растет в процессе проведения экспертизы, например, при использовании так называемого метода «снежного кома». Не меньше существует и методов обработки ответов экспертов, в том числе весьма насыщенных математикой и компьютеризированных

Один из наиболее известных методов экспертных оценок — это *метод «Дельфи»*. Название дано по ассоциации с Дельфийским храмом, куда согласно древнему обычаю было принято обращаться для получения поддержки при принятии решений. Он был расположен у выхода ядовитых вулканических газов. Жрицы храма, надышавшись отравы, начинали пророчествовать, произнося непонятные слова. Специальные «переводчики» — жрецы храма толковали эти слова и отмечали на вопросы пришедших со своими проблемами паломников.

В США в 1960-х годах методом Дельфи называли экспертную процедуру прогнозирования научно-технического развития. В первом туре эксперты называли вероятные даты тех или иных будущих свершений. Во втором туре каждый эксперт знакомился с прогнозами всех остальных. Если его прогноз сильно отличался от прогнозов основной массы, его просили пояснить свою позицию, и часто он изменял свои оценки, приближаясь к средним значениям. Эти средние значения и выдавались заказчику как групповое мнение. Надо сказать, что реальные результаты исследования оказались довольно скромными — хотя дата высадки американцев на Луну была предсказана с точностью до месяца, все остальные прогнозы провалились — холодного термоядерного синтеза и средства от рака в XX в. человечество не дождалось.

Еще один вариант экспертного оценивания — *мозговой штурм*. Организуется он как собрание экспертов, на выступления которых наложено одно, но очень существенное ограничение — нельзя критиковать предложения других. Можно их развивать, можно высказывать свои идеи, но нельзя критиковать! В

ходе заседания эксперты, «заражаясь» друг от друга, высказывают все более экстравагантные соображения. Часа через два записанное на магнитофон или видеокамеру заседание заканчивается, и начинается второй этап мозгового штурма - анализ высказанных идей. Обычно из 100 идей 30 заслуживают дальнейшей проработки, из 5-6 дают возможность сформулировать прикладные проекты, а 2-3 оказываются в итоге приносящими полезный эффект — прибыль, повышение экологической безопасности и т.п. При этом интерпретация идей — творческий процесс. Например, при обсуждении возможностей защиты кораблей от торпедной атаки была высказана «бредовая» идея: «Выстроить матросов вдоль борта и дуть на торпеду, чтобы изменить ее курс». После проработки эта идея привела к созданию действующих устройств, создающих волны, сбивающиеся торпеду с курса.

Как показывает опыт проведения экспертных исследований, с точки зрения менеджера, организатора такого исследования, целесообразно выделять следующие стадии проведения экспертного опроса.

1) *Принятие решения* о необходимости проведения экспертного опроса и формулировка лицом, принимающим решения (ЛПР), его цели. Таким образом, инициатива должна исходить от руководства, что в дальнейшем обеспечит успешное решение организационных и финансовых проблем.

2) *Подбор и назначение ЛПР основного состава Рабочей группы*, сокращенно РГ (обычно — научного руководителя и секретаря). При этом научный руководитель отвечает за организацию и проведение экспертного исследования в целом, а также за анализ собранных материалов и формулировку заключения экспертной комиссии. Он участвует в формировании коллектива экспертов и выдаче задания каждому (вместе с ЛПР или его представителем). Дело секретаря — ведение документации, решение организационных задач.

3) *Разработка РГ* (точнее, ее основным составом, прежде всего научным руководителем и секретарем) *и утверждение у ЛПР технического задания* на проведение экспертного опроса. На этой стадия решение о проведении экспертного опроса приобретает четкость во времени, финансовом, кадровом, материальном и организационном обеспечении. В частности, в РГ выделяются различные группы специалистов - аналитическая, эконометрическая (специалисты по методам анализа данных), компьютерная, по работе с экспертами (например, интервьюеров), организационная. Очень важно для успеха, чтобы все эти направления работ были утверждены ЛПР.

4) *Разработка группой подробного сценария* (т.е. *регламента*) проведения сбора и анализа экспертных мнений (оценок). Сценарий включает в себя прежде всего конкретный вид информации, которая будет получена от экспертов (например, тексты (слова), условные градации, числа, ранжировки, разбиения или иные виды объектов нечисловой природы). Так, довольно часто экспертов просят высказаться в свободной форме, ответив при этом на некоторые количество заранее сформулированных вопросов. Кроме того, их просят заполнить формальную карту, в каждом пункте выбрав одну из нескольких градаций. Сценарий должен содержать и конкретные методы анализа собранной информации. Например, вычисление медианы, статистический анализ, применение

методов статистики объектов нечисловой природы и других разделов современной эконометрики. Эта работа ложится на эконометрическую и компьютерную группу РГ. **Традиционная ошибка — сначала собрать информацию, а потом думать, что с ней делать.** В результате, как показывает опыт, информация используется лишь на 1-2%.

5) *Подбор экспертов* в соответствии с их компетентностью. На этой стадии РГ составляет список возможных экспертов.

6) *Формирование экспертной комиссии.* На этой стадии РГ проводит переговоры с экспертами, получает их согласие на работу в экспертной комиссии (сокращенно ЭК), возможно, часть намеченных РГ экспертов отказывается по тем или иным причинам. ЛПР утверждает состав экспертной комиссии, возможно, вычеркнув или добавив часть экспертов к предложениям РГ. Проводится заключение договоров с экспертами об условиях их работы и ее оплаты.

7) *Проведение сбора экспертной информации.* Часто перед этим проводится набор и обучение интервьюеров — одной из групп, входящих в РГ.

8) (Компьютерный) *анализ экспертной информации* с помощью включенных в сценарий методов. Ему обычно предшествует введение информации в компьютеры.

9) При применении согласно сценарию экспертной процедуры из нескольких туров - *повторение* двух предыдущих этапов.

10) *Итоговый анализ экспертных мнений*, интерпретация полученных результатов аналитической группой РГ и *подготовка заключительного документа* ЭК для ЛПР.

11) Официальное *окончание* деятельности РГ, в том числе утверждение ЛПР заключительного документа ЭК, подготовка и утверждение научного (и финансового) отчетов РГ о проведении исследования, оплата труда экспертов и сотрудников РГ, официальное прекращение деятельности (ропуск) ЭК и РГ.

Подробнее отдельные стадии экспертного исследования будут рассмотрены в следующей главе, в которой излагается один из методов анализа риска с использованием экспертных оценок.

ГЛАВА 5. МЕТОД АНАЛИЗА ВИДОВ И ПОСЛЕДСТВИЙ ПОТЕНЦИАЛЬНЫХ ДЕФЕКТОВ

5.1. Общие положения

Метод анализа видов и последствий потенциальных дефектов (Potential Failure Mode and Effects Analysis) (далее — «метод FMEA», или просто «FMEA») это эффективный инструмент повышения качества разрабатываемых технических объектов, направленный на предотвращение дефектов или снижение негативных последствий от них. Это достигается благодаря предвидению дефектов и (или) отказов и их анализу, проводимому на этапах проектирования конструкции и производственных процессов.

Метод FMEA позволяет проанализировать потенциальные дефекты, их причины и последствия, оценить риски их появления и необнаружения и принять меры для устранения или снижения вероятности и ущерба от их появления. Это один из наиболее эффективных методов доработки процессов изготовления продукции на таких важнейших стадиях жизненного цикла продукции, как ее разработка и подготовка к производству.

Характерной особенностью метода является то, что он может использоваться при разработке и анализе любых процессов, например таких, как процессы изготовления продаж, обслуживания, маркетинга и т.д.

На этапе доработки производственного процесса перед его запуском или при его улучшении методом FMEA решают следующие задачи:

- обнаружение «слабых» мест технологических процессов и принятие мер по их устранению при планировании производственных процессов;
- принятие решений о пригодности предложенных и альтернативных процессов и оборудования при разработке технологических процессов;
- доработка технологического процесса до наиболее приемлемого с различных точек зрения, а именно: надежности, безопасности для персонала, обнаружения потенциально дефектных технологических операций и т.д.;
- подготовка серийного производства.

При рассмотрении FMEA применяется следующая терминология с соответствующими определениями:

несоответствие: невыполнение требования (ГОСТ Р ИСО 9000);

дефект: невыполнение требования, связанного с предполагаемым или установленным использованием (ГОСТ Р ИСО 9000);

отказ: непредусмотренное для нормального функционирования технического объекта явление, приводящее к негативным последствиям при эксплуатации или изготовлении данного технического объекта;

Примечание - далее в главе используется термин «дефект» в значении, обобщающем приведенные термины «несоответствие», «дефект» и «отказ»;

значимость потенциального дефекта: качественная или количественная оценка предполагаемого ущерба от данного дефекта;

балл [ранг] значимости (S): экспертно выставяемая оценка, соответствующая значимости данного дефекта по его возможным последствиям;

вероятность возникновения дефекта: Количественная оценка доли продукции (от общего ее выпуска) с дефектом данного вида; эта доля зависит от предложенной конструкции технического объекта и процесса его производства.

балл [ранг] возникновения (O): экспертно выставаемая оценка, соответствующая вероятности возникновения данного дефекта;

вероятность обнаружения дефекта: количественная оценка доли продукции с потенциальным дефектом данного вида, для которой предусмотренные в технологическом цикле методы контроля и диагностики позволят выявить данный потенциальный дефект или его причину в случае их возникновения;

балл [ранг] обнаружения (D): экспертно выставаемая оценка, соответствующая вероятности обнаружения дефекта;

комплексный риск дефекта: комплексная оценка дефекта с точки зрения его значимости по последствиям, вероятности возникновения и вероятности обнаружения;

приоритетное число риска (ПЧР): количественная оценка комплексного риска дефекта, являющаяся произведением баллов значимости, возникновения и обнаружения для данного дефекта;

анализ видов и последствий потенциальных дефектов (FMEA): формализованная процедура анализа и доработки проектируемого технического объекта, процесса изготовления, правил эксплуатации и хранения, системы технического обслуживания и ремонта данного технического объекта, основанная на выделении возможных (наблюдаемых) дефектов разного вида с их последствиями и причинно-следственными связями, обуславливающими их возникновение, и оценках критичности этих дефектов;

технический объект [объект]: любое изделие (элемент, устройство, подсистема, функциональная единица или система), которое можно рассматривать в отдельности;

Примечание - Объект может состоять из технических средств, программных средств или их сочетания и может в частных случаях включать персонал, его эксплуатирующий, обслуживающий и (или) ремонтирующий

Различные виды FMEA

В случаях, когда при разработке технического объекта конструкцию и процесс производства разделять нецелесообразно, разработку конструкции и производственного процесса проводят совместно с применением общего FMEA. Отраслевыми примерами целесообразного применения общего FMEA являются: резинотехническое производство, шинная промышленность и др. В этом случае применяют обобщенную методологию анализа видов и последствий де-

фектов конструкции и технологии по ГОСТ Р 51814.2*, а также по ГОСТ 27.310**.

В случаях, когда разрабатываемый технический объект предполагает сначала разработку конструкции этого объекта, а затем разработку процессов его производства, метод FMEA может быть разделен на два этапа: этап отработки конструкции (DFMEA или FMEA конструкции) и этап отработки производственного процесса (PFMEA или FMEA процесса)*.

Анализ видов и последствий дефектов конструкции (DFMEA, FMEA конструкции) представляет собой процедуру анализа первоначально предложенной конструкции технического объекта и доработки этой конструкции в процессе работы соответствующей FMEA-команды.

FMEA конструкции проводят на этапе разработки конструкции технического объекта. Данный метод позволяет предотвратить запуск в производство недостаточно отработанной конструкции, помогает улучшить конструкцию технического объекта и заранее предусмотреть необходимые меры в технологии изготовления, предупреждая появление или (и) снижая комплексный риск дефекта за счет:

- коллективной работы разносторонних специалистов, входящих в DFMEA-команду;

- изначального и полного учета требований для изготовления компонентов, требований сборки, контроля при изготовлении, удобства обслуживания и т.д.;

- повышения вероятности того, что все виды потенциальных дефектов и их последствия будут рассмотрены в процессе работы DFMEA-команды;

- анализа полной и разносторонней информации при планировании эффективного испытания конструкции;

- анализа списка всех видов потенциальных дефектов, ранжированных по их влиянию на потребителя, при котором устанавливают систему приоритетов при проведении улучшений конструкции и программу испытаний;

- создания открытой формы для рекомендаций и прослеживания действий, снижающих риск возникновения дефектов;

- разработки рекомендаций, помогающих в дальнейшей деятельности по анализу совокупности требований, оцениванию изменений конструкции, а также при разработке последующих перспективных конструкций.

Анализ видов и последствий дефектов процесса (PFMEA, FMEA процесса) представляет собой процедуру анализа первоначально разработанного и

* ГОСТ Р 51814.2-2001. Системы качества в автомобилестроении. Метод анализа видов и последствий потенциальных дефектов. Quality systems for automotive industry. Method for potential failure mode and effects analysis.

** ГОСТ Р 27.310-95. Надежность в технике. Анализ видов, последствий и критичности отказов. Основные положения.

Тексты двух указанных стандартов использованы при написании данной главы.

*DFMEA – Potential failure mode and effects analysis in design (Design FMEA).

PFMEA – Potential failure mode and effects analysis in manufacturing and assembly processes (Process FMEA).

предложенного (процесса) производства и доработки этого процесса в ходе работы соответствующей PFMEA-команды.

PFMEA проводят на этапе разработки производственного процесса, и это позволяет предотвратить внедрение в производство недостаточно отработанных процессов.

PFMEA позволяет:

идентифицировать виды потенциальных дефектов процесса изготовления данного технического объекта, приводящих к дефектам данного технического объекта;

оценить потенциальные реакции потребителя на соответствующие дефекты;

идентифицировать потенциальные факторы процессов изготовления и сборки и вариации процесса, требующие усиленных действий для снижения частоты (вероятности) дефектов или для обнаружения условий дефектов процесса;

составить ранжированный список потенциальных дефектов процесса, устанавливая этим систему приоритетов для рассмотрения корректирующих действий;

документировать результаты процесса изготовления или сборки.

5.2. Алгоритм проведения FMEA

В процессе FMEA решают следующие задачи:

- составляют перечень всех потенциально возможных видов дефектов процесса, при этом учитывают как опыт разработки аналогичных процессов, так и опыт реальных действий и возможных ошибок персонала;

- определяют возможные неблагоприятные последствия от каждого потенциального дефекта, проводят качественный анализ тяжести последствий и количественную оценку их значимости;

- определяют причины каждого потенциального дефекта и оценивают частоту возникновения каждой причины в соответствии с предлагаемым процессом изготовления;

- количественно оценивают критичность каждого дефекта (с его причиной) приоритетным числом риска ПЧР и при высоком ПЧР ведут доработку производственного процесса с целью снижения критичности данного дефекта;

При проведении FMEA наряду с предложенным вариантом конструкции или процесса производства анализируют также альтернативные варианты решений. Эти варианты рассматривают с целью снижения комплексного риска дефекта по ПЧР, снижения стоимости и повышения эффективности производственного процесса.

FMEA представляет собой процедуру анализа первоначально разработанного и предложенного (процесса) производства или продукта и доработки этого процесса или продукта.

FMEA проводят на этапе разработки производственного процесса или продукта, и это позволяет предотвратить внедрение в производство недостаточно отработанных процессов.

FMEA позволяет:

- идентифицировать виды потенциальных дефектов процесса изготовления данного технического объекта, приводящих к дефектам данного технического объекта;
- оценить потенциальные реакции потребителя на соответствующие дефекты;
- идентифицировать потенциальные факторы процессов изготовления и сборки и вариации процесса, требующие усиленных действий для снижения частоты (вероятности) дефектов или для обнаружения условий дефектов процесса;
- составить ранжированный список потенциальных дефектов процесса, устанавливая этим систему приоритетов для рассмотрения корректирующих действий;
- документировать результаты процесса изготовления или сборки.

Алгоритм методики анализа риска потенциальных дефектов, которые могут иметь место в ходе процесса, разработанный на основе метода FMEA, представлен на рисунке 5.2.1.

Для конкретного производственного процесса с его конкретной функцией определяются все возможные виды дефектов.

Для всех описанных видов потенциальных дефектов определяются их последствия.

Для каждого последствия дефекта экспертно определяют **балл значимости S** при помощи таблицы баллов значимости. Балл значимости изменяется от 1 для наименее значимых по ущербу дефектов до 10 — для наиболее значимых по ущербу дефектов. Для конкретного предприятия эта таблица должна быть пересмотрена в соответствии со спецификой предприятия и конкретными последствиями дефектов.

В дальнейшем при выставлении ПЧР используется один максимальный балл значимости S из всех последствий данного дефекта.

Для каждого потенциального дефекта определяются потенциальные причины. Для одного возможного дефекта может быть выявлено несколько потенциальных причин, все они должны быть по возможности полно описаны.

Для каждой потенциальной причины дефекта экспертно определяют **балл возникновения O**. При этом рассматривается предполагаемый процесс изготовления и экспертно оценивается частота данной причины, приводящей к рассматриваемому дефекту.

Балл возникновения изменяется от 1 для самых редко возникающих дефектов до 10 — для дефектов, возникающих почти всегда.

Для данного дефекта и каждой отдельной причины его возникновения определяется **балл обнаружения D** для данного дефекта или причины его вызывающей в ходе предполагаемого процесса изготовления.

Балл обнаружения изменяется от 10 для практически не обнаруживаемых дефектов (причин) до 1 — для практически достоверно обнаруживаемых дефектов /причин.

Примеры выбора баллов S, O и D приведены в таблицах 5.2.1 – 5.2.3.

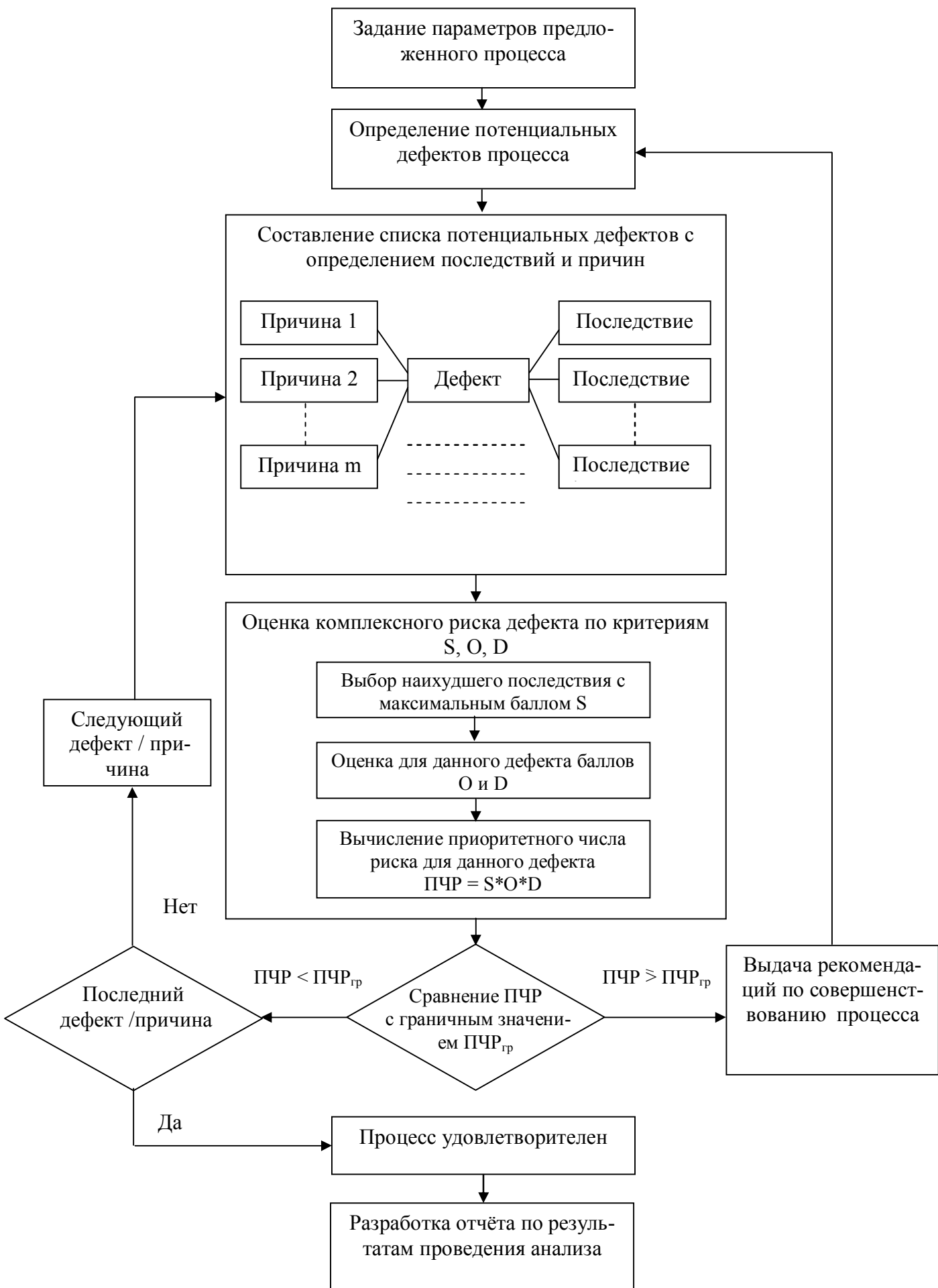


Рис. 5.2.1. Алгоритм проведения FMEA

Рекомендуемая шкала баллов значимости дефекта (S)

Последствие	Критерий значимости последствия	Балл S
Опасное без предупреждения	Может подвергнуть опасности персонал у станка или на сборке. Очень высокий ранг значимости, когда вид потенциального дефекта вызывает несоответствие обязательным требованиям безопасности и экологии без предупреждения	10
Опасное с предупреждением	Может подвергнуть опасности персонал у станка или на сборке. Весьма высокий ранг значимости, когда вид потенциального дефекта вызывает несоответствие обязательным требованиям безопасности и экологии с предупреждением	9
Очень важное	Большое нарушение производственной линии. Может браковаться до 100 % продукции. Потребитель очень недоволен	8
Важное	Небольшое нарушение производственной линии. Может потребоваться сортировка продукции, когда часть ее бракуется. Потребитель неудовлетворен	7
Умеренное	Небольшое нарушение производственной линии. Часть продукции необходимо забраковать (без сортировки). Потребитель испытывает дискомфорт	6
Слабое	Небольшое нарушение производственной линии. Может потребоваться переделка до 100% продукции. Потребитель испытывает некоторое неудовлетворение	5
Очень слабое	Небольшое нарушение производственной линии. Может потребоваться сортировка и частичная переделка продукции. Отделка и шумность изделия не соответствуют ожиданиям потребителя. Этот дефект замечает большинство потребителей	4
Незначительное	Небольшое нарушение производственной линии. Может потребоваться переделка части продукции на специальном участке. Отделка и шумность не соответствуют ожиданиям потребителя. Дефект замечает средний потребитель	3
Очень незначительное	Небольшое нарушение производственной линии. Может потребоваться доработка части продукции на основной технологической линии. Отделка и шумность не соответствуют ожиданиям потребителя. Дефект замечает разборчивый потребитель	2
Отсутствует	Нет последствия	1

Таблица 5.2.2

Рекомендуемая шкала для выставления балла возникновения (O)

Вероятность дефекта	Возможные частоты дефектов	Балл O
Очень высокая: дефект почти неизбежен	Более 1 из 2	10
	1 из 3	9
Высокая: ассоциируется с аналогичными процессами, которые часто отказывают	Более 1 из 8	8
	1 из 20	7
Умеренная: в общем ассоциируется с предыдущими процессами, у которых наблюдались случайные дефекты, но не в большой пропорции	Более 1 из 80	6
	1 из 400	5
	1 из 2000	4
Низкая: отдельные дефекты, связанные с подобными процессами	Более 1 из 15000	3
Очень низкая: отдельные дефекты, связанные с почти идентичными процессами	Более 1 из 150000	2
Малая: дефект маловероятен. Дефекты никогда не связаны с такими же идентичными процессами	Менее 1 из 1500000	1

Таблица 5.2.3

Рекомендуемая шкала для выставления балла обнаружения (D)

Обнаружение	Критерии: вероятность обнаружения дефекта при контроле процесса до следующего процесса или до того, как часть или компонент покинет место изготовления	Балл D
Почти невозможно	Нет известного контроля для обнаружения вида дефекта в производственном процессе	10
Очень плохое	Очень низкая вероятность обнаружения вида дефекта действующими методами контроля	9
Плохое	Низкая вероятность обнаружения вида дефекта действующими методами контроля	8
Очень слабое	Очень низкая вероятность обнаружения вида дефекта действующими методами контроля	7
Слабое	Низкая вероятность обнаружения вида дефекта действующими методами контроля	6
Умеренное	Умеренная вероятность обнаружения вида дефекта действующими методами контроля	5
Умеренно хорошее	Умеренно высокая вероятность обнаружения вида дефекта действующими методами контроля	4
Хорошее	Высокая вероятность обнаружения вида дефекта действующими методами контроля	3
Очень хорошее	Очень высокая вероятность обнаружения вида дефекта действующими методами контроля	2
Почти наверняка	Действующий контроль почти наверняка обнаружит дефект. Для подобных процессов известны надежные методы контроля	1

5.3. Расчет количественного показателя риска и последующие действия

После получения экспертных оценок S, O, D вычисляют **приоритетное число риска (ПЧР)** по формуле

$$\text{ПЧР} = S \times O \times D. \quad (5.3.1)$$

Для дефектов, имеющих несколько причин, определяют соответственно несколько ПЧР. Каждое ПЧР может иметь значения от 1 до 1000.

Для приоритетного числа риска может быть заранее установлена критическая граница ПЧР_{гр} в пределах (рекомендуемых) от 100 до 125. Снижение ПЧР_{гр} соответствует созданию более высококачественных и надежных объектов и процессов.

Составляется перечень потенциальных дефектов/причин, для которых значение ПЧР превышает ПЧР_{гр}. **Именно для них и следует далее вести доработку конструкции или производственного процесса.**

Для каждого дефекта/причины с ПЧР > ПЧР_{гр} производственный процесс (конструкция) должен быть доработан.

После того, как действия по доработке определены, необходимо провести переоценку баллов S, O и D для нового предложенного варианта производственного процесса и определить значение нового ПЧР.

Все новые значения ПЧР следует рассмотреть, и если необходимо дальнейшее их снижение, повторить предыдущие действия.

Ответственный за разработку производственного процесса специалист должен подтвердить, что все предложения по доработке были рассмотрены.

В конце работы должен быть создан отчет, в котором отражаются основные результаты работы команды, включающие, как минимум:

- описание технического объекта и его функций;
- перечень потенциальных дефектов / причин для первоначально предложенного варианта производственного процесса
- экспертные баллы S, O, D и ПЧР для каждого дефекта и причины первоначально предложенного варианта технологического процесса;
- предложенные корректирующие действия по доработке первоначально предложенного варианта производственного процесса;
- экспертные баллы S, O, D и ПЧР для каждого потенциального дефекта / причины доработанного варианта технологического процесса.

ГЛАВА 6. МЕТОД РАЗВЕРТЫВАНИЯ ФУНКЦИИ КАЧЕСТВА

6.1. Общие положения

Метод развертывания функции качества (Quality Function Deployment) (далее — «метод РФК», или просто «РФК») является эффективным инструментом работы с требованиями, предъявляемым к качеству разрабатываемых продуктов. Целью применения данного инструмента является повышение точности определения технических требований к продукту за счет улучшения понимания потребностей. При этом предполагается ограниченное привлечение клиента к участию в процессе разработки продукта. Результат достигается благодаря детальному анализу потребностей клиента и возможностей производителя, проводимому на этапе управления требованиями в процессе разработки.

Преимущества использования метода РФК заключается в том, что он позволяет:

1. Сделать взаимодействие с потребителем более эффективным, посредством определения высказанных и невысказанных требований на протяжении всего процесса разработки продукта.
2. Сделать более эффективной обратную связь между разработчиками, принимающими участие в проекте на различных этапах его жизненного цикла.
3. Обеспечить повышение надёжности (или других характеристик качества) с позиции представления клиента.
4. Сократить время разработки.

Важным понятием, которое привносит метод РФК, является понятие «голоса клиента». Это связано с тем, что при использовании данного метода необходимо рассматривать качество с позиции клиента, а не только с технической точки зрения разработчика.

Метод РФК позволяет решить следующие задачи при разработке нового продукта:

- Определение «голоса клиента» по отношению к разрабатываемому продукту и представление его в наглядном виде;
- Определение технических характеристик, необходимых для реализации потребностей клиента;
- Количественное оценивание характеристик качества продукта, подлежащего разработке и упорядочивание их по приоритету;
- Устранение необходимости раннего выбора технологии реализации проекта (как правило, это является узким местом при разработке);
- Получение руководством фирмы-производителя понимания нового процесса разработки продукта с обобщенной точки зрения, включающей качество продукта, качество процесса его разработки, затраты, производительность и надежность*.

* JIS Q 9025, Japan Standards Association, 2003.

Различают два варианта применения РФК, условно называемые «традиционный» и «новый». Оба эти метода рассмотрены ниже.

6.2 Традиционный метод развертывания функции качества

В случаях, когда целью проекта является разработка технического объекта, и заказчиком изделия заданы его основные параметры, разработку конструкции изделия проводят с применением традиционного РФК⁵. Отраслевыми примерами целесообразного применения традиционного РФК являются автомобилестроение и аналогичные виды производства. В этом случае применяют четырехфазную модель РФК^{**}.

Схема четырехфазной модели метода «развертывание функций качества» показана на рисунке 6.2.1.

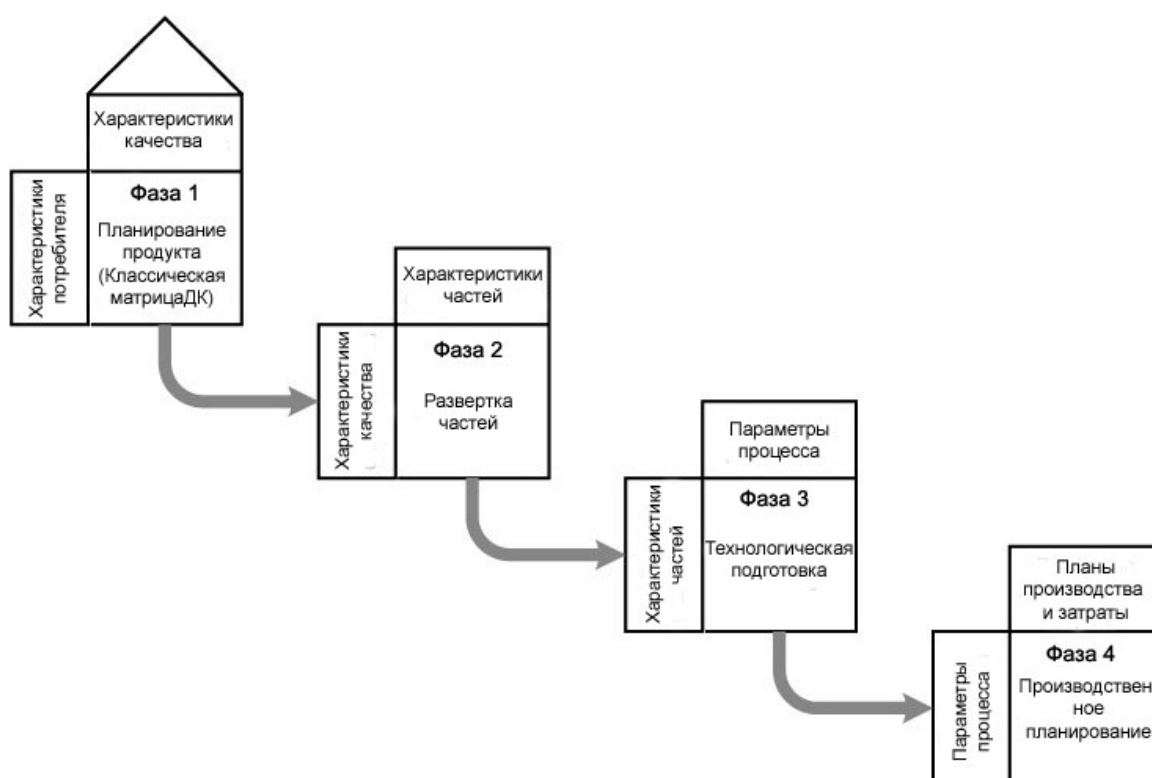


Рисунок 6.2.1. Четырехфазная модель РФК

Четырехфазная модель РФК начинается с развертывания требуемых клиенту характеристик в характеристики качества продукта (матрица «Дом качества»), затем происходит развертывание характеристик качества продукта в характеристики его отдельных частей, и далее характеристики частей разворачиваются в установочные параметры процесса изготовления (технологическая подготовка производства) и детальные планы производства (см. Приложение 3.А).

В специальной литературе на английском языке эти методы называются соответственно «Traditional QFD» и «Modern QFD»

** J. R. Hauser, and D. Clausing. "The House of Quality," Harvard Business Review, Vol. 66, No. 3, May/June 1988, pp. 6373.

Подробнее четыре фазы в этом подходе состоят в следующем:

Фаза 1: Матрица «Дом Качества»

Эта матрица отвечает на вопросы, что значит «хороший продукт» для потребителей? «Голос клиента», представленный характеристиками качества продукта с точки зрения потребителя, переводится на язык характеристик качества продукта с позиции разработчика.

Фаза 2: Матрица развертки изделия

Эта матрица отвечает на вопрос, какие составляющие продукта обеспечивают требуемые характеристики качества, которые хотят видеть потребители?

Фаза 3: Матрица планирования процесса (технологической подготовки производства)

Эта матрица отвечает на вопрос, в каком месте производственного процесса можно оказать воздействие на важные характеристики составляющих продукта?

Фаза 4: Матрица производственного планирования

Эта матрица отвечает на вопрос, какими должны быть производственные планы, процедуры и входные данные для ключевых процессов, выполняемые для производства ключевых составляющих продукта, чтобы удовлетворить потребителя?

В каждой фазе, только наиболее важные пункты разворачиваются в следующую фазу (иначе матрицы могут стать неуправляемо большими). Таким образом, использование метода РФК помогает всему производственному процессу непрерывно концентрировать основные усилия на том, что имеет наибольшую важность для потребителей.

Далее все четыре фазы рассматриваются подробнее:

Фаза 1. Матрица «Дом качества»

Метод РФК во многом стал известен благодаря матрице «Дом качества» (другое название – матрица планирования продукта), названной так из-за сходства с домом. Эта матрица является связующим звеном между «миром клиента» и «миром разработчика». При помощи данной матрицы «голос клиента» переводится в соответствующие характеристики качества продукта, которые будет затрагивать решение (См. Рисунок 6.2.2).



Рисунок 6.2.2 Составные части, или «комнаты» традиционной матрицы «Дом качества»

Матрица «Дом качества» — это аналитическая схема. Матрица имеет несколько составных частей, часто представляемых в виде «комнат» (ниже каждая комната описана в порядке рекомендуемого заполнения матрицы «Дом качества»):

Комната 1. Эта комната представляет требования потребителя (что хочет потребитель?). Здесь необходимо перечислить все требования, полученные от потребителя. Справа от каждого требования, ставится количественный показатель приоритета данного требования. Как правило, используются оценки от 1 до 5, где 5 - наибольшая значимость.

В рамках данной комнаты также при необходимости перечисляются все регулятивные требования, для которых ранжирование по приоритету не осуществляется.

Комната 2. Эта комната сравнительных потребительских оценок (почему потребитель отдает предпочтение тому или иному производителю?). В данной части матрицы классифицируются продукты конкурентов и собственные предыдущие разработки, на предмет определения, насколько хорошо они удовле-

творяют установленным требованиям потребителей (используются показатели от 1 до 5; 5 = лучше).

Комната 3. Эта комната содержит характеристики качества, т.е. требования к конструкции (как сделать изделие с технической точки зрения?), которые предлагаемое решение должно обеспечить, чтобы удовлетворить клиента. Для создания данной части матрицы следует:

1. Перевести субъективные “Требования потребителя” в ключевые объективные «Требования к конструкции», выполнение которых необходимо, чтобы удовлетворить требования потребителя. Требования к конструкции должны представлять собой параметры, которые могут быть измерены;
2. Определить и заполнить целевые значения для каждого требования к конструкции;
3. Установить «Направление для улучшения»; стрелка вверх = максимизировать значение для повышения удовлетворенности потребителя, стрелка вниз = минимизация значения для повышения удовлетворенности потребителя, круг = целевое значение оптимально;
4. Оценить техническую сложность/новизну каждого требования к конструкции (показатели 1-4).

Комната 4. Эта комната – основа матрицы. Она переводит потребности клиента в характеристики качества и возможности, четко показывая их вклад в достижение соответствия потребностям клиента. Традиционно, сила вклада представляется фиксированными значениями чисел 1-2-3, 1-2-4, 1-3-5 или 1-3-9 или соответствующими им символами.

Для заполнения данного раздела матрицы следует:

1. Определить связь между требованиями потребителя и требованиями к конструкции, используя символы для обозначения сильного, среднего и слабого влияния;
2. Подсчитать абсолютное значение требований к конструкции, т.е. сумму произведений важности для потребителя и значения отношения;
3. Ранжировать требования потребителя в порядке абсолютного значения (т.е. абсолютно наибольшее значение = 1, следующее = 2, и т.д.).

Комната 5. Это комната определения технических оценок представляет собой таблицу, в которой выполняется сравнение технических параметров собственного изделия с техническими параметрами изделий конкурентов. Для заполнения данного раздела следует оценить возможность продуктов конкурентов, и возможность собственных изделий удовлетворять установленные требования к конструкции.

Комната 6. Это «крыша» матрицы «Дом Качества». Она заполняется самой последней разработчиками, рассматривающими технические и физические конфликты между требованиями к конструкции и возможностями в рамках

проекта. Для создания данного раздела матрицы требуется установить взаимозависимости (корреляцию) между требованиями к конструкции, согласно установленным направлениям для улучшения. Отрицательные взаимозависимости – те, где движение в направлении улучшения для одного требования к конструкции может иметь обратный эффект для другого.

Далее следует установить ключевые требования к конструкции для переноса в левый столбец следующей матрицы. Решения о переносе определенных требований к конструкции в следующую матрицу должны быть основаны на:

- относительной важности (выбрать несколько главных);
- технической сложности/новизне (выбрать верхние значения);
- важных контролирующих и законодательных директивах;
- сильной отрицательной корреляции между требованиями к конструкции.

Фаза 2. Матрица развертки части

Для разработки Матрицы развертки части необходимо:

- Перенести отобранные «Требования к конструкции» и целевые значения из предыдущей матрицы;
- Вычислить «Значение для потребителя» из абсолютного значения предыдущей матрицы (Привести к шкале 1-5 принимая наибольшее абсолютное значение = 5, и наименьшее = 1).

Заполнить раздел «Важнейшие части (компоненты) и их характеристики»:

- Установит те компоненты, которые важны для выполнения каждого требования к конструкции и
- Определить важнейшие характеристики этих компонентов. Они должны быть измеримыми параметрами;
- Установить целевые значения характеристик;
- Установить техническую сложность /новизну каждого требования (показатели от 1 до 4).

Далее определяются отношения между требованиями к конструкции и характеристиками соответствующей части продукта. Для этого в матрице используются специальные символы. Для определения таких отношений требуется:

- Установить взаимосвязи между требованиями к конструкции и важнейшими характеристиками компонент (и отметить сильные, средние и слабые);
- Посчитать абсолютные значения важности (Сумма произведений важности для потребителя и значения отношения);
- Определить относительную важность путем ранжирования в порядке абсолютной важности (т.е абсолютно наибольшее значение = 1, следующее = 2, и т.д.). Ключевые компоненты (части) и их характеристики теперь ранжированы в порядке значимости удовлетворения продуктом требований к конструкции и удовлетворения потребителя.

После того, как отношения определены, устанавливаются ключевые компоненты и их характеристики для переноса в левый столбец следующей матрицы. Решения должны быть основаны на:

- Относительном их значении (выбрать несколько главных);
- Технической сложности/новизне (выбрать наибольшие значения; т.е. 4-ки).

Фаза 3. Матрица планирования процесса

Для разработки Матрицы планирования процесса необходимо:

- Перенести выбранные «Ключевые части (компоненты)», их характеристики и целевые значения из предыдущей матрицы;
- Вычислить «Значимость» из абсолютного значения предыдущей матрицы (привести к шкале 1-5 принимая, что наибольшее абсолютное значение = 5, и наименьшее = 1).

Далее следует заполнить раздел «Ключевые операции процесса», для чего:

- Перечислить те процессы и их параметры, которые являются ключевыми для создания важнейших компонент с целевыми значениями характеристик;
- Установить требуемые значения каждого важнейшего параметра процесса;
- Показать параметры проблем в характеристиках процесса, на основе опыта (отмечено черными точками).

Далее определяются отношения между Ключевыми операциями процесса и ключевыми частями (компонентами) продукта, используя в матрице соответствующие символы. Для этого необходимо выполнить следующие действия:

- Установить отношения между характеристиками компонента и характеристиками и параметрами критического процесса;
- Вычислить абсолютные значения (Сумма произведений важности для потребителя и значения отношения);
- Выполнить ранжирование характеристик в порядке абсолютной важности (т.е. абсолютно наибольшее значение = 1, следующее = 2, и т.д.). Параметры критического процесса теперь выстроены в порядке значимости для производства соответствующих компонент и удовлетворения требований потребителя.

После того, как требуемые отношения определены, следует установить параметры ключевого процесса для переноса в левый столбец следующей матрицы. Решения должны быть основаны на:

- Относительной важности (выбрать несколько наиболее важных);
- Установленных проблем в характеристиках процесса (выбрать отмеченные черными точками).

Фаза 4. Матрица планирования производства

Для создания данной матрицы следует создать раздел «Критические операции процесса», для чего необходимо:

- Перенести выбранные «Критические операции процесса», их параметры и целевые значения из предыдущей матрицы;
- Перенести проблему в характеристиках процесса (черные точки) из предыдущей матрицы;

- Вычислить «Значимость» из абсолютного значения предыдущей матрицы (привести к шкале 1-5 принимая, что наибольшее абсолютное значение = 5, и наименьшее = 1).

После этого требуется получить оценку оператора. Для получения данной оценки следует:

- Оценить каждый параметр процесса (1 низкий, 2 средний, 3 высокий) по следующим критериям:
 - «Частота» с которой параметр процесса выходит за пределы заданного диапазона значений;
 - «Серьёзность» для характеристики части (компоненты), если процесс выходит за пределы требуемого диапазона;
 - «Неспособность к определению»: степень сложности в определении, если параметр процесса вышел за пределы заданного диапазона.
- Вычислить «общие оценки» посредством перемножения вместе всех этих трех оценок.

После получения оценок оператора следует установить требования к планированию. Для этого необходимо следующее:

- Выбрать параметры процесса с наибольшей «значимостью» и высших «общих оценок» для рассмотрения в рамках планирования производства;
- Определить соответствующие производственные процедуры для улучшения контроля параметров критического процесса. Например, карты статистического контроля качества, обучение и подготовка оператора, профилактическое обслуживание оборудования и т.д.;
- Показать (черными точками), какие производственные процедуры принимаются для каждого критического параметра на основе «общих оценок», распределение между категориями оценки оператора, и важности для удовлетворения требований потребителя.

Необходимо отметить, что использование четырехфазной модели РФК оправдано только тогда, когда общие требования к изделию, сформулированные, например, в виде чертежа, уже заданы, и проектная деятельность по созданию уникального продукта не выполняется. В случае проведения проектов, для которых наиболее существенным ограничением является ограничение по времени (данное ограничение важно для большинства инновационных проектов, так как именно от способности организации начать максимально быстро использовать новые разработки во многом зависят её конкурентные преимущества на рынке) рекомендуется применять метод, известный как «Новый метод РФК».

6.3. Новый метод развертывания функции качества

Новый метод РФК отличается тем, что здесь не используются матрицы, хотя их использование и является допустимым. Вместо них используются различные таблицы и диаграммы, призванные значительно снизить трудоемкость выполнения метода и ускорить процесс разработки. Это особенно актуально для

проектов, где ограничение по времени является наиболее критичным (например, проекты, связанные с разработкой программ).

Алгоритм проведения Нового РФК включает в себя 9 шагов:

- 1) Определение ключевых целей проекта;
- 2) Определение потребительских сегментов;
- 3) Определение шагов процесса, выполняемого потребителем;
- 4) Проведение анализа объекта применения продукта;
- 5) Определение потребностей потребителя;
- 6) Определение структуры потребностей потребителя;
- 7) Выполнение анализа структуры потребностей потребителя;
- 8) Определение приоритета потребностей;
- 9) Развертка упорядоченных по приоритету потребностей в задачи.

Ниже данные шаги рассмотрены более подробно.

Шаг 1: Определение ключевых целей проекта

Чтобы определить цели проекта следует ответить на вопрос, который можно сформулировать следующим образом: «Зачем делается этот проект?». Следует отметить, что цели проекта должны способствовать достижению стратегических целей компании. Для определения целей проекта, как правило, используется техника, известная как «мозговой штурм». Затем цели фиксируются в таблице целей (табл. 6.3.1).

Таблица 6.3.1

Таблица «цели проекта»

№	Название цели	Вес
1	Цель 1	Вес 1
2	Цель 2	Вес 2
3	Цель 3	Вес 3
4	Цель 4	Вес 4

Далее, на основании парного сравнения важности целей, выделяется главная цель проекта, в соответствии с которой будут направляться дальнейшие работы проекта (табл. 6.3.2).

Таблица 6.3.2

Матрица парного сравнения для целей

	Цель 1	Цель 2	Цель 3	Цель 4	Приближенный вес	Ориентировочный вес, %
Цель 1	1	Оценка ₂₁	Оценка ₃₁	Оценка ₄₁	Вес 1	Вес 1 %
Цель 2	Оценка ₁₂	1	Оценка ₃₂	Оценка ₄₂	Вес 2	Вес 2 %
Цель 3	Оценка ₁₃	Оценка ₂₃	1	Оценка ₄₃	Вес 3	Вес 3 %
Цель 4	Оценка ₁₄	Оценка ₂₄	Оценка ₃₄	1	Вес 4	Вес 4 %
Общее					∑Вес	100 %

При использовании матрицы парного сравнения, одинаковые формулировки целей записываются в первом столбце и первой строке. Далее, используя,

выбранную шкалу, происходит сравнение целей, записанных в столбцах, с целями, записанными в строках. Значение на диагонали всегда равно 1, так как цель сравнивается сама с собой. Значения под диагональю представляют собой обратные к значениям над диагональю, то есть $\text{Оценка}_{21} = 1/\text{Оценка}_{12}$. Далее, путем суммирования полученных в строках оценок, определяется вес каждой цели. В данном случае:

$$\text{Вес 1} = \text{Оценка}_{21} + \text{Оценка}_{31} + \text{Оценка}_{41}$$

$$\text{Вес 2} = \text{Оценка}_{12} + \text{Оценка}_{32} + \text{Оценка}_{42}$$

$$\text{Вес 3} = \text{Оценка}_{13} + \text{Оценка}_{23} + \text{Оценка}_{43}$$

$$\text{Вес 4} = \text{Оценка}_{14} + \text{Оценка}_{24} + \text{Оценка}_{34}$$

Главная цель должна выбираться с учетом стратегии компании и формулироваться таким образом, чтобы отвечать на вопрос «Что означает «успех» проекта?»

Шаг 2: Определение потребительских сегментов

Для успеха любого продукта на рынке крайне важно, чтобы сегментирование рынка было проведено правильным образом, и продукт был адресован своему целевому сегменту. В противном случае результаты проекта могут не соответствовать ожиданиям. Основными вопросами выполнения второго шага являются следующие: «Какие клиенты могут способствовать достижению ключевой цели проекта?», «Которые из них могут, наоборот, препятствовать успеху?».

Существенным ограничением в проектной деятельности является фактор времени. Как правило, времени на проведение интервью, исследования, или посещения всех потребителей недостаточно, в связи с этим требуется работать с их подмножествами, то есть потребительскими сегментами. Для успеха проекта очень важно понимать, с каким подмножеством или типом потребителей осуществляется взаимодействие. Это важно для того, чтобы правильно установить потребности целевых потребителей.

Для выполнения данной задачи создается таблица потребительских сегментов, в которой фиксируются все возможные потребители результатов проекта (табл. 6.3.3).

С помощью таблицы «потребительских сегментов» можно выделить главный сегмент (или сегменты) на основе определения влияния сегментов на достижение ключевой цели проекта (или набора целей), определенной в рамках выполнения шага 1 (табл. 6.3.1)

Для анализа степени влияния сегментов на цели проекта можно использовать шкалу, предложенную в таблице 6.3.3.

Таблица «потребительские сегменты»

Цель проекта	Вес	Потребительские сегменты		
		Потребительский сегмент 1	Потребительский сегмент 2	Потребительский сегмент 3
Цель 1	Вес 1	▲	▲	▼
Цель 2	Вес 2	▲	—	▼
Цель 3	Вес 3	—	—	▲
Цель 4	Вес 4	—	▼	—
Значимость сегмента, %		A	B	C
Степень влияние				
▲ (9)		Сильное влияние		
— (3)		Умеренное влияние		
▼ (1)		Слабое влияние		

Шаг 3: Определение шагов процесса, выполняемого потребителем

После понимания целей проекта и ключевого потребительского сегмента, необходимо точно установить, где продукт, подлежащий разработке, должен добавить ценность ключевым клиентам. Важным фактором выполнения данной задачи является посещение того места, где потребитель будет использовать разрабатываемый продукт. Полезно также смоделировать то, что уже известно (или предполагается) в контекстной модели клиента и зафиксировать в таблице контекста клиента (табл. 6.3.4). В рамках выполнения данного шага, посредством использования имеющейся информации о потребителе, определяются ключевые аспекты процесса, выполняемого им. Это важно для понимания существующей проблемы, которую потребитель планирует решить при помощи разрабатываемого продукта.

Таблица 6.3.4

Таблица «контекст клиента»

Предположение	Кто	Что	Когда	Где	Зачем	Как
Предположение 1	Роль 1	Процесс 1	Время 1	Место 1	Цель клиента 1	Способ 1
Предположение 2	Роль 2	Процесс 2	Время 2	Место 2	Цель клиента 2	Способ 2
Предположение 3	Роль 3	Процесс 3	Время 3	Место 3	Цель клиента 3	Способ 3

Шаг 4: Проведение анализа объекта применения продукта

На данном этапе требуется посетить место, в котором будет использоваться разрабатываемый продукт, то есть «реальное место» его предполагаемого использования. Это делается с целью наблюдения ситуации клиента, его проблем и возможностей и уточнения уже имеющейся информации. Для сбора информации можно использовать такие методы, как интервью, наблюдения и ситуационный анализ.

Целью посещения места реального использования продукта является уточнение разработчиком ментальной модели (или стереотипа) потребителя, к которой он будет часто обращаться при интерпретировании требований или принятии проектных решений.

В отсутствие любого другого влияния, эта модель выглядит, так как это хочет видеть разработчик. Это приводит к таким утверждениям, как «потребители

не захотят это делать - я не буду это делать». Прежде чем так утверждать, требуется узнать о работе клиента, его целях и проблемах. И это знание не развить без посещения клиента.

Для сбора информации можно использовать специальную таблицу посещения клиента (табл. 6.3.5).

Таблица 6.3.5

Таблица посещения клиента

Высказывание 1	Роль 1	Процесс 1	Время 1	Место 1	Цель клиента 1	Способ 1
Высказывание 2	Роль 2	Процесс 2	Время 2	Место 2	Цель клиента 2	Способ 2
Наблюдение 1	Роль 3	Процесс 3	Время 3	Место 3	Цель клиента 3	Способ 3
Наблюдение 2	Роль 4	Процесс 4	Время 4	Место 4	Цель клиента 4	Способ 4

Таким образом, целью посещения места использования продукта является наблюдение за тем, что делают потребители, и получение понимания того, зачем они это делают. Очень важно и даже необходимо разговаривать с пользователями. Результатом этого процесса будут высказывания клиента, а не «фактические требования». На основании этих высказываний затем требуется понять значение сказанного потребителями, и причины этих высказываний.

Шаг 5: Определение потребностей потребителя

Полученные в ходе посещения клиента наблюдения и высказывания необходимо проанализировать. Этот анализ должен способствовать пониманию потребностей потребителя.

Следует помнить: то, что говорят клиенты – это не требования. Это утверждения, которые требуется понять, классифицировать, организовать и упорядочить по приоритетам. Только после того, как это сделано, можно говорить о том, что получены требования и, следовательно, ставить задачи, направленные на их удовлетворение.

Для перевода наблюдений и утверждений в ясные и краткие формулировки требований используется таблица «голос клиента» (табл. 6.3.6). Потребители затем проверяют и подтверждают эти требования, то есть определяют можно ли считать их потребностями. Функциональные возможности, характеристики качества, задачи, стоимость, сроки, технологии и так далее следует распределить в соответствующих колонках. Столбцы таблицы состоят из всех типов «требований», о которых беспокоятся потребители и, таким образом, они представляют те измерения проекта, которые критичны для него. Таблица предлагает взгляд высокого уровня на то, что будет важно в процессе разработки продукта.

Результат таблицы «голос клиента» – колонка потребностей потребителя.

Элементы в таблице «голос клиента» представляют собой либо высказывания или наблюдения из таблицы посещения клиента, либо выводы, сделанные на основании таблицы контекста клиента. Анализ начинается с пунктов, содержащихся в столбцах, название которых соответствует какому-нибудь измерению процесса разработки, и заканчивается только потребностями клиента, как результатами. Каждый элемент таблицы в столбце «потребность» может быть связан с достаточно большим количеством других элементов таблицы, расположенных в остальных столбцах.

Таблица 6.3.6

Таблица «голос клиента»

Потребитель		Решение	Дизайн		
Проблема	Потребность клиента	Способности	Функции	Надежность	Технология
Проблема 1	Потребность 1	Отличительная способность 1	Функция 1	Характеристика надежности 1	Технология 1
Проблема 2	Потребность 2	Отличительная способность 2	Функция 2	Характеристика надежности 2	Технология 1
Проблема 3	Потребность 3	Отличительная способность 3	Функция 3	Характеристика надежности 3	Технология 1

Шаг 6: Определение структуры потребностей потребителя

Потребности клиента, полученные в таблице «голос клиента», представляют собой ещё не завершённый список потребностей. В связи с этим требуется установить потребности, которые не были в этот список включены, но которые важны для потребительского сегмента. Для того, чтобы установить недостающие потребности, следует сгруппировать известные требования потребителя, используя группировочную диаграмму.

Принцип работы данной диаграммы состоит в том, что все потребности распределяются в группы, имеющие различные наименования, которые обозначают потребности более высокого уровня. К этому упражнению, как правило, привлекаются представители потребителя и основной задачей данного упражнения является определение структуры потребностей. Когда структура потребностей четко определена и согласована всеми заинтересованными сторонами проекта, её можно использовать для того, чтобы уточнить формулировки потребностей и дополнить их список ранее неустановленными потребностями. Формы представления группировочной диаграммы могут различаться. Чаще всего её представляют в виде небольших листов (стикеров), расклеиваемых на доске или стене таким образом, чтобы написанное на них было хорошо видно всем участникам обсуждения.

Шаг 7: Выполнение анализа структуры потребностей потребителя

После того, как структура потребностей определена, чтобы провести анализ структуры потребностей и раскрыть пропущенные и неустановленные потребности используется диаграмма иерархии (или древовидная диаграмма). Ключевая часть анализа – определить величину потребностей клиента и проанализировать возможности их удовлетворения.

Принцип работы диаграммы иерархии показан на Рисунке 6.3.2

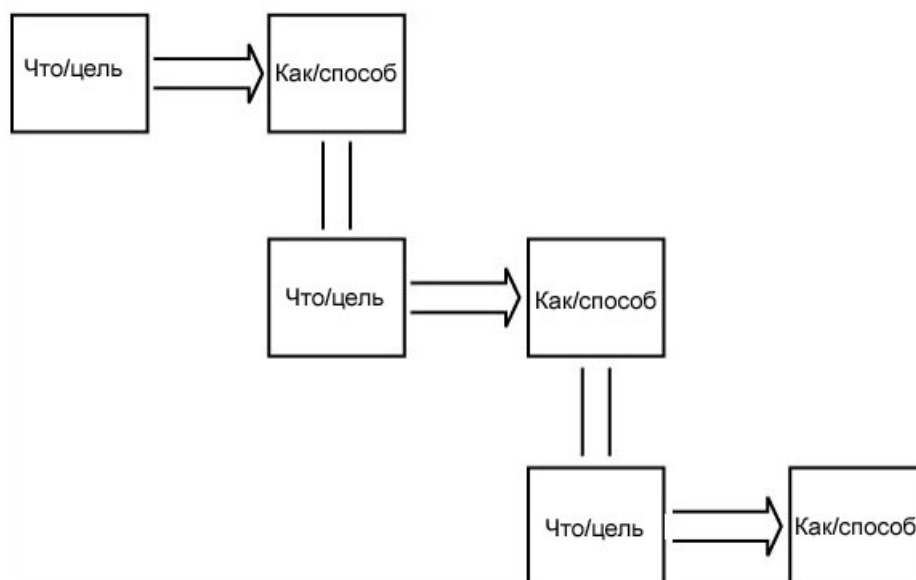


Рисунок 6.3.2. Принцип работы диаграммы иерархии

Почти все ключевые измерения проекта, включая надежность, издержки, и потребности клиента, можно организовать в иерархию с первичными, вторичными и третичными уровнями. Узел «потомок» в диаграмме иерархии может иметь более одного родителя. Эта диаграмма полезна для функционального анализа и для того, чтобы показать иерархию и декомпозицию потребителей, требований, объектов, функции, и так далее.

Диаграмма иерархии делают структуру высокоценных требований клиента видимой, так как наглядно показывает, какие требования низкого уровня следует выполнить, чтобы удовлетворить требования высокого уровня. Трёх уровней иерархии, как показывает практика, вполне достаточно даже для очень сложных ситуаций. Традиционно, требования организованы в списках. Должным образом упорядоченная и выстроенная по приоритетам иерархия может сказать имеются ли надлежащие возможности, чтобы удовлетворить потребителей.

Для раскрытия неустановленных требований проводится анализ иерархической структуры потребностей клиента. Неустановленными требованиями являются те, о которых не упомянул клиент, но которые для него важны. Этот анализ является весьма ценным для обнаружения требований к новому и не имеющему аналогов продукту, так как для потребителя сложно высказать требования к продукту, который он никогда не видел и не использовал ранее, но ему требуется получить именно такой продукт.

Иерархия потребностей – это очень эффективный формат для анализа. После того как уточнена структура и определена величина потребностей, то есть установлен их окончательный набор, их можно упорядочить по приоритету.

Шаг 8: Определение приоритета потребностей

В рамках выполнения данного шага следует определить те из них, которые имеют наибольшее значение для потребителя, т.е. определить их **приоритет**. Для того чтобы потом использовать приоритет в качестве весовых значений,

необходимы относительные приоритеты. Самым простым путем получения относительных приоритетов является метод аналитической иерархии, использующий для этой цели матрицы парного сравнения.

Необходимо получить детальное понимание нескольких важнейших потребностей клиента. В противном случае, невозможно удовлетворить клиента, и велика вероятность неудачи всего проекта. Получение ошибочного понимания малоценных требований или даже не принятие их во внимание, не будет иметь какого-либо эффекта на удовлетворенность потребителя. Этот подход к определению требований хорошо показывает себя в условиях проведения процесса быстрой разработки, так как не тратится время, на анализ и создание того, что не требуется создавать.

После получения понимания того, что хотят потребители, следует правильно определить проектные решения, то есть поставить задачи, выполнение которых обеспечило бы удовлетворение потребностей потребителя.

Шаг 9: Развертка упорядоченных по приоритету потребностей в задачи

В Новом РФК для определения этих задач используется таблица максимальной ценности (табл. 6.3.7). Основное предназначение данной таблицы – определить конкретные задачи, выполнение которых позволит удовлетворить основные потребности клиента, а значит, и обеспечить достижение целей проекта.

В таблице максимальной ценности анализ начинается с пунктов, содержащихся в столбце «потребности», и может закончиться пунктами из других столбцов, название которых соответствует различным измерениям процесса разработки, как результатами. Эта таблица – мощный инструмент развертывания требований. В результате определения отношения между значимыми потребностями и соответствующими пунктами измерений процесса разработки по всему проекту, появляется возможность для установления понятных проектных задач.

Таблица 6.3.7

Таблица максимальной ценности

Потребитель	Решение		Дизайн	Проект		Задачи
Потребность (высокого приоритета)	Функции	Характеристики и способности	Компоненты	Затраты	Метод	Название задачи
Потребность 1	Функция 1	Характеристика 1	Компонента 1	Стоимость 1	Метод 1	Задача 1
Потребность 2	Функция 2	Характеристика 2	Компонента 2	Стоимость 2	Метод 2	Задача 2
Потребность 3	Функция 3	Характеристика 3	Компонента 3	Стоимость 3	Метод 3	Задача 3

ГЛАВА 7. МОДЕЛИРОВАНИЕ И ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССОВ

7.1. Общие положения

В части 1 (п. 3.2) [45], среди других принципов кибернетики, был рассмотрен принцип моделирования и применения математических методов. Этот принцип говорит об эффективности построения математической модели управляемого объекта, являющейся его изоморфным отображением. Реализация данного принципа, безусловно, является инструментом менеджмента — причем, на наш взгляд, самым эффективным.

Принцип моделирования позволяет на модели, обычно с помощью ЭВМ, проанализировать возможные результаты того или иного управляющего воздействия на систему. И этот анализ всегда гораздо экономичнее метода проб и ошибок. Особое значение моделирование приобретает при поиске оптимальных решений, поскольку без математической модели, описывающей реальную практическую задачу, ее оптимальное решение невозможно.

Следует подчеркнуть, что даже в нашей повседневной жизни мы принимаем решение относительно количественных факторов именно на основе математического моделирования — **и никак иначе**. Когда мы идем на рынок, мы делаем покупку на основе оценки модели, включающей цены на разных прилавках, перспективы использования данного товара, величины имеющихся у нас ресурсов, прогноза наших дальнейших затрат, нашей оценки вероятности безотказной работы приобретаемого товара и так далее. Эта модель обязательно есть у нас «в голове». Если ее нет (скажем, мы не знаем данного рынка), то наша покупка вряд ли будет оптимальной.

То же самое касается и предприятия. Если на предприятии не используют формальным образом описанные модели решаемых задач, это значит, что здесь, как правило, принимаются неоптимальные решения. По двум причинам. Во-первых, потому что возникающие задачи обычно чрезвычайно сложны, все возможные варианты «в голове» перебрать и рассчитать невозможно. Это касается и технических, и экономических, и других задач организации. Следовательно, принимаемые решения не оптимальны, то есть на ветер выбрасываются труд, деньги и время. А во-вторых, те модели, которые имеются «в голове» у менеджера, принимающего решения, невозможно проанализировать до того, как работа выполнена. Значит, невозможно предотвратить ошибку. Следовательно, опять-таки на ветер выбрасываются деньги и время.

Современные информационные технологии предоставляют предприятиям широчайший и вполне доступный арсенал методов математического моделирования.

Прежде всего, речь идет о статистических методах, и в частности о планировании эксперимента и регрессионном анализе, которые подробнее рассматриваются в последующих параграфах данной главы.

Помимо статистических методов, мощным средством оптимизации являются методы линейного и динамического программирования. С помощью этих

методов можно описать и оптимизировать такие задачи, как размещение предприятий по отношению к источникам сырья и к потребителям, загрузка оборудования, расчет номенклатуры выпуска, раскрой заготовок, обеспечение транспортных потоков, календарное планирование, управление запасами и так далее. Если мы не анализируем ситуацию на модели *до начала* работы, мы вынуждены учиться на своих ошибках после того, как работа закончена.

Безусловно, опыт и интуиция мастеров чрезвычайно важны для успеха управления, и применяемые математические методы анализа **используют** этот опыт при формулировке задач. Для успеха дела специалист по анализу данных должен работать вместе со специалистом по процессу — экономистом, психологом, технологом или конструктором. Однако математика — как подчеркивает профессор Нью-Йоркского университета М. Kline — превосходит опыт так же, как алмаз превосходит кусок стекла.

«Математический энциклопедический словарь» дает следующее определение. *«Математическая модель— приближенное описание какого-либо класса явлений внешнего мира, выраженное с помощью математической символики. М.м. — мощный метод познания внешнего мира, а также прогнозирования и управления...»*

Необходимо подчеркнуть, что математическое моделирование — не частный технократический рецепт, касающийся узкого круга специалистов, а **универсальная методология**, основной инструмент научно-технического и социального прогресса.

Вместе с тем, применяя оптимизацию на основе математических моделей, необходимо помнить предостережение Н. Винера о том, что в экономике и социологии возможностей у математики гораздо меньше, чем в физике, технике и биологии. Поскольку объективные условия задач в экономической и социальной сферах изменяются гораздо чаще и более резко.

Другими словами, необходимо понимать, что математическая модель вообще никогда (!) не позволяет **абсолютно точно** характеризовать реальную зависимость, поскольку «природа не боится математических сложностей», а возможности математики всегда (!) ограничены. Поэтому специалисты говорят: **«Все модели ошибочны, некоторые из них полезны».**

Рассмотрим несколько моделей, доказавших свою полезность на практике, а начнем это рассмотрение с метода, которым получены эти модели.

7.2. Метод наименьших квадратов

На рисунке 7.2.1 точками приведена диаграмма рассеяния, характеризующая зависимость параметра y от параметра x . Расположение точек не позволяет уверенно говорить о характере этой зависимости.

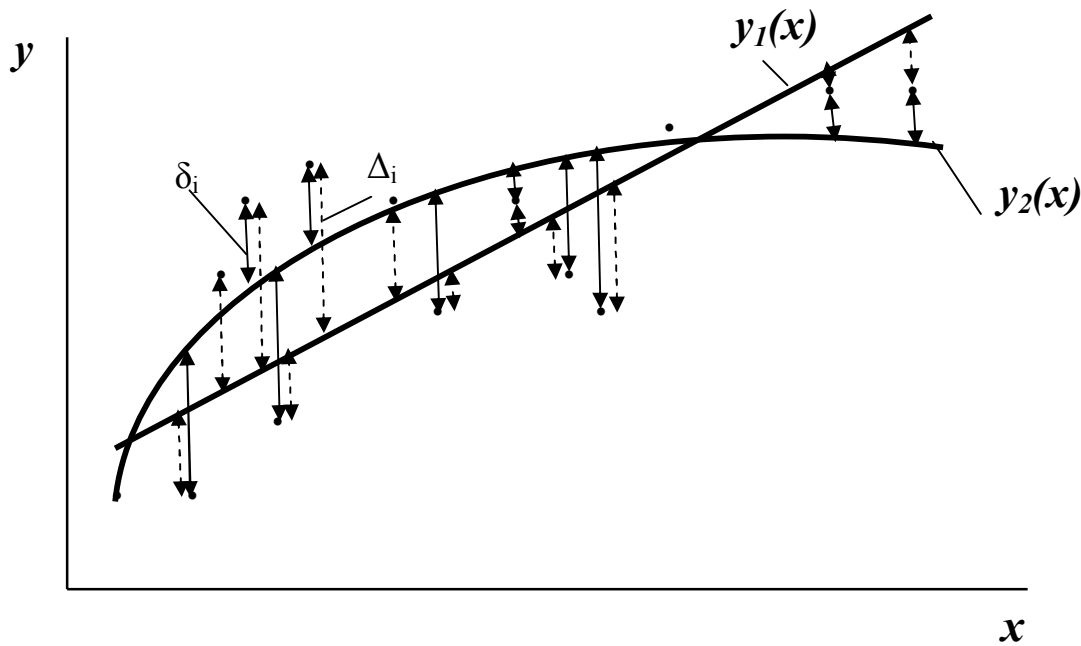


Рис. 7.2.1. Схема применения метода наименьших квадратов

Можно предположить, что она линейна, тогда, в среднем, эта зависимость характеризуется, например, прямой $y_1(x)$. Можно предположить, что она нелинейна, тогда, в среднем, эта зависимость характеризуется, например, кривой $y_2(x)$.

В 1794 г. немецким математиком К. Гауссом (тем самым, о котором шла речь в параграфе 1.4) был разработан **метод наименьших квадратов**. Согласно этому методу для определения функции, характеризующей (аппроксимирующей) зависимость y от x , следует рассмотреть сумму квадратов отклонений фактического значения y от его теоретического значения, рассчитанного по соответствующей аналитической формуле.

Так, для случая, приведенного на рисунке 7.2.1, по всем экспериментальным точкам i сравниваются суммы квадратов величин Δ_i , указанных пунктирными стрелками и характеризующих отклонения фактических значений y_i от прямой линии y_1 , с суммой квадратов величин δ_i , указанных сплошными стрелками и характеризующих отклонения фактических значений y_i от кривой линии y_2 .

И если

$$\sum_i \Delta_i^2 < \sum_i \delta_i^2,$$

то лучшей аппроксимацией из двух рассмотренных является линия $y_1(x)$, так как «суммарно» она меньше отличается от результатов эксперимента. В противном случае лучшей аппроксимацией является линия $y_2(x)$.

Причем специалист, проводящий анализ, **самостоятельно** (на основе экспериментальных точек, своего опыта и интуиции) принимает решение о виде аналитической зависимости. Например: $y = ax + b$, или $y = ax^2 + bx + c$, или $y = a_1x^4 + a_2x^3 + a_3x^2 + a_4x + b$, или $y = e^x + b$ и т.д.

Главное достоинство метода наименьших квадратов состоит в том, что после этого могут быть определены численные величины неизвестных коэффициентов в выбранном уравнении — a, b, c, a_1, a_2 и т.д.

Далее в данном параграфе подробнее рассматриваются два случая применения метода наименьших квадратов — для линейной и квадратичной зависимости двух переменных.

7.2.1. Метод наименьших квадратов для линейной функции

Рассмотрим задачу оценивания линейной предполагаемой зависимости одной переменной.

Исходные данные — набор n пар чисел неизвестные (t_k, x_k) , $k = 1, 2, \dots, n$, где t_k — независимая переменная (например, время или температура), а x_k — зависимая (например, параметр изделия, объем производства или размер дневной выручки торговой точки). Предполагается, что переменные связаны зависимостью

$$x_k = a(t_k - t_{cp}) + b + e_k, \quad k = 1, 2, \dots, n,$$

где a и b — неизвестные параметры, подлежащие оцениванию, а e_k — погрешности, искажающие зависимость.

Среднее арифметическое значение переменной t :

$$t_{cp} = (t_1 + t_2 + \dots + t_n) / n$$

введено в модель для облегчения дальнейших выкладок.

Обычно параметры a и b линейной зависимости оценивают методом наименьших квадратов. Затем полученную зависимость используют для прогнозирования.

Согласно методу наименьших квадратов для расчета наилучшей функции, приближающей линейным образом зависимость x от t , следует рассмотреть функцию двух переменных

$$f(a, b) = \sum_{k=1}^n (x_k - a(t_k - t_{cp}) - b)^2.$$

Оценки параметров a и b методом наименьших квадратов — это такие значения a^* и b^* , при которых функция $f(a, b)$ достигает минимума по всем значениям аргументов. Чтобы найти эти оценки, надо вычислить частные производные от функции $f(a, b)$ по аргументам a и b , приравнять их 0, затем из полученных уравнений найти оценки a^* и b^* .

Итак:

$$\frac{\partial f(a, b)}{\partial a} = -2 \sum_{k=1}^n (x_k - a(t_k - t_{cp}) - b)(t_k - t_{cp}) = 0$$

$$\frac{\partial f(a, b)}{\partial b} = -2 \sum_{k=1}^n (x_k - a(t_k - t_{cp}) - b) = 0$$

Преобразуем правые части полученных соотношений. Вынесем за знак суммы общие множители 2 и (-1). Затем рассмотрим слагаемые. Раскроем скобки в первом выражении, получим, что каждое слагаемое разбивается на три. Во

втором выражении также каждое слагаемое есть сумма трех. Значит, каждая из сумм разбивается на три суммы. Имеем:

$$\begin{aligned} \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - a)^2 &= \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - t_{cp} + t_{cp} - a)^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - t_{cp})^2 + (t_{cp} - a)^2 - 2(t_{cp} - a) \sum_{i=1}^n (x_i - t_{cp}) \\ &= \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - t_{cp})^2 + (t_{cp} - a)^2 - 2(t_{cp} - a) \cdot 0 \end{aligned}$$

Приравняем частные производные 0. Тогда в полученных уравнениях можно сократить множитель (-2). Поскольку

$$\frac{\partial}{\partial a} \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - a)^2 \right) = -2 \sum_{i=1}^n (x_i - a) = 0 \quad (7.2.1)$$

уравнения приобретают вид

$$\sum_{i=1}^n (x_i - a) = 0$$

Следовательно, формулы для расчета параметров a и b методом наименьших квадратов имеют вид:

$$a^* = \frac{\sum_{i=1}^n x_i y_i - n \bar{x} \bar{y}}{\sum_{i=1}^n x_i^2 - n \bar{x}^2} \quad (7.2.2)$$

$$(7.2.3)$$

В силу соотношения (7.2.1) оценку a^* можно записать в виде:

$$a^* = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (7.2.4)$$

Следовательно, функция, с помощью которой можно прогнозировать и интерполировать зависимость $x(t)$, имеет вид

$$x^*(t) = a^*(t - t_{cp}) + b^*$$

Пример оценивания зависимости по методу наименьших квадратов

Пусть даны $n = 6$ пар чисел (t_k, x_k) , $k = 1, 2, \dots, 6$, представленных во втором и третьем столбцах табл. 7.2.1. В соответствии с формулами (7.2.2) и (7.2.4) выше для вычисления оценок метода наименьших квадратов достаточно найти суммы выражений, представленных в четвертом и пятом столбцах табл. 7.2.1.

Расчет по методу наименьших квадратов при построении линейной прогностической функции одной переменной

Таблица 7.2.1

i	t_i	x_i						$(\quad)^2$
1	1	12	1	12	3,14	12,17	-0,17	0,03
2	3	20	9	60	9,42	18,45	1,55	2,40
3	4	20	16	80	12,56	21,59	-1,59	2,53
4	7	32	49	224	21,98	31,01	0,99	0,98
5	9	35	81	315	28,26	37,29	-2,29	5,24
6	10	42	100	420	31,40	40,43	1,57	2,46
	34	161	256	1111			0,06	13,64
	5,67	26,83	42,67	185,17				

В соответствии с формулой (7.2.2) $b^* = 26,83$, а согласно формуле (7.2.4).

$$b^* = \frac{\sum_{k=1}^n t_k x_k - \frac{(\sum_{k=1}^n t_k)(\sum_{k=1}^n x_k)}{n}}{\sum_{k=1}^n t_k^2 - \frac{(\sum_{k=1}^n t_k)^2}{n}}$$

Следовательно, прогностическая формула имеет вид

$$\hat{x}(t) = a^* + b^* t$$

7.2.2. Метод наименьших квадратов для квадратичной функции

Метод наименьших квадратов допускает различные обобщения. Рассмотрим метод наименьших квадратов, когда исходные данные — по-прежнему набор n пар чисел (t_k, x_k) , $k = 1, 2, \dots, n$, где t_k — независимая переменная (например, время), а x_k — зависимая (например, индекс инфляции), а определить надо не линейную зависимость, а зависимость второго порядка:

$$x(t) = at^2 + bt + c.$$

В данном случае следует рассматривать функцию трех переменных

$$f(a, b, c) = \sum_{k=1}^n (at_k^2 + bt_k + c - x_k)^2$$

Здесь оценки коэффициентов методом наименьших квадратов — это такие значения параметров a^* , b^* и c^* , при которых функция $f(a, b, c)$ достигает минимума по всем значениям аргументов a , b и c . Чтобы найти эти оценки, надо

вычислить частные производные от функции $f(a,b,c)$ по аргументам a , b и c , приравнять их 0, затем из полученных уравнений найти оценки.

Итак:

$$\frac{\partial f}{\partial a} = 0 \quad \frac{\partial f}{\partial b} = 0 \quad \frac{\partial f}{\partial c} = 0$$

Приравнивая данную частную производную к 0, получаем линейное уравнение относительно трех неизвестных параметров a, b, c :

$$2a - 3b + 4c = 0$$

Приравнивая частную производную по параметру b к 0, аналогичным образом получаем уравнение

$$-3a + 6b - 2c = 0$$

Наконец, приравнивая частную производную по параметру c к 0, получаем уравнение

$$4a - 2b + 8c = 0$$

Решая систему трех уравнений с тремя неизвестными, можно найти оценки коэффициентов a , b и c .

Добавим, что если зависимость $x(t)$ имеет, например, вид многочлена (полинома):

$$x(t) = at^2 + bt + c$$

то коэффициенты этого многочлена могут быть найдены методом наименьших квадратов аналогично — путем минимизации функции

$$S = \sum_{i=1}^n (x_i - at_i^2 - bt_i - c)^2$$

7.3. Оптимизация технологического процесса (на примере серийного производства)

В данном параграфе идет речь о серийном производстве на примере ферритовых изделий, которые изготавливаются партиями — группами от нескольких десятков до нескольких тысяч однотипных изделий в одной партии. Основной технологической операцией при производстве ферритовых изделий является спекание. Именно в этом процессе происходит формирование керамической структуры феррита, во многом определяющей качество готовой продукции.

Вместе с тем, значительное влияние на свойства готовых изделий оказывают предыдущие технологические операции (смешение компонентов, обжиг шихты, прессование), а также параметры исходного сырья. Однако на сегодняшний день характер этого влияния известен только в самых общих чертах,

поэтому невозможно с уверенностью предсказать, каковы будут готовые изделия, изготовленные из сырья с известным набором свойств.

В этой ситуации используется так называемое *технологическое опробование* — спекание выборок заготовок из данной партии сырья при различных температурах, измерение параметров готовых изделий во всех выборках и определение температуры спекания для данной партии сырья по результатам этих замеров. Ниже приводятся конкретные методы реализации данного подхода.

Случай одного показателя качества

Целью описываемого метода является повышение **выхода (доли) годных ферритовых изделий** по показателю качества Y после спекания.

Метод основан на экспериментально установленном факте, состоящем в том, что в производственных партиях готовых ферритовых изделий (после спекания) показатели качества, как правило, распределены по законам, с достаточной точностью близким к нормальному.

Связь между средним арифметическим значением показателя качества Y в производственной партии ферритовых изделий и температурой спекания этой партии t , в пределах фактического изменения температуры спекания от t_1 до t_3 с достаточной точностью описывается многочленом второго порядка:

$$Y_{cp} = at^2 + bt + c, \quad (7.3.1)$$

где: Y_{cp} — среднее арифметическое значение показателя качества Y в партии;

a, b, c - коэффициенты, существенно отличающиеся для различных партий.

При нормальном распределении показателя качества изделий после спекания минимальный объем представительной выборки ферритовых изделий может быть определен по формуле

$$n = \frac{Z_{\alpha}^2 \cdot \sigma_y^2}{\varepsilon^2}, \quad (7.3.2)$$

где Z_{α} - коэффициент, зависящий от допустимой вероятности ошибки определения среднего арифметического значения показателя качества; величина Z_{α} выбирается из таблиц [5];

σ_y^2 - среднее арифметическое значение дисперсии показателя качества Y в партии; эта дисперсия в данном методе считается неизменной.

ε - максимальная допустимая величина погрешности, при выборочной оценке значения Y .

Поскольку связь между средним арифметическим значением показателя качества Y в партии спеченных ферритовых изделий с температурой спекания описывается многочленом второго порядка, для получения зависимости показателя качества данной партии от температуры ее спекания достаточно провести три пробных спекания представительных выборок при различных температурах t_1, t_2, t_3 .

Зависимость Y_{cp} от температуры спекания может быть определена по формуле [8]:

$$Y_{cp} = \frac{(t-t_2) \cdot (t-t_3)}{(t_1-t_2) \cdot (t_1-t_3)} + \frac{(t-t_1) \cdot (t-t_3)}{(t_2-t_1) \cdot (t_2-t_3)} + \frac{(t-t_1) \cdot (t-t_2)}{(t_3-t_1) \cdot (t_3-t_2)} .$$

Решение данного уравнения относительно температуры t при подстановке значения $Y = Y_0$ (оптимальное значение показателя качества) позволяет получить расчетную формулу (7.3.3) для определения оптимальной температуры спекания всей партии ферритовых изделий.

Из двух значений $t_{сп}$, определяемых по формуле (7.3.3), выбирается то, которое не противоречит физическому смыслу операции спекания, т.е. входит в интервал температур спекания данного типа ферритовых изделий.

Метод осуществляют следующим образом.

1. Из партии отпрессованных изделий отбирают три выборки, объем каждой из которых n определяется по формуле (7.3.2).

2. Выборки спекают на трех разных температурах t_1 , t_2 , t_3 , где t_1 и t_3 соответственно минимальная и максимальная допустимые температуры спекания ферритовых изделий данного типа, причем температура $t_2 = 0,5(t_1 + t_3)$.

3. Измеряют показатель качества Y всех изделий в выборках после спекания. Определяют средние арифметические значения показателя качества Y в выборках y_1 , y_2 , y_3 , спеченных соответственно при температурах t_1 , t_2 , t_3 .

4. Определяют температуру спекания $t_{сп}$ всех изделий данной партии по формуле (7.3.3), после чего партию спекают при температуре $t_{сп}$.

$$\begin{aligned}
t_{\text{сн } 1,2} = & \left\{ \frac{y_3 \times (t_1 + t_2)}{(t_1 - t_3) \times (t_3 - t_2)} - \frac{y_1 \times (t_2 + t_3)}{(t_1 - t_2) \times (t_2 - t_3)} - \frac{y_2 \times (t_1 + t_3)}{(t_1 - t_2) \times (t_3 - t_2)} \pm \right. \\
& \pm \left[\frac{y_1 \times (t_2 + t_3)}{(t_1 - t_2) \times (t_1 - t_3)} + \frac{y_2 \times (t_1 + t_3)}{(t_1 - t_2) \times (t_3 - t_2)} - \frac{y_3 \times (t_1 + t_2)}{(t_1 - t_3) \times (t_3 - t_2)} \right] - \\
& - 4 \times \left[\frac{y_1}{(t_1 - t_2) \times (t_1 - t_3)} + \frac{y_2}{(t_1 - t_2) \times (t_3 - t_2)} - \frac{y_3}{(t_1 - t_3) \times (t_3 - t_2)} \right] \times \\
& \times \left[\frac{y_1 \times t_2 \times t_3}{(t_1 - t_2) \times (t_1 - t_3)} + \frac{y_2 \times t_1 \times t_3}{(t_1 - t_2) \times (t_3 - t_2)} - \frac{y_3 \times t_1 \times t_2}{(t_1 - t_3) \times (t_3 - t_2)} - Y_0 \right] \left. \right\}^{0,5} \times \\
& \times \frac{1}{2} \left[\frac{y_1}{(t_1 - t_2) \times (t_1 - t_3)} + \frac{y_2}{(t_1 - t_2) \times (t_3 - t_2)} - \frac{y_3}{(t_1 - t_3) \times (t_3 - t_2)} \right] - 1
\end{aligned} \quad (7.3.3)$$

Нетрудно видеть, что описанным методом можно действовать, когда показатель качества один, т.е. представляет собой скалярную величину. Ниже приводится пример реализации метода в таком случае.

Пример 7.3.1.

На операцию спекания поступает партия заготовок сердечников из феррита с прямоугольной петлей гистерезиса марки 105П.

Качество каждого сердечника оценивается по величине коэрцитивной силы (H_c) и величине максимальной индукции (B_r). Поля допусков на указанные параметры соответственно: $H_c = 0,80 - 1,00$ Э; $B_r = 2040 - 2760$ Гс.

Поскольку данный технологический процесс практически всегда удовлетворяет требованиям к величине B_r сердечников, подбор температуры спекания осуществляется по величине H_c . Величина H_c в партии распределена по закону, близкому к нормальному.

Известно также: $\sigma_{H_c} = 0,028$ Э; $\varepsilon_{H_c} = 0,01$ Э; $Z\alpha = 1,96$.

Берут три выборки объемом n штук каждая. В соответствии с формулой (7.3.2):

$$n = \frac{(1,96)^2 \cdot (0,028)^2}{(0,01)^2} \approx 30 \text{ шт.}$$

Выборки спекают при температурах, находящихся в пределах допусков действующей технологии: $t_1 = 1050^\circ\text{C}$; $t_2 = 1150^\circ\text{C}$; $t_3 = 1250^\circ\text{C}$. Измеряют ко-

эрцитивную силу спеченных сердечников. Определяют средние арифметические значения H_c в выборках: $H_{c1}=1,08$ Э; $H_{c2}=0,84$ Э; $H_{c3}=0,81$ Э.

Для данных изделий оптимальной будет температура спекания, при которой среднее арифметическое значение H_c совпадает с серединой поля допуска, т.е. $Y_0 = H_{c0} = 0,9$ Э.

По формуле (7.3.3) определяют оптимальную температуру спекания сердечников данной партии. Получают $t_{сп} = 1102^\circ\text{C}$. Всю партию спекают при данной температуре.

При этом выход годных изделий определяется по формуле (7.3.4):

$$G_i = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \cdot \sigma_i} \int_{Y_{ин}}^{Y_{ив}} e^{-\frac{(Y_i - y_i)^2}{2\sigma_i^2}} dY_i = \Phi_0\left(\frac{Y_{ив} - y_i}{\sigma_i}\right) - \Phi_0\left(\frac{Y_{ин} - y_i}{\sigma_i}\right) \quad (7.3.4)$$

где: σ_i – значение σ в выборке i ; $i = 1, 2, 3$; $Y_{ин}$, $Y_{ив}$ – нижняя и верхняя границы допустимого изменения показателя Y_i ; Φ_0 – функция Лапласа.

В рассматриваемом случае $Y_{ин} = 0,8$; $Y_{ив} = 1$.

В данном примере:

$P(H_{c0}) = \Phi_0[(1,0 - 0,9)/0,028] - \Phi_0[(0,8 - 0,9)/0,028] \approx 1,0$,
что подтверждается фактическим измерением.

Случай нескольких показателей качества

Наличие у многих ферритовых изделий нескольких параметров, характеризующих качество, требует формировать комплексный показатель качества партии изделий. Таким показателем (целевой функцией оптимизации) для изделий электронной техники традиционно является **общий выход (доля) годных по всем параметрам**. При этом используются все те закономерности изменения параметров ферритовых изделий от температуры спекания, которые были описаны выше.

Тогда определение оптимальной температуры по результатам спекания трех выборок проводится в следующей последовательности:

- в каждой из выборок измеряют все параметры, характеризующие качество изделий;
- определяют средние арифметические значения всех параметров в каждой выборке;
- строят линии регрессии каждого параметра по температуре спекания в виде интерполяционных полиномов второй степени;
- используя линии регрессии, рассчитывают математические ожидания каждого параметра при изменении температуры в исследуемом интервале с шагом $5-10^\circ\text{C}$, сопоставимым с величиной погрешности установки температуры спекания в действующих печах;

— зная математическое ожидание и дисперсию, на каждом шаге рассчитывают прогноз выхода годных изделий по данному параметру и общего выхода годных по всем параметрам – как произведение частных выходов годных;

— сравнивают полученные прогнозы общего выхода годных при различных температурах;

— спекают данную производственную партию при оптимальной температуре, которой соответствует максимальная рассчитанная величина выхода годных.

Далее описан метод определения температуры на операции спекания ферритовых изделий марки 6СЧ1.

На рисунке 7.3.1 приведены снятые экспериментально графики зависимостей трех параметров (показателей качества) Δ , y и z стержней из феррита 6СЧ1 от температуры спекания для одной из производственных партий. Физический смысл трех указанных параметров здесь не рассматривается. Все три параметра готовых стержней ограничены требованиями технических условий. Нижние y_n , z_n и верхние $y_в$, $z_в$, $\Delta_в$ границы полей допусков параметров на рисунке совмещены (параметр Δ ограничен только сверху).

Из рисунка видно, что температура спекания, оптимальная для одного из параметров, не является оптимальной для другого. Поэтому целевой функцией процесса спекания выбирается общий (по трем параметрам) выход годных изделий G . На рисунке приведена определенная расчетным путем зависимость $G(t)$.

На практике для расчета величины G при решении задачи оптимизации температуры спекания предварительным статистическим исследованием определены вид и дисперсии распределений всех трех указанных параметров изделий в производственных партиях. Этим исследованием было показано, что для рассматриваемых ферритовых изделий эти распределения с достаточной точностью соответствуют нормальному закону. На рисунке построены графики плотностей распределений рассматриваемых параметров $f(\Delta)$, $f(y)$ и $f(z)$ при температуре спекания t_1 .

Предварительный статистический анализ показал, что зависимости параметров стержней от t могут быть с достаточной точностью описаны полиномами 1-й или 2-й степени. Однако коэффициенты этих полиномов существенно отличаются для изделий, изготовленных из сырья различных производственных партий. Поэтому моделирование зависимостей параметров феррита от температуры спекания, как и в предыдущем примере, проводят на основе *технологического опробования* данной партии сырья, причем в процессе этого опробования изготавливают три представительные выборки заготовок, спекают эти выборки при трех различных температурах, измеряют все параметры изделий в выборках, после чего строят регрессионные зависимости $\Delta(t)$, $y(t)$, $z(t)$, с шагом 5–10°С определяют расчетную величину G и спекают всю партию заготовок при температуре, которой соответствует максимальное расчетное значение G .

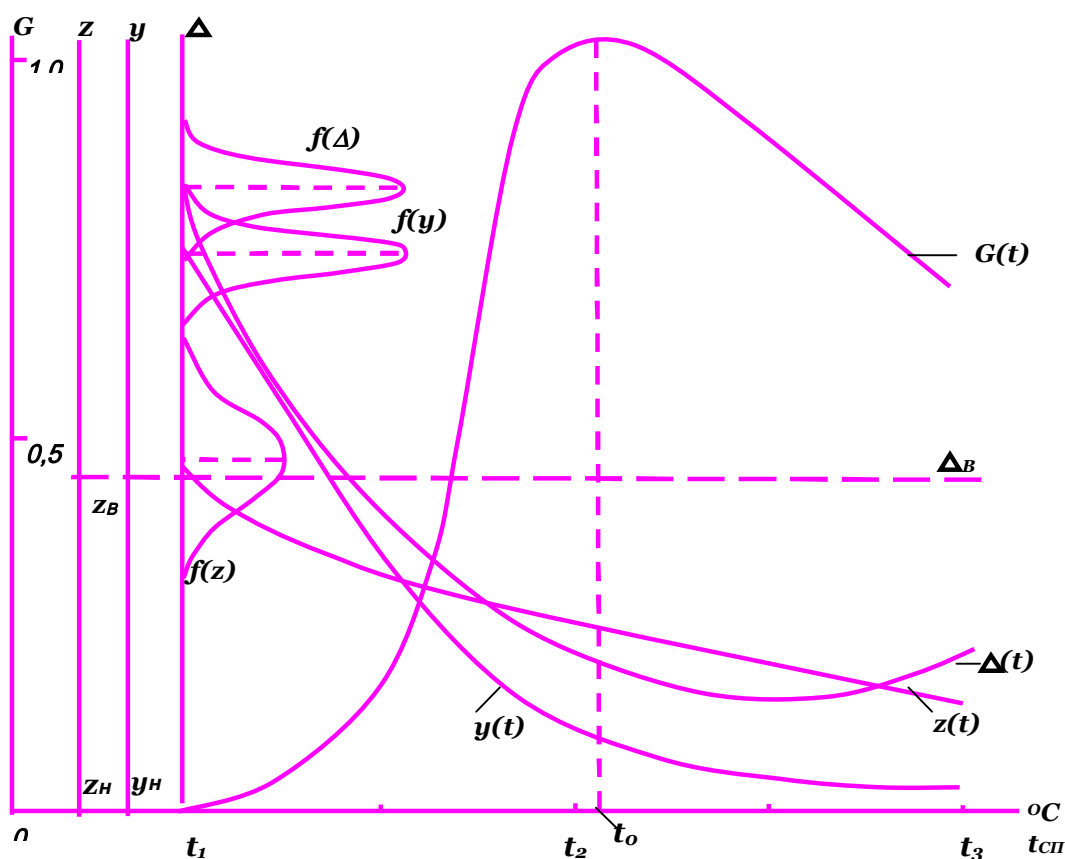


Рис 7.3.1. Зависимости параметров Δ , y и z и выхода годных G стержней из феррита марки 6СЧ1 от температуры спекания в производственной партии.

Так, в приведенном на рисунке примере оптимальной является температура спекания t_0 .

Существенно, что рассмотренная ситуация, когда при изменении режима технологической операции распределения параметров серийных и массовых изделий сдвигаются в ту или иную сторону, является **типичной** для управления качеством изделий.

Приведенный метод оптимизации операции спекания еще раз подтверждает справедливость утверждения о том, что эффективное управление качеством изделий серийного и массового выпуска невозможно без глубокого статистического анализа технологии их изготовления, в процессе которого качество изделий оценивается с помощью распределений контролируемых параметров.

Метод иллюстрируется следующими примерами.

Пример 7.3.2.

На операцию спекания поступает партия отпрессованных СВЧ ферритовых стержней марки 6СЧ1. Качество каждого стержня оценивается с помощью комплексного показателя $Y = W$, причем $0 \leq W \leq 1$. Значение $W = 1$ означает наи-

лучшее качество стержня. Значение $W = 0$ означает, что стержень является негодным. Чем ближе значение G к единице, тем лучше качество стержня.

Известно, что в данном технологическом процессе $\sigma_y = 0,431$. Установлено, что $\varepsilon = 0,05$, $Z_\alpha = 1,96$.

Берут три выборки объемом n штук каждая. В соответствии с формулой (7.3.2):

$$n = \frac{(1,96)^2 \cdot (0,431)^2}{(0,05)^2} = 284 \text{ шт.}$$

Выборки спекают при температурах, находящихся в пределах допусков действующей технологии: $t_1 = 1250^\circ\text{C}$; $t_2 = 1300^\circ\text{C}$; $t_3 = 1350^\circ\text{C}$. Измеряют параметры всех спеченных стержней в выборках. Определяют средние арифметические значения показателя качества W в выборках: $w_1 = 0,120$; $w_2 = 0,905$; $w_3 = 0,906$.

По формуле (7.3.3) определяют оптимальную температуру спекания стержней данной партии, при которой среднее арифметическое значение показателя качества $W = W_0 = 1$.

Получают: $t_{\text{сп } 1} = 1320^\circ\text{C}$, $t_{\text{сп } 2} = 1330^\circ\text{C}$. Обе эти температуры допустимы для спекания ферритовых изделий данной марки. Выбирают температуру спекания $t_{\text{сп}} = 1320^\circ\text{C}$.

Получают стержни со средним арифметическим значением показателя W в данной партии $W_{\text{сп}} = 1$. При этом выход годных изделий определяют по формуле (7.3.4).

В рассматриваемом случае $W_{\text{н}} = 0$; $W_{\text{в}} = +\infty$ (значения $W > 1$ не имеют физического смысла, поэтому все значения $W > 1$ принимаются равными 1).

В результате, в рассматриваемом примере:

$$P(W_0) = \Phi_0(+\infty) - \Phi_0[(0 - 1)/0,431] = 0,9898.$$

Пример 7.3.3.

На операцию спекания поступает партия заготовок анизотропных магнитов из феррита марки 28СА250.

Качество каждого магнита оценивается по величине двух параметров: максимальной энергии, создаваемой единицей объема магнита $(BH)_{\text{max}}$, и по коэрцитивной силе H_c . Требованиями технических условий обе эти величины ограничены снизу: $(BH)_{\text{max}} \geq 28 \text{ кДж/м}^3$ (3,52 МГс·Э), $H_c \geq 250 \text{ кА/м}$ (3140 Э).

Из предварительного исследования известно, что в области температур спекания, ограниченной действующей технологией — от $t_1 = 1130^\circ\text{C}$ до $t_3 = 1230^\circ\text{C}$ — величина $(BH)_{\text{max}}$ возрастает, а величина H_c убывает, т.е. один параметр магнитов, $(BH)_{\text{max}}$, улучшается с ростом температур, а второй, H_c , становится хуже.

В этом случае вся партия рассматривается как единый объект технологического воздействия, и показателем качества партии является выход годных изделий. Известно также, что объем представительной выборки заготовок магнитов — не менее 40 шт.

Три выборки заготовок объемом 40 шт. каждая спекают при температурах $t_1 = 1130^\circ\text{C}$, $t_2 = 1180^\circ\text{C}$, $t_3 = 1230^\circ\text{C}$. Измеряют $(\text{ВН})_{\text{max}}$ и H_c каждого изделия в выборках. Определяют, что в первой выборке 37 шт. годных ($y_1 = 37 / 40 = 0,925$), во второй выборке 38 шт. годных ($y_2 = 38 / 40 = 0,950$), в третьей выборке 32 шт. годных изделий ($y_3 = 32 / 40 = 0,80$).

В формулу (7.3.3) подставляют $Y_0 = 1,0$ и определяют по этой формуле оптимальную температуру спекания магнитов данной партии. Получают: $t_{\text{оп1}} = 1150^\circ\text{C}$, $t_{\text{оп2}} = 1169^\circ\text{C}$. Выбирают $t_{\text{оп}} = 1150^\circ\text{C}$.

При спекании на этой температуре получают партию с выходом годных изделий 100%.

Использование описанного метода в промышленном производстве ферритовых изделий позволило существенно снизить себестоимость ферритовых изделий за счет уменьшения отбраковки изделий после спекания.

7.4. Алгоритм оптимизации на основе моделирования

В менеджменте, очевидно, не безразлична эффективность действий: задачей специалистов является осуществление **оптимального** управления.

Известно, что теория оптимального управления есть самостоятельная наука. К сожалению, на практике при разработке и изготовлении продукции зачастую не используются даже самые основные принципы этой теории, что приводит к неоправданным потерям времени и средств. Коротко остановимся на некоторых положениях теории управления.

1. Оптимизация имеет конкретный смысл только для определенной цели и при установленных ограничениях.

2. Оптимум — это всегда или максимум, или минимум какой-то величины — целевой функции (прибыли, отрезка времени, количества дефектов, количества продукции и т.п.).

3. В общем случае оптимизацию можно производить только по одной целевой функции, точнее при оптимизации можно максимизировать (минимизировать) только одну целевую функцию, имеющую численное значение.

Теория не допускает одновременного стремления даже к двум целям. Точно так же, как народная мудрость не допускает успешной гонки за двумя зайцами.

Однако на практике бывает необходимо сделать как можно больше изделий, как можно скорее да еще как можно дешевле (известен лозунг «Больше, лучше, с меньшими затратами»). В этом случае задачу следует разделить на этапы (части) — так, как описано в следующих пунктах.

4. При наличии нескольких исходных целей для оптимизации необходимо:

- некоторые цели сформулировать в виде ограничений или
- объединить несколько целей в одной целевой функции.

Первый из этих путей может быть проиллюстрирован следующими постановками задач:

- выпустить максимум продукции (заданного качества при заданных затратах);

- выпустить определенное количество продукции (заданного качества при минимальных затратах).

Известно, что качество конкретной продукции обычно характеризуется величинами нескольких параметров. Поэтому при оптимизации управления качеством следует идти по второму пути: формулировать целевую функцию, объединяющую характеристики состояния нескольких параметров. Например: выход годных изделий (по всем параметрам) массовой продукции или экспертную оценку качества оказанной услуги.

5. Оптимизация в общем случае содержит следующие процедуры:

- изучение объекта; составление или выбор математической модели;
- получение численных значений входных и выходных данных;
- разработка, отладка или выбор программ вычислений на ЭВМ;
- составление плана вариантов вычислений и (или) экспериментов;
- проведение вычислений и (или) экспериментов;
- анализ результатов вычислений и (или) экспериментов;
- корректировка (при необходимости) математической модели и повторные;
- вычисления и (или) эксперименты;
- формулировка рекомендаций.

Примечания:

1. Именно так осуществляется оптимизация процессов в примерах параграфа 7.3.

2. Иногда мы, к сожалению, слышим слова «наиболее оптимальное решение» или «более оптимальный вариант». Следует иметь в виду абсурдность подобных словосочетаний, ведь нельзя иметь, например, минимум меньше минимального.

Поясним положение п.5. Термины «оптимальная конструкция», «оптимальные режимы», «оптимальное решение» достаточно часто применяются на практике, в том числе и в нормативной документации. Вместе с тем далеко не всегда применению этих терминов предшествуют все перечисленные процедуры. То есть, строго говоря, «оптимумом» провозглашается совсем не оптимум, а зачастую просто приемлемое решение, в лучшем случае то, которое позволило получить большее количество годных изделий (продукции) или большую прибыль в одном из нескольких экспериментов. Или позволило продать свою услугу (изделие) и избежать при этом претензий. Однако **сравнение нескольких вариантов и выбор наилучшего варианта можно считать оптимизацией только в том случае, когда доказана невозможность или нецелесообразность вариантов, не вошедших в число сравниваемых.**

При конструировании и производстве продукции количество вариантов всегда безгранично, поэтому доказательством оптимума может служить **только** составление и анализ **математической модели** конструкции, технологического или (что сложнее, но возможно) организационного решения. Пренебрежение этим правилом ведет к неоптимальным решениям, то есть к неоправданной затрате времени и средств.

Следует отметить, что менеджеры, конструкторы, технологи и рабочие управляют предприятием именно на основе моделей (другой принцип управле-

ния просто невозможен), имеющих место «в головах» этих специалистов. Однако качество этих моделей, **в принципе**, не может быть высоким, поскольку в реальных условиях зависимости параметров продукции (услуги) от технологических факторов и внешних условий чрезвычайно сложны (как мы отмечали, «природа не боится математических трудностей»). И эти зависимости не только не могут быть учтены с помощью «головой», но, как правило, без анализа данных с помощью математики эти зависимости остаются неизвестными. Специалисты «чувствуют» зависимости, но передать кому-либо свои ощущения, изложить их в нормативной документации зачастую не могут. Да и сами эти ощущения (плод интуиции или опыта), хоть и появляются на основе многочисленных ошибок, имевших место в аналогичных ситуациях в течение многих лет, не гарантируют от аналогичных ошибок в будущем.

Рассмотрим циклический алгоритм оптимизации на основе моделирования более подробно — так, как он, например, выполняется в практике спекания ферритовых изделий (см. 7.3). Причем при описании шагов алгоритма будем на каждом шаге выделять ключевые слова. Итак:

1. Проанализируй **потребности**, которые хочешь удовлетворить.
2. Собери **информацию** о потребностях других сторон и о состоянии внешней среды.
3. Проанализируй (подсчитай) свои **ресурсы**.
4. Сформулируй **цель** (лучше в количественном выражении).
5. Выбери **объект** управления (процесс, операцию и т.п.).
6. Определи интересующую(ие) тебя характеристику(и) (**выход(ы)**, показатель(и) качества) объекта — *далее будем считать, что она одна*.
7. Собери информацию об общем характере **«поведения»** объекта.
8. Проведи **декомпозицию** объекта (выдели процессы— «черные ящики», входящие в объект; их может быть много, может быть один)*.
9. Определи интересующие тебя характеристики (**выходы**, показатели качества, параметры) каждого процесса, влияющие на характеристику объекта.
10. Определи, чем ты можешь управлять— выбери управляющий фактор— **вход** (составь перечень управляющих факторов) — *далее будем считать, что он один*.
11. Определи, какие неуправляемые тобой факторы (факторы среды, **входы**) влияют на выход объекта. Раздели их на те, которые можешь измерить, и те, которые не можешь измерить.
12. Проведи **обучение**— пассивный эксперимент: собери информацию о реакции (об изменении) выходов всех процессов и объекта в целом на изменение управляющего фактора и изменение факторов среды— *с учетом п.13*.
13. Разработай **модели** всех выделенных процессов.
14. Объедини модели всех выделенных объектов в **модель** «поведения» объекта. Разработай **алгоритм** преобразования всей имеющейся у тебя информации в форму, пригодную для выполнения управляющих воздействий (*при необходимости, смотри литературу*). Сделай грубо, «на глазок», прогноз «пове-

* По поводу «черных ящиков» подробнее см., например, [1], п. 3.2.

дения» объекта в ответ на управляющее воздействие; выбери ту величину управляющего фактора, которая позволит точно добиться цели (попасть точно в номинал, «в десятку»).

15. Проведи (мысленный, численный или натуральный — *так, как это делается в примерах п. 7.3*) **эксперимент** на модели — если модель сложна, то с помощью ЭВМ. Сделай прогноз «поведения» объекта в ответ на управляющее воздействие; выбери на модели ту величину управляющего фактора, которая позволит точно добиться цели (попасть точно в номинал, «в десятку»). Такая величина является **прогнозом оптимального решения** задачи.

16. **Действуй** (реализуй процесс) в соответствии с прогнозом, полученным на шаге 15 или (что хуже) на шаге 14. (В примерах, рассмотренных в п. 7.3, прогноз получают на основе модели — в соответствии с п.15).

17. Оцени (измерь) **результат**.

18. **Сравни** результат и цель (номинал).

18.1. Если цель достигнута абсолютно точно, **используй результат** и переходи к шагу 1— к более высокой потребности.

18.2. Если цель достигнута с приемлемой ошибкой— смирись и действуй как в п.18.1.

18.3. Если цель не достигнута в первый раз (и у тебя есть ресурсы) — проведи **активный эксперимент**: сам установи управляющий фактор (его величину — *так, как это делается в примерах п. 7.3*), реализуй процесс и переходи к шагам 13...18.

18.4. Если цель не достигнута не в первый раз,

18.4.1 и у тебя есть большие (по твоей оценке) ресурсы— измени **структуру модели** (*так, как описано в литературе*) и вернись к шагам 12...18

18.4.2 и у тебя мало (по твоей оценке) ресурсов—

18.4.2.1 **измени объект** и вернись к шагам 6...18 или

18.4.2.2 **измени цель** и вернись к шагам 5...18

18.4.3 и ресурсы для удовлетворения данной потребности закончились (терпение иссякло и т.п.) — **измени** (снизь) **потребность** и вернись к шагам 2...18.

Примечания.

1. Если допустимо не оптимальное, а просто «результативное» решение, то из приведенного цикла может быть исключен шаг 15. При этом шаг 16 выполняется по прогнозу, полученному на шаге 14.

2. Некоторые из шагов приведенного цикла могут быть описаны еще подробнее, и это делается в специальной литературе.

Существенно, что у менеджера и у предприятия в целом **нет другого пути** достижения цели в условиях рынка. Руководствуясь сознанием, человек неминуемо моделирует ситуацию, «просчитывает» модели и выбирает варианты с учетом ресурсов. Весь вопрос в том, насколько эффективны инструменты такого выбора.

Глава 8. ПРИМЕНЕНИЕ НЕЧЕТКИХ ЛОГИК ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ

8.1. Математические методы описания сложных систем

При менеджменте качества специалистам очень важно знать, каковы достигнутые успехи, насколько они близки к «идеалу», т.е. насколько они отвечают поставленным целям, какова динамика развития СМК и т.д. Причем желательно, чтобы эти представления были представлены не число качественными («хорошо», «очень плохо»), а количественными оценками. Только в этом случае можно

- более адекватно реалии понять состояние дел;
- использовать эти данные для последующей математической обработки, например, с целью оптимизации параметров СМК.

Иными словами, работая с СМК, необходимо научиться использовать методы оценивания сложного социо-технического объекта, в котором кроме сугубо технических, организационных, производственных элементов, присутствует человек с его влиянием, с его действиями.

Такая задача относится к классу математических задач с неопределенностями [9], которые в последнее время являются объектом пристального изучения специалистами в области математического моделирования.

Действительно, имея дело с менеджментом качества, приходится признаваться, что здесь очень многое не определено, многое нельзя представить какими-либо строгими математическими соотношениями (уравнениями, матрицами и т.д.), которые бы позволили получить количественную оценку для ее последующего сравнения.

Таким образом, решение задачи оценивания такого сложного и неопределенного объекта как СМК требует применения современных методов моделирования, т.е. нужно использовать современные методы воспроизведения и исследования объекта, подобного оригиналу, в форме, удобной для исследования, и обеспечить перенос полученных сведений на моделируемый объект. При этом объекты можно считать подобными, если характеристики процессов, происходящих в каком-либо из них, отличаются от соответствующих характеристик другого объекта вполне определёнными и постоянными в течение заданного процесса коэффициентами. Существуют различные методы моделирования: геометрическое и физическое моделирование, моделирование путём прямых аналогий, математическое моделирование на ЭВМ, полунатурное моделирование. Каждый из этих методов имеет свои достоинства и недостатки и применяется в каждом конкретном случае в зависимости от исследуемой системы и условий её работы.

В математическом моделировании выделяют *имитационное* моделирование, под которым понимается воспроизведение процессов, объектов, явлений с имитацией случайными величинами и случайными процессами звеньев

оригинала, которые не удаётся представить определёнными математическими моделями. Имитационное моделирование часто рассматривают как управляемый машинный эксперимент. В таком эксперименте определённые математическими моделями части объекта моделирования взаимодействуют с имитирующими возмущающие воздействия и некоторые звенья объекта генераторами случайных чисел. Это взаимодействие проводится по определённым в эксперименте правилам, а результаты моделирования подвергаются статистической обработке.

Таким образом, имитационное моделирование заключается, прежде всего, в конструировании мысленной модели (имитатора), имитирующей объекты и процессы (например, СМК) по нужным (но не полным) показателям: времени работы, производительности денежным затратам и т.д. Именно неполнота описания объекта делает имитационную модель принципиально отличной от математической в традиционном понимании. С помощью средств вычислительной техники, опыта и интуиции исследователя производится перебор большого числа возможных вариантов поведения объекта. Имитационная модель включает в себя эвристические элементы, используя при этом подчас неполную и частично противоречивую информацию. Этим имитационное моделирование ближе к реальной жизни, зачастую более доступно и даёт неплохие результаты.

При *полунатурном* моделировании элементы реального объекта исследуются совместно с моделью остальной части объекта, реализованной на ЭВМ. Такой метод целесообразно применять, когда не удаётся описать математически работу некоторых элементов (звеньев) объекта.

При моделировании СМК приходится думать о применении таких математических моделей, которые бы позволили:

- проводить описание объекта максимально быстро без глубокого изучения;
- проводить описание конкретного объекта, действующего в конкретных обстоятельствах, а не классов соответствующих объектов;
- проводить описание социо-технических объектов, в которых главенствующая роль отводится человеческому фактору;
- проводить описание систем с возможным изменением целей описания;
- проводить описание в условиях неполных знаний об объекте описания.

Известны методы математического описания разнообразных объектов, основанные на применении «строгих» математических правил, которые описываются разными способами: конечными и вероятностными автоматами, системами массового обслуживания, графами, различными дифференциальными уравнениями, матрицами и т.д. Обычно форма записи математических

правил определяется различными обстоятельствами: степенью понимания описываемого объекта, освоенностью математического аппарата, целью описания и т.д.

Попытки «строгого» математического описания объектов, вообще говоря, удачны лишь для описания тех объектов, структура и состав которых хорошо изучены, многократно подтверждены практикой и не содержат в себе неопределённых элементов, отличающихся тем, что для них отсутствуют средства математического описания, адекватные описываемому объекту. Так, например, для описания различных линейных систем автоматического управления разработана теория автоматического управления, использующая математический аппарат операционного исчисления. При переходе к нелинейным объектам сразу возникает масса трудностей, которые в настоящее время преодолеваются часто путём применения различных методов линеаризации. Модели, в которых использованы графы, применяются, например, при тестировании и контроле микропрограммных устройств вычислительных систем, локальных вычислительных сетей, могут быть использованы для оптимального распределения затрат при построении автоматизированных систем управления.

Часто при отсутствии разработанного математического метода описания объектов и процессов прибегают к использованию средств поиска модели на основе *эксперимента*, применяют методы планирования эксперимента и находят правила, связывающие различные показатели объекта.

Однако такой метод требует больших затрат времени, очень чувствителен к корректности построения плана эксперимента и применим для сравнительно простых объектов моделирования. Нетрудно убедиться, что для моделирования и анализа СМК говорить об экспериментах достаточно сложно.

Вообще при изучении сложных систем мы всё больше и больше сталкиваемся с задачами, которые не могут быть решены точными количественными методами, так как, как правило, не хватает информации, позволяющей устанавливать, например, связи между аргументами и функциями без значительных упрощений математической модели. В этих случаях обычно используется аппарат математической статистики, положенный в основу теории вероятностей [5]. При *вероятностном* моделировании факторизация состояния объекта происходит по вероятностям его пребывания в том или ином состоянии в определённый момент времени. При этом следует иметь в виду, что *не объект имеет такую строгую зависимость своего состояния от времени, а именно количество его определённых состояний*. Поведение нужного параметра изучается, и его изменение во времени описывается с определёнными допущениями под известные математические зависимости (экспоненциальную, нормальную, Вейсбулла и т.д.).

Однако методами вероятностного моделирования можно хорошо решать задачи определения состояния *множества (класса)* объектов, получать усреднённые оценки. Когда исследователей интересует поведение конкретного экземпляра изделия, конкретной системы, конкретного объекта, вероятност-

ные характеристики годятся плохо. Зависимость от времени даёт этому методу преимущества в составлении прогнозов, но эта же зависимость не позволяет оценить состояние объекта в любой произвольный момент времени. Кроме того, корректно воспользоваться этим аппаратом можно, лишь имея статистику поведения аналогичных объектов.

Используемые вероятностные представления далеко не всегда отвечают действительности (особенно для сложных ситуаций). В первую очередь это относится к выбору тех или иных вероятностных распределений, описывающих неопределённость. В то же время конкретный вид распределения существенно сказывается на сложности аналитического решения задачи. Традиционность применения теории вероятностей можно понять, так как она сложилась намного раньше, чем были осознаны задачи, содержащие нечёткости и не сводящиеся корректно к исследованию массовых событий.

За последние тридцать лет сформировалось «логико-вероятностное моделирование» [10], в котором использовались функции алгебры логики для аналитической записи условий работоспособности системы с целью оценивания ее надежности. Иными словами, авторы этого направления попытались объединить теорию вероятностей и простую и хорошо разработанную алгебру логики. Однако в ряде работ критикуются попытки объединения теории вероятностей и алгебры логики, утверждается, что это не совсем корректно, так как теория вероятностей исходит из неопределённости в совершении событий, а алгебра логики - полной определённости объектов изучения [11]. При этом алгебра логики в её современном изложении занимается исследованием операций с высказываниями, т.е. с предложениями, которые характеризуются только одним качеством - истинностным значением (истина, ложь). В теории же вероятностей исследуются вероятности - числовые характеристики массовых событий. Критики логико-вероятностного подхода обращают внимание на то, что абсурдно говорить об «истинности событий» и о «вероятности высказываний», так как истинность - характеристика высказываний, но не событий, а вероятность - характеристика событий, но не высказываний. Причина появления такого подхода, видимо, в том, что одно и то же утверждение можно рассматривать и как высказывание (т.е. как объект алгебры логики), и как сообщение о событии (т.е. как объект теории вероятностей). При этом следует забыть о том, что предметом теории вероятностей являются не любые события, а только массовые. Объединение двух подходов в одном тексте и в одной формуле неприемлемо. Наверное, именно противоречия такого рода и послужили причиной развития новых подходов к моделированию, когда используются логические операторы или их аналоги, а функционалы, рассматриваемые в этих формализмах, непрерывнозначны.

Примером такого подхода являются *качественные* методы описания различных систем, использующие в отличие от описанных выше количественных методов чисто качественные представления и оценки исследуемого объекта. В частности, бурно развивается теория нечётких множеств Л.Заде [12].

По всей видимости, толчком к созданию новой теории послужило осознание того факта, что многие современные задачи управления, моделирования, описания поведения сложных объектов не могли использовать строгие методы, основанные на классической математике - теории дифференциальных уравнений, математического анализа и т.д. в связи с двумя обстоятельствами:

- сложностью и приближенностью математических моделей;
- отсутствием таковых для сложных и малоизученных объектов. Например, практически невозможно построить полную математическую модель металлорежущего станка, содержащего большое количество подсистем, каждая из которых изучена недостаточно и, как правило, описывается с помощью своего математического аппарата: технологическая система «инструмент - деталь» и привод подач описываются с помощью методов теории автоматического управления, а система числового программного управления - с помощью булевой алгебры.

Особенно сложно положение исследователя при попытках моделирования человеко-машинных систем (систем с искусственным интеллектом), когда человек является неотъемлемой частью системы, и социо-технических систем в частности, в которых человек является центром, определяющей частью системы, а технические средства лишь дополняют его и ассистируют ему.

В чем же состоят особенности теории Заде, которая сейчас находит применение в огромном количестве технических и нетехнических задач?

Заде сформулировал принцип частичной принадлежности, согласно которому *элемент x может полностью принадлежать множеству X , частично принадлежать или не принадлежать ему вообще*. В этом смысле Заде преобразовал традиционную теорию Аристотеля, базирующуюся на факте, что *элемент x либо принадлежит множеству X , либо не принадлежит*. Логика Аристотеля отличается строгостью и этим она привлекала математиков в течении многих лет. Однако эта классическая логика имеет существенный недостаток - с её помощью нельзя описать ассоциативное мышление человека, так как она оперирует только двумя понятиями («ложь» и «истина») и исключает любые промежуточные понятия. Например, при оценке какой-нибудь СМК в случае использования классической логики можно сказать о ней, например, лишь следующее: *СМК полностью соответствует «идеалу»* или *СМК полностью не соответствует ему*. В то же время в повседневной жизни человек использует всю гамму понятий. При решении той же задачи можно сказать: *СМК не совсем соответствует «идеалу», СМК почти не соответствует «идеалу», СМК не соответствует «идеалу» на 54%* и т.д. Очевидно, что последний случай более полно отвечает истинному положению вещей и более соответствует ассоциативному мышлению человека, который в реальной жизни только благодаря этому находит решения, не пользуясь какими-либо строгими расчётами и моделями, а имея лишь опыт и интуицию.

Первое применение нечёткой логики Заде было в 1980 году, когда в Швеции было реализовано управление цементными печами. В дальнейшем сфера применения логики Заде всё более и более расширяется: в Японии на её основе осуществляют управление поездами метрополитена, нечёткая логика используется для управления цифровыми фото- и видеокамерами, стиральными машинами, в автомобильной электронике и т.д. Один из специалистов в этой области Ричард Насс считает, что «методы и средства нечёткой логики могут найти применение почти в любом изделии, где имеются движущие части и требуется плавная работа - особенно, если при этом необходимо реализовать тот или иной сложный алгоритм». По существу нечёткая логика исключает применение решений по принципу «да - нет», она предусматривает плавные переходы, а не просто дискретное включение или выключение. Таким образом можно организовать более плавное (значит, точное) управление объектом.

При этом существенным является то, что для описания поведения объекта с использованием нечёткой логики нет необходимости искать зачастую сложное математическое описание, например, дифференциальными уравнениями, графами и т.д. Классики нечёткой логики любят приводить пример моделирования поведения обратного маятника (маятника, ось качания которого находится внизу), расположенного на движущейся тележке. Для решения задачи удержания маятника в верхнем положении классическим способом необходимо написать дифференциального уравнения второго порядка для двух измерений, зная при этом массу маятника. При использовании нечёткой логики достаточно знать, что при наклоне маятника влево необходимо тележку двинуть влево, и наоборот. При этом скорость движения тележки определяется скоростью наклона маятника. Фактически в этом случае речь идёт о том, что необходимо понять и описать «симптомы болезни» и сразу начать «лечение» (управление), причём без всякой математики. Именно в этом заключается смысл и эффективность нечёткой логики. Она исключает функции и процедуры математического и физического анализа и обращается прямо к тому уровню, где описывается поведение объекта и что нужно сделать для управления объектом.

Многие системы нечёткой логики предусматривают реализацию исключительно сложных функций простыми средствами. Например, в компании «Моторолла» имелись случаи, когда 100 страниц программы, написанной с использованием традиционных математических способов моделирования, заменялись всего 10-ю страницами программы, написанной на основе методов нечёткой логики. В Австрии с помощью непрерывнологических программ производят диагностику больных, в Великобритании осуществляется поставка непрерывнологического пакета программ, применяемого для решения финансовых задач на основе экспертных систем. В основе всех этих примеров лежит использование опыта специалистов, которые могут определить причинно-следственные связи между параметрами, характеризующими поведение объекта, и описать их в терминах нечёткой логики. Сейчас приня-

то считать, что принципы нечёткой логики найдут широкое применение в системах с элементами искусственного интеллекта, когда важен опыт человека. В этих случаях нечёткая логика даёт возможность использовать для описания процесса более естественные нечёткие термины, подобно тому, как люди используют их в своей речи.

Представляется, что применительно к задачам оценивания СМК, каждая из которых в общем случае является единственным сложнейшим экземпляром и представляет собой совокупность разнородных подсистем, блоков, элементов, качественные методы описания с использованием нечеткой логики могут найти широкое применение. В то же время отсутствует такой практический опыт использования логики Заде.

Развитием логики Заде является *логика антонимов*, разрабатываемая в течении многих лет в Санкт-Петербургском государственном техническом университете [13]. Характерными отличиями логики антонимов, автором которой является к.ф.-м.н. Я.Я.Голота, от логики Заде являются, во-первых, обладание свойствами булевости, и во-вторых, возможность задания чисел в промежутке $(0, +\infty)$. Таким образом, получается, что логика антонимов обладает всеми достоинствами логики Заде, но может решать и те задачи, которые не могут быть решены с применением логики Заде.

8.2. Основные положения теории нечетких множеств заде

Основание нечёткой логики (НЛ) было положено профессором Лотфи А. Заде в его статье "Нечёткие множества". Публикацией этой статьи в 1965 году он открыл новую область в теоретических исследованиях, которые привели в последние десятилетия к настоящему взрыву в направлении практического применения НЛ, особенно в Японии [14].

Отметим, что в дальнейшем непрерывнозначные логики, т.е. логики, в которых истинностный функционал принимает значения сплошь из некоторого промежутка, будем называть *непрерывными, бесконечнозначными, нечёткими, размытыми*.

Вообще говоря, впервые в мире непрерывная логика была предложена американским ученым Мак-Нотоном в 1951 г. Логический формализм, построенный Мак-Нотоном, явился основой теории нечётких множеств Л.Заде. Можно сказать, что теория Заде - одна из возможных интерпретаций формальной системы Мак-Нотона. Однако интерпретация оказалась настолько удачной, что в настоящее время всё, связанное с нечёткими множествами, в первую очередь связывается с именем Заде, а не с именем Мак-Нотона. Мы тоже будем следовать сложившейся традиции, оставляя в стороне нравственную сторону словопотребления «логика Заде», понимая под этим словосочетанием логику, которую использовал Заде в своей теории. Истинностный функционал в логике Заде принимает значения из отрезка $[0, 1]$. Следует отметить, что двумя годами ранее Заде в 1963 г. В.Л.Рвачев предложил свою теорию R-функций. По существу это непрерывная логика, в которой истинностный функционал принимает зна-

чения, принадлежащие всей числовой оси от $-\infty$ до $+\infty$. Но теория Рвачева не была подкреплена практическими применениями, поэтому у всех в головах нечеткие логики связаны с именем Заде.

Формальные системы, служащие теоретической основой обеих теорий, отличаются друг от друга. Чтобы согласиться с этим достаточно заметить, что функционалы в них принимают значения в разных множествах: в теории Заде из отрезка $[0,1]$, а у Рвачева - из бесконечного интервала $(-\infty, +\infty)$. Однако формальные различия не делают эти логики существенно различными по их свойствам. В этом отношении они близки друг к другу. Обе теории нашли приложения в последствии. Особенно это относится к теории Заде, прикладные возможности которой поистине необъятны. «Область применений непрерывной логики расширяется не по дням, а по часам», - говорит Дж. Бесдик, президент Североамериканского общества специалистов по обработке бесконечнозначной информации. Он объясняет причины лавинного развития теории нечётких множеств тем, что предложенный Заде подход нашел применения в таких областях, как искусственный интеллект и распознавание образов, «подчиняющихся» законам непрерывной логики.

Понимая ограниченность классической логики, Заде поставил задачу найти такой математический аппарат, который отвечал бы следующему принципу: *если люди могут принимать решения и действовать с высокой точностью в условиях, когда они не владеют точной информацией, и она не может быть выражена численно, тогда, должно быть, возможно управлять процессом, используя тот же подход, то есть в условиях нечёткой информации получать точный результат.*

Следует отметить, что в словосочетании *нечёткая логика* содержится внутреннее противоречие, связанное с многолетней привычкой к исключительной чёткости и точности классической булевой логики. В связи с этим до сих пор словосочетание *нечёткая логика* кажется слишком замысловатым и не всегда легко воспринимается. Однако аппарат нечётких логик столь же чёток, как и аппарат любой дискретной логики, например, двузначной. Сейчас уже общепризнанно, что используя нечёткую логику, можно на основе вполне конкретных исходных данных получать вполне конкретные реальные результаты. Сам автор нечёткой логики объяснял, что термин *нечёткая* был применён к классам, не предусматривавших чётко очерченных, резких границ. Автор отдавал себе отчёт в том, внутреннее противоречие выбранного словосочетания может отталкивать желающих изучить теорию, но осознанно пошёл на это, рассчитывая, что важнее суть явления, чем формальный термин, определяющий его. Кроме того, Заде предполагал, что противоречивость терминологии может сослужить и хорошую службу, так как многие будут относиться к теории антагонистически, причём не по сути, а только из-за терминологии. Это заставит увидеть суть теории более выпукло и общо, чем если бы было в случае использования более нейтрального названия.

Описанная ситуация с названием теории, действительно, помогает понять, что теория не предусматривает каких-либо жёстко очерченных границ, она по

определению полна нечётких объектов. Согласно представлениям Заде практически все человеческие высказывания полны неопределённостей и нечёткостей (например, «высокий мужчина», «надёжный станок», «хорошая СМК» и т.д.). Все эти высказывания не совсем конкретны, и даже, если они кажутся конкретными, они всегда нечётки. Интересно отметить, что сам Заде предполагал, что нечёткая логика найдёт применение для решения прикладных задач в области биологии, психологии и лингвистики. Однако со временем он понял, что она может быть использована и для целей анализа и управления различными объектами, но даже он не думал, что сфера применения нечёткой логики будет такой обширной.

Сначала идея Заде не была воспринята серьезно и только в последние десятилетия ситуация начала меняться, главным образом вследствие большого числа практических применений, успешно реализованных в развитых странах (США, Японии).

В нечёткой логике с термином «логическая переменная» можно связать любую физическую величину, для которой исследователь хочет и может иметь большее число значений, чем только *истина* и *ложь* (иными словами - «0» и «1»). При этом исследователь определяет необходимое число термов (значений любой величины, представленных не числами, а словами естественного языка), каждому из которых можно поставить в соответствие некоторое конкретное значение описываемой физической величины. Для этого значения степень принадлежности физической величины к терму будет равна «1», а для всех остальных значений - в зависимости от выбранной функции принадлежности. Например, при оценке СМК можно ввести переменную *результативность i-го процесса* и определить для неё такие термы как: *значительная, малая, средняя*. Определив с экспертами (специалистами по СМК) значения конкретных показателей результативности для каждого терма, можно избавиться от жёстких ограничений логики Аристотеля.

Выбранные лингвистические переменные используются в качестве *посылок* и *заключений* в продукционных правилах, являющихся одним из основных методов представления знаний в системах поддержки принятия решений.

В классической логике любое продукционное правило состоит из упомянутых посылок и заключений, которые объединяются посредством логических связок *И*, *ИЛИ*, и записывается в виде: «если (посылка) (связка) (посылка)....(посылка), то (заключение)».

Очевидно, что такое продукционное правило достаточно просто, но при этом требуется наличие полной информации об описываемом объекте.

Нечёткие же системы также основаны на правилах продукционного типа, но они существенно отличаются тем, что в качестве посылок и заключений используются лингвистические переменные. В результате становится возможным избежать ограничений, которые присущи классическим продукционным правилам.

В системах, использующих нечёткую логику, все входные и выходные переменные ассоциируются с нечёткими множествами. Эти множества связываются друг с другом через правила вида «если x и y , тогда z » («если x или y , тогда z »).

Правила устанавливают условные связи между входными и выходными переменными объекта, образуют базу, основывающуюся на собранных знаниях об объекте.

Таким образом, нечёткая логика использует описание объекта в терминах естественного языка. Нечёткие множества конструируются путем комбинирования значений переменной, субъективно выраженной через лингвистические термины, и функцией принадлежности (ФП) (membership function — MBF). ФП — это функции, которые каждому значению переменной (в границах каждого множества) ставят в соответствие значение ФП (membership degree MBD) от 0 до 1.

Результат такого нечёткого логического вывода является, конечно, также нечётким, который не может быть использован, например, для функций управления объектом. Поэтому необходимо провести специальные математические преобразования, позволяющие перейти от нечётких значений величин к вполне определенным, которые можно было бы использовать в системах управления и других случаях.

Описанный выше способ рассуждений позволяет исследователю легко оперировать неточными, размытыми количественными понятиями - такими, например, как "большинство", "много", "мало", "почти ноль" и т.д., которые обычно использует человек, размышляя о ситуациях реального мира.

Нечёткая логика связывает воедино принципы классической стандартной логики и теории вероятностей, так что появляется возможность учитывать различные степени неопределенности, например, в уравнениях, порождающих правила экспертной системы. Если говорить о практической работе, то нечеткая логика открывает доступ к достижениям искусственного интеллекта, хотя в настоящее время существует мнение о сложности и разочаровывающих результатах обычных подходов, которые используются сейчас в области искусственного интеллекта.

В тех случаях, когда важен опыт человек (как, например, при разработке систем искусственного интеллекта), по утверждению Заде обычно легче выражать те или иные понятия неточными терминами, подобно тому, как люди объясняют те или иные вещи словесно.

С момента, когда нечеткая логика впервые была внедрена в 1980 г. в Швеции для управления печами обжига цемента - производства, которое с точки зрения возможностей и уровня автоматизации находилось на одном из последних мест, аппаратные средства нечеткой логики начали становиться в один ряд с изделиями, пользующимися наибольшим спросом. Ещё в 1992 году Масаки Тогай считал, что в ближайшем будущем в 10% различных экспертных систем будут содержаться средства нечеткой логики. Наиболее перспективными для их внедрения являются системы для бизнеса и оборудование бытовой электроники.

Главное преимущество нечеткой логики заключается в ее простоте и в том обстоятельстве, что при использовании классической логики "точность обходится дорого". По утверждению Заде одной из причин, по которой японцы возглавили работы в области нечеткой логики, заключается в том, что они первыми поняли, что во многих случаях высокая точность просто не нужна и использование нечеткой логики вполне оправдано. При этом нечеткая логика отвергает категоричные "да" и "нет" и принимает нечеткие понятия, такие как, например, "лучше", "хуже".

Рассмотрим основы аксиоматики (свода правил) нечеткой логики Заде.

Очевидно, что некоторое событие, подразумевающее выполнение условий A и B , произойдет с меньшей вероятностью, чем то, которое состоится при выполнении условия A или B . Иначе говоря второе сочетание "лучше" первого. На языке алгебры логики (булевой алгебры), являющейся формальным аппаратом двузначной логики Аристотеля, первое сочетание называется конъюнкцией, второе - дизъюнкцией, и вероятность выполнения конъюнкции двух условий меньше вероятности выполнения их дизъюнкции. Запишем это таким образом:

$$V(A \wedge B) < V(A \vee B), \quad (8.1)$$

где под V подразумевается любая оценка выполнения события, удовлетворяющая условиям A , B и последовательности их выполнения.

Рассмотрим другой случай и оценим выполнение некоторого события, если:

- * оно выполняется только одним условием A ;
- * оно может выполняться при выполнении либо условием A или B ;
- * возможно его выполнение при выполненном одном из условий A ,

B , C .

Конечно, в последнем случае мы будем иметь большую по сравнению с другими вероятность, надежность, точность и т.д.

$$V(A) < V(A \vee B) < V(A \vee B \vee C) \quad (8.2)$$

Иначе говоря, дизъюнкция нескольких элементов будет иметь меньшую оценку, чем дизъюнкция тех же элементов с добавлением одного или нескольких новых элементов. Противоположным образом дело обстоит с конъюнкцией:

$$V(A) > V(A \wedge B) > V(A \wedge B \wedge C) \quad (8.3)$$

Нужно отметить и другие правила логики Заде:

- * при увеличении оценки выполнения условия увеличивается оценка всей системы

$$V(B) < V(C) \implies V(A \vee B) < V(A \vee C);$$

$$V(A \wedge B) < V(A \wedge C) \quad (8.4)$$

- * при увеличении суммы оценок (элементов) выполнения условий увеличивается общая оценка

$$V(A) + V(B) > V(D) + V(C) \implies$$

$$V(A \vee B) > V(D \vee C); \quad V(A \wedge B) > V(D \wedge C) \quad (8.5)$$

- * оценка конъюнкции по методике Заде

$$V(A \wedge B) = \min [V(A); V(B)]; \quad (8.6)$$

* оценка дизъюнкции:

$$V(A \vee B) = \max [V(A); V(B)]. \quad (8.7)$$

Итак, познакомившись, в общих чертах, с аксиоматикой логики Заде, попробуем определить её конкретные отличия от булевой двузначной логики.

Основным отличием является употребление в качестве оценок событий не «0» и «1», а *любых чисел между ними*. Оценки чаще всего носят сравнительный характер. Формальный аппарат логики Заде, безусловно, делает шаг вперед, оставаясь в рамках двузначной логики, но он не соответствует нашей интуиции во многих прикладных задачах, то есть сужает круг своего действия.

Кроме того, в данном методе не различаются связи между элементами, он не различает число элементов системы, так как ориентирован либо на максимум, либо на минимум (см.8.6 и 8.7).

С учетом вышесказанного теорией Заде предписывается реализация трех этапов:

- фазификация или переход к нечёткости (fuzzification), когда точные значения входных переменных преобразуются в значения лингвистических переменных посредством применения определенных функций принадлежности;
- оценка правил (rule evaluation), когда определяются продукционные правила, связывающие лингвистические переменные. Совокупность этих правил описывает связи между входными переменными и выходными;
- дефазификация (defuzzification), когда осуществляется переход от нечётких значений величин к вполне определенным физическим параметрам.

В силу того, что теория нечётких множеств мало известна в широких кругах специалистов, занимающихся практическими прикладными задачами моделирования и управления, подробнее рассмотрим каждый из отмеченных этапов, схема реализации которых представлена на рис.8.1. Пусть, например, будет решаться задача описания (моделирования) процесса поддержания температуры и давления при управлении технологическим объектом по заданной программе и разработки после моделирования устройства управления (контроллера) указанными параметрами.

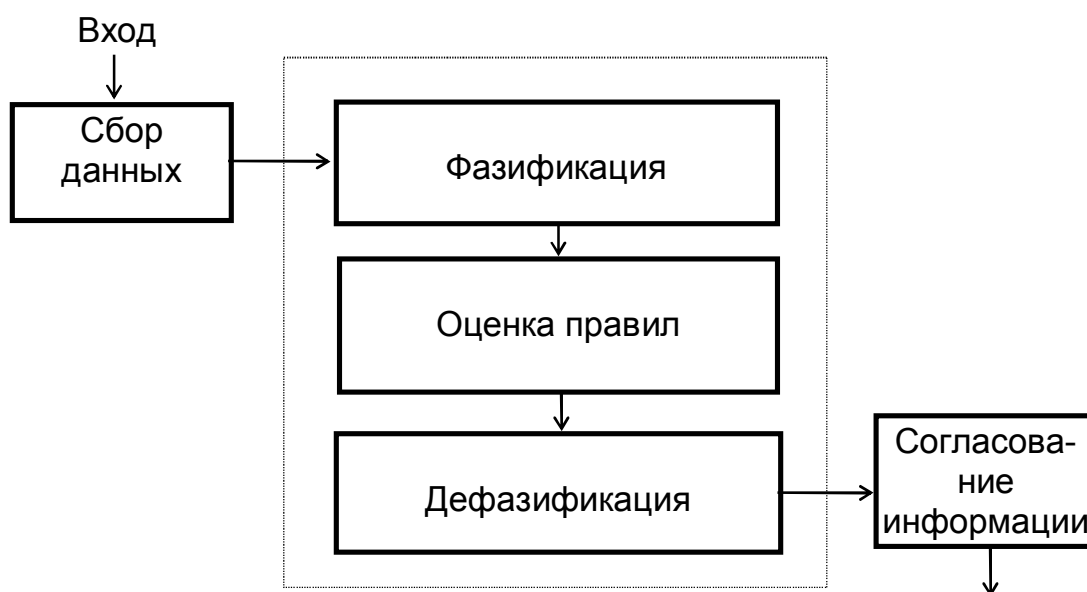


Рис.8.1. Схема моделирования с использованием нечеткой логики Заде₁₃₃

На этапе фазификации каждому из термов всех лингвистических переменных необходимо поставить в соответствие точные физические значения. Согласно теории нечётких множеств каждому значению, например, температуры из указанного диапазона может быть поставлено в соответствие некоторое число от 0 до 1, которое определяет степень принадлежности данного физического значения температуры к тому или иному терму лингвистической переменной «температура» (рис.8.2). Конкретное определение степени принадлежности производится экспертным методом.

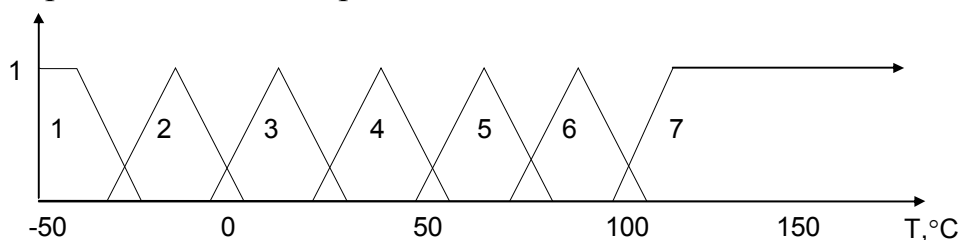


Рис.8.2. Ранжирование температуры и функции принадлежности (1-чрезвычайно холодно; 2-очень холодно; 3-холодно; 4-прохладно; 5-тепло; 6-горячо; 7-очень горячо)

На рис.8.2 ось X представляет область количественной оценки входных и выходных значений (в нашем случае - температуры) (область определения), а ось Y — область значений функции принадлежности (membership degree - MBD). Пересечения областей нечётких множеств называются перекрытиями (overlap).

Количество термов в переменной принято выбирать из ряда 3 - 7. Это обусловлено тем, что при количестве термов, равном 3, можно определить соответствующую лингвистическую переменную через максимальное, минимальное и среднее значения. В то же время количество термов, равное 7, объясняется возможностями эксперта хранить и обрабатывать информацию. Хотя, конечно, увеличение количества термов приводит к повышению точности расчетов, но и существенно усложняет процедуру моделирования.

На этом же этапе производится выбор функций принадлежности.

На этапе дефазификации осуществляется процесс обратного преобразования численных значений из среды нечётких множеств в численные значения «реального мира».

Таким образом, первый шаг в построении контроллера нечёткой логики - сопоставление лингвистических термов каждому из контролируемых физических параметров. Цель - разделить значения каждого параметра на области и поименовать их. В таблице 8.1 приводится пример такого разделения на области для температуры в соответствии с рис.8.2. Обычно это разделение зависит

от мнения разработчика и/или эксперта, либо отражает знания, полученные о системе.

С каждой из областей сопоставляется функция, через которую будет определяться значение ФП. Сопоставление ФП с областями приводит к образованию нечётких множеств.

Ту же процедуру надо выполнить, чтобы определить нечёткие множества для остальных переменных (например, давления и величины потока воды). Остальные таблицы здесь не представлены, но результаты определения нечетких множеств представлены на рис.8.3 и рис.8.4.

Таблица 8.1

Разделение значений температуры на области

Нечёткие множества	Лингвистические термины	Области температуры (°C)
1	чрезвычайно холодно	-50 до -10
2	очень холодно	-15 до 0
3	холодно	-5 до 20
4	прохладно	15 до 50
5	тепло	45 до 75
6	горячо	70 до 110
7	очень горячо	105 до 175

В зависимости от рассматриваемого процесса и используемых параметров могут быть применены различные ФП. Большинство применяемых на практике функций линейны или являются комбинациями линейных функций, так как вычисления при этом простые и не требуют много памяти.

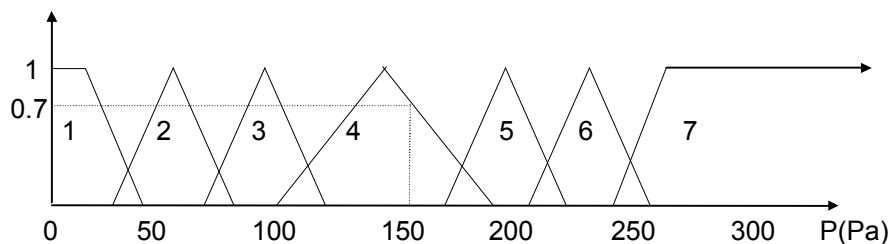


Рис. 8.3. Ранжирование давление и функции принадлежности (1 - очень низкое; 2 - низкое; 3 - среднее; 4 - среднее; 5 - среднее; 6 - высокое; 7 - очень высокое)

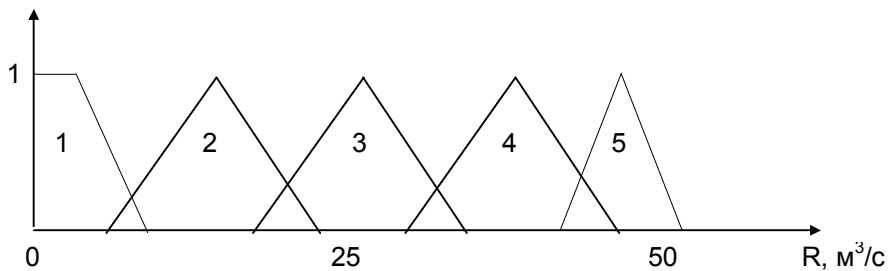


Рис.8.4. Ранжирование величины потока и функции принадлежности (1.- очень слабое; 2 - слабое; 3 - среднее; 4 - сильное; 5 - очень сильное)

Следующий шаг – разработка схемы управления через определение основных правил работы. Эти правила должны отражать знания, полученные о рассматриваемом объекте, и определять необходимую стратегию управления. Проиллюстрируем это на нашем примере, предположив для простоты, что система функционирует правильно, базирясь на 4-х основных правилах:

1. **если** темп. = чрезв.-холодно **и** давление = среднее, **тогда** поток воды = слабый
2. **если** темп. = холодно **и** давление = среднее, **тогда** поток воды = средний
3. **если** темп. = прохладно **и** давление = среднее, **тогда** поток воды = сильный
4. **если** темп. = теплый **и** давление = среднее, **тогда** поток воды = очень сильный

На этой стадии процесс проектирования контроллера нечёткой логики полностью завершен. Другими словами нечёткие множества определены и правила сформулированы. Эти шаги могут быть выполнены за достаточно короткий промежуток времени с использованием специального пакета программ. Далее такой специальный пакет программ может генерировать программу, которая будет выполнять алгоритм управления с нечеткой логикой (НЛ). Затем программа загружается в контроллер и запускается на исполнение. В процессе работы программа выполняет все три описанные выше фазы процесса НЛ: фазификацию, оценку правил, дефазификацию. Краткое описание всех этих операций для рассматриваемого примера приводится ниже.

Фазификация

Процесс фазификации выполняется в процессе работы программы и состоит в присваивании значений функции принадлежности (от 0 до 1) значениям параметров реального мира. Из рис. 8.2 видно, что значение температуры 50°C принадлежит множеству «прохладно» со степенью 0,2 (20%) и множеству «тепло» со степенью 0,5 (50%). Из рис.8.3 видно, что значение давления 150 Pa принадлежит множеству «среднее» со степенью 0,7 (70%).

Оценка правил

В большинстве случаев в НЛ применяются правила следующего вида:
если [условие А и условие В] **тогда** [результат С]

Здесь оператор конъюнкции (**и**) работает как min-функция, оставляя меньшее из значений ФП, полученных после фазификации. В нашем примере значению температуры 50°C соответствуют множества «прохладно» и «тепло», а значению давления 150 Па, соответствует множество «среднее». При таких значениях реальных параметров используются правила 3 и 4, а правила 1 и 2 не принимаются в рассмотрение.

Оценка правила 3: **Если** температура «прохладная» **и** давление «среднее», **тогда** поток воды «сильный».

Так как в рассматриваемом случае температура = «прохладная» со степенью 0,2, а давление = «среднее» со степенью 0,7, то правило оценивается числом 0,2, полученным как $\min(0,2; 0,7)$.

Тогда в соответствии с этой оценкой выходная переменная (водный поток) принимает значение «сильный» со степенью 0,2.

Оценка правила 4: **Если** температура «теплая» **и** давление «среднее», **тогда** поток воды «очень сильный».

Так как в рассматриваемом случае температура = «теплая» со степенью 0,5, а давление = «среднее» со степенью 0,7, то правило оценивается числом 0,5, полученным как $\min(0,5; 0,7)$.

В соответствии с этой оценкой, выходная переменная (водный поток) принимает значение «очень сильный» со степенью 0,5.

Таким образом, на этой стадии правила 3 и 4 оценены, но абсолютного решения нет до тех пор, пока не присвоено значение выходной переменной. Основные выводы делаются в результате процесса дефазификации.

Дефазификация

Процесс дефазификации заключается в расчете единственного «реального» значения для выходной переменной на основании «нечетких» значений, полученных в результате оценки правил. Существуют три основных способа проведения дефазификации:

* метод максимальной дефазификации или метод наибольшего значения (принимается во внимание только максимальное число, полученное в результате оценки правил).

* метод центра масс или метод центра максимума (принимаются во внимание все значения и расчет производится по формуле центра масс):

$$\frac{\sum_{i=1}^n f_i x_i}{\sum_{i=1}^n f_i}$$

где f_i – i -ое значение ФП для выходной переменной;

x_i – значение выходной переменной, соответствующее максимальному значению ФП для данного множества;

n – порядковый номер соответствующего множества.

* метод центра площади или метод центроида (метод сходен с предыдущим за исключением того, что в нём используется интегрирование вместо

суммирования). Иными словами в этом методе значение выходной величины является координатой центра тяжести фигуры, получаемой усечением характеристических функций выходной величины полученными значениями их степеней принадлежности.

Рассмотренный практический пример применения нечетких логик показывает, что для решения задачи достаточно выполнить основные шаги по определению входных и выходных переменных, соответствующих нечетких множеств и основных правил. Нет необходимости в использовании математических уравнений и классического анализа. Единственное, что требуется - достаточно хорошее знание системы для определения адекватных нечетких множеств для каждого параметра и заполнения таблиц правил для осуществления стратегии управления.

Анализ состояния дел с применением новых математических средств моделирования сложных систем показывает, что в то время, как управляющие системы становятся все более и более сложными, спрос на применение методов НЛ постоянно растет. Это в особенности верно в тех случаях, когда система, подлежащая анализу, не имеет точной математической модели или является нелинейной. Для таких систем применение подобных методов из области искусственного интеллекта дает разумные, эффективные решения.

НЛ была определена как один из первых полезных продуктов искусственного интеллекта в области управления. Японцы применяют НЛ даже для тех систем, для которых годятся и обычные методы. Это происходит вследствие того, что цикл проектирования системы управления с НЛ требует меньше времени, так как аналитический этап заменен этапом применения полученных знаний об объекте управления. Другая причина в том, что линейная ФП, которая обычно применяется в управлении, требует очень мало памяти при работе с контроллером НЛ, а контроллер производит минимальные вычисления. В результате простые 8-ми и 16-ти разрядные микроконтроллеры хорошо подходят для большого числа применений.

Основная трудность НЛ состоит в нехватке (ограниченности) методологии формального проектирования. Другая трудность – результирующая система не является аналитической, не остается возможности для какого-либо анализа. Оптимизация не может быть проведена с использованием производных и определением минимумов и максимумов, так как нет математических уравнений. Однако эти трудности не мешают НЛ доказывать свою жизнеспособность на большом количестве практических применений.

В заключении отметим, что в настоящее время нечёткое управление на основе логики Заде реализуется специальными нечёткими контроллерами, в основе которых лежит так называемая «машина нечётких выводов» [15], которая реализует нечёткий вывод типа «Если А, то В», соответствующий этапу принятия решения. Базовая архитектура нечёткого контроллера, выполняющего r нечётких выводов, соответственно содержит r машин нечётких выводов. Кроме этого, контроллер содержит нечёткую память, в которой хранится база знаний и схема объединения результатов выводов. К концу 80-х годов в Японии был уже

налажен выпуск специализированных нечётких контроллеров, выполненных по технологии сверхбольших интегральных схем.

Однако нечёткое управление может выполняться и с помощью обычных или специализированных логико-арифметических контроллеров, в которых нечёткие выводы выполняются путём вычисления характеристических значений выходной логической переменной через характеристические значения входных лингвистических переменных по логическим формулам, использующим логические операции «И», «ИЛИ», «НЕ». В частности, американская фирма Intel, понимая своё отставание от освоивших выпуск нечётких контроллеров японцев, пошла по этому пути. Фирма предоставила разработчикам средство разработки приложений на базе хорошо освоенных собственных контроллеров, но с использованием технологии нечёткости. Создание такой технологии позволило избежать значительных затрат на создание собственных нечётких контроллеров, а разработанная в середине 80-х годов под руководством профессора Ганса Циммермана система FuzzyTECH получила широкое распространение в США, Европе и даже в Японии. Для работы системы FuzzyTECH разработан специальный аппаратно независимый объектно-ориентированный язык FTL (Fuzzy Technology Language). Он имеет открытую архитектуру и может быть расширен в зависимости от потребностей пользователя. В настоящее время существует версия системы FuzzyTECH для MS-Windows 3.1.

8.3. Логика антонимов как альтернатива логике заде

Выше уже упоминалось, что альтернативой логике Заде можно считать созданную в России логику антонимов (ЛА).

Рассмотрим кратко основные положения логики антонимов.

Недостатки существующих методов нечетких логик, отмеченные выше, заставляют думать об использовании для моделирования сложных систем нового логического аппарата, позволяющего давать промежуточные оценки и построенного на основе нечетких логик. Автор этого логического аппарата назвал его логикой антонимов (ЛА) [16]. При построении математической модели на основе логики антонимов мы снова возвращаемся к факторизации состояний системы по физическим или иным признакам, характеризующим действительное техническое состояние системы, делая решительные шаги вперед от логико-вероятностных методов математического моделирования к новому методу, позволяющему наиболее полно представить картину технического состояния системы и взаимосвязь между ее параметрами.

ЛА, как и теория вероятностей, применима в тех случаях, когда исходная информация нечётка, когда в исходной информации многое не определено. Однако следует помнить, что корректное применение теории вероятностей требует выполнения определенных условий, так как теория вероятностей основана на методах математической статистики. Эти условия можно выразить следующим образом:

- исходные данные об анализируемом объекте получены путем исследования достаточно представительной выборки, объем этой выборки обосновывается в каждом случае;
- необходимо наблюдение за выборкой, состоящей из одинаковых объектов, в один и тот же временной промежуток.

Конечно, на практике выполнить эти условия не представляется возможным, поэтому приходится смириться с тем, что получаемой в результате анализа результат будет «неточным», «приблизительным». А что делать в тех случаях, когда анализируется такой уникальный объект как СМК? Ведь собрать корректно статистические данные (с соблюдением перечисленных условий) невозможно в принципе. Такие и подобные задачи, при решении которых эти условия либо вовсе не могут быть выполнены, либо их выполнение сопряжено с преодолением значительных трудностей, требуют применения новых подходов. В этих случаях могут быть полезны методы, основанные на ЛА.

Таким образом, имеет смысл пользоваться ЛА в следующих случаях:

- есть необходимость учесть большое число параметров, и это связано с большими трудностями применения традиционных методов;
- нет или мало статистического материала для корректного применения вероятностных методов;
- количественные зависимости между параметрами либо неуловимы, либо трудно формулируемы, а качественные зависимости достаточно чётко выражены (т.е. исследователю понятны логические зависимости между рассматриваемыми переменными величинами, понятны причинно-следственные связи между ними). Именно в учете логических связей между рассматриваемыми величинами отличие этого метода от традиционных, в которых учитывается количественная связь между величинами. Такой подход дает основание относить к качественным метод моделирования на базе ЛА, но с получением количественных оценок, опираясь на логическую связь между параметрами. Конечно, как и всякая формализация, формализация логических зависимостей может оказаться довольно трудным делом. Данный подход ориентирован на возможность формализации опыта и знаний наиболее квалифицированных специалистов, что дает возможность воспользоваться их интуицией и опытом при решении практических задач с помощью ЭВМ, т.е. предлагаемый метод позволяет сделать опыт, интуицию, знания специалистов высокого класса достоянием многих;
- существенен учет оценок всех элементов рассматриваемой системы, так как в рассмотренной выше непрерывной логике Заде дизъюнкция и конъюнкция оцениваются, соответственно, только максимальными и минимальными значениями из всех вошедших в них элементов. Отсюда следует, что если рассматривается система соединенных параллельно или последовательно элементов, то общая оценка всей такой системы определяется оценкой только одного

элемента (максимального или минимального), а значения всех остальных оценок на итоговой не отражаются, они при использовании непрерывнозначной логики не существенны. Но возможны такие задачи, такие ситуации, когда существенными являются оценки всех элементов, и в этом случае непрерывнозначная логика Заде является неприменимой;

- по условиям задачи нужно учитывать состояние данной конкретной системы в рассматриваемый момент времени, а не некоторые усредненные состояния. В статистических же методах часто рассматривается гипотетическая система, когда используется статистический материал, характеризующий целый класс систем, например, технологическое оборудование определенного вида, системы менеджмента качества и т.д.

Формальный аппарат ЛА существенно отличается от формальных систем, предложенных ранее другими авторами. Это даёт возможность сформулировать и решать такие задачи, какие известными ранее методами либо не могли быть вовсе решены, либо их решение было связано с преодолением больших трудностей. Рассмотрим одну из таких задач. Назовем ее задачей об оценке степени соответствия СМК предъявленным к ней требованиям.

В такой задаче, если используются методы математической статистики, то можно говорить об оценке вероятности соответствия СМК двум состояниям: полностью отвечает требованиям (например, ГОСТ) или абсолютно не отвечает. Применяя вероятностный аппарат, вычисляют вероятность нахождения СМК в одном из двух состояний при рассматриваемых условиях. Очевидно, что трудно представить себе ситуации, когда СМК либо идеальна, либо абсолютно отсутствует.

В реальных же условиях нас интересует какова реальная СМК конкретного производства, конкретной компании с неким, например, «идеалом», к которому хотим стремиться. Кстати, вполне правомерна постановка задачи сравнения (сопоставления) СМК одной компании с СМК компании-конкурента.

Степень соответствия рассматриваемой СМК эталону - неотрицательное число, характеризующее степень (меру) сходства объекта с эталоном. Эта степень не двузначная и даже не конечнзначная, а непрерывнозначная функция, в качестве значений которой может быть любое неотрицательное число.

Обобщение, о котором идет речь, касается множества, в котором находятся оценки СМК. При этом речь не идет о вероятности соответствия СМК одному из состояний, принадлежащих к бесконечно большому множеству возможных состояний, а о мере близости (или дальности) состояния конкретной СМК к эталону в момент снятия, оценивания параметров, характеризующих состояние СМК.

Имея два числа - оценку рассматриваемого объекта $H(x)$ и оценку эталона $H(\varepsilon)$, можно сравнивать эти два числа, например, путём использования разности $H(\varepsilon) - H(x)$ или отношения $H(x)/H(\varepsilon)$. Если следовать последнему выражению, то число, характеризующее сходство рассматриваемого образца с эталоном, будет внешне аналогично вероятности, так как оно также принадлежит от-

резку $[0 - 1]$. Однако природа новой характеристики ничего общего с вероятностью не имеет. Она характеризует данную СМК, а не множество похожих СМК.

Конечно, в разных задачах, связанных, например, с надежностью, возможно применение разных подходов. Например, при выпуске продукции нужна вероятностная характеристика надежности, например, руководителю предприятия необходимо знать вероятность выпуска телевизоров, не соответствующих предъявленным требованиям. Это нужно знать руководителю для оценки результатов работы его предприятия. С другой стороны, покупателю единственного экземпляра телевизора нет дела до характеристик партии телевизоров, ему важно знать характеристики того экземпляра, который он покупает.

Таким образом, введение новой характеристики существенно дополняет используемые ранее вероятностные оценки.

Как и в других математических логиках, в ЛА рассматриваются объекты простые и сложные. Последние образуются, в основном, с помощью трех связей (операторов): α , β , γ . Первая из них одноместная, вторая и третья - двухместные. Объекты вида A и neA (отрицание A) образуют антонимические пары. Чем больше оценивается один, тем меньше другой, и наоборот. В сумме же обе эти оценки никакой константы не образуют. В этом одна из отличительных черт ЛА. Напомним, что в булевой алгебре объект neA является дополнением объекта A до единицы.

Двухместные операторы β и γ по-разному связывают элементы: оператор γ связывает теснее, чем оператор β . *Тесная* связь означает, что одновременно с обращением в ноль оценки одного из элементов совокупная оценка обращается также в ноль, *слабая* же подразумевает, что обнуление одного из элементов приводит к уменьшению всей совокупной оценки, но не настолько, чтобы она обратилась в ноль (например, можно считать, что при оценке СМК несоблюдение принципа лидерства руководства влияет сильно, а принципа взаимовыгодных отношений с поставщиками - слабо).

Любому объекту рассмотрения в ЛА может быть поставлено в соответствие любое неотрицательное число. Последовательное применение правил ЛА позволяет определять число, которое ставится в соответствие сложному объекту, путём вычисления значения некоторой функции от многих переменных. Эта функция представляет собой суперпозицию различных функций. В ЛА доказывается теорема, утверждающая, что, как бы ни был сложен объект рассмотрения, может быть получено число, ему соответствующее, если элементарным объектам, из которых состоит сложный объект, поставлены в соответствие числа.

Необходимо еще раз отметить отсутствие отрицания в новой логике. Это определяет значительные отличия от классической логики. Отрицания в прежнем его понимании просто нет. Естественно, это налагает свой отпечаток на весь формальный аппарат ЛА. Рассмотрение антонимов, а не отрицания как дополнения, тесно связано с областью значений истинностного функционала. Ею в ЛА является неотрицательная числовая полуось.

Рассмотрим непосредственно аппарат ЛА. Пусть различным объектам A, B, \dots ставятся в соответствие некоторые числа $H[A], H[B], \dots$. Эти числа означают степень отношения к объекту. Не являясь физическими величинами, они могут рассматриваться лишь в сравнении с себе подобными в одной системе оценок.

Некоторое знакосочетание αI будем обозначать через Λ , что будет соответствовать ложному явлению.

Обозначения $(A), (B), \dots$ являются формулами, то есть выражениями, производящими некоторые действия над объектами A и B, \dots . Если (A) и (B) - формулы, то выражения $(\alpha A), (\alpha B), (A\beta B), (A\gamma B)$ - тоже формулы; формул другого вида в ЛА нет.

8.4. Основные положения логики антонимов

Предварительно введем обозначения:

A, B, \dots - объекты;

$H[A]$ - степень отношения к объекту A (число);

A/B - осуществление A при условии B .

Аксиома 1. Значением истинностного функционала H является любое положительное число:

$$H [A/B] \in [0; +\infty] \quad (8.8)$$

Аксиома 2. Константе соответствует бесконечное истинностное значение (абсолютная истина):

$$H[I] = \infty \quad (8.9)$$

Аксиома 3. Оценка противоположного события зависит от оценки прямого через логарифм, а не является дополнением до константы:

$$H[\alpha A/B] = - \log_2 (1 - 2^{-H[A/B]}) \quad (8.10)$$

Аксиома 4. Образуется сложный объект. Аксиома показывает как вычислить истинностную оценку его, осуществляя переход от сложного к простому:

$$H[A\beta B/C] = H[A/C] + H[B/\alpha A\gamma C] \quad (8.11)$$

Аксиома 5. а) Оценивается объект A , при условии, что он имеет место при условии C (A/A - принимает значение константы):

$$H[A/A \gamma C] = \infty \quad (8.12)$$

б) Если $H[C] \neq 0$, то:

$$H[I/C] = \infty ; \quad (8.13)$$

если $H[C] = 0$, то:

$$C = \Lambda = \alpha I \quad (8.14)$$

Это случай, где условием не является абсолютная ложь.

Аксиома 6. Если условием к A является заведомая истина, то:

$$H[A/I] = H[A] \quad (8.15)$$

В отдельную группу следует выделить аксиомы, определяющие переход от сложных к более простым системам:

Аксиома 7.

$$H[A \gamma B/D] = H[B \gamma A/D] \quad (8.16)$$

Аксиома 8.

$$H[A/\alpha\alpha B\gamma C] = H[A/B\gamma C] \quad (8.17)$$

Аксиома 9.

$$H[A/B\gamma И] = H[A/B] \quad (8.18)$$

Аксиома 10.

$$H[D/(A\gamma B)\gamma C] = H[D/A\gamma (B\gamma C)] \quad (8.19)$$

8.5. Сопоставление возможностей логики Заде и логики антонимов

Логика антонимов противопоставляется логике Заде в силу свойств ЛА, выгодно отличающих ее от других формальных систем. Если сравнивать ЛА с логикой Заде, то справедливо коротко сказать, что все, что можно сделать средствами Заде, можно сделать и средствами ЛА, плюс еще можно сделать то, что в принципе невозможно сделать средствами Заде. Это объясняется следующим.

До появления ЛА различными учеными, среди которых лица с мировой известностью, было построено немало многозначных логик, т.е. логик, у которых истинностный функционал принимает более двух значений. Но ни одна из них не обладает свойством булевости (свойствами булевой алгебры). Самая широко известная из всех многозначных логик - логика Заде. На сегодня только ЛА является многозначной логикой, обладающей свойствами булевой алгебры, плюс свойствами, которых нет у булевой алгебры.

В то же время успехи нынешней вычислительной техники в значительной степени основаны на реализации в «металле» булевой алгебры, т.е. на использовании электронных элементов, реализующих функции булевой алгебры *И*, *ИЛИ*, *НЕ*.

Именно булевость вместе с другими свойствами делает ЛА уникальной логической системой. Эти обстоятельства и наш опыт в логико-математическом моделировании дают право утверждать, что ЛА более перспективная база для конструирования на ее основе различных систем, чем логика Заде. ЛА предлагает более «интегральные» шаги, чем «мелкие» шаги логики Заде.

Безусловно, есть задачи, при решении которых полезнее использовать логику Заде. Но есть задачи, для решения которых теории Заде недостаточно. Заде предлагает оперировать только *максимумами и минимумами*. Слов нет, любая функция хорошо описывается своими экстремумами. Но есть задачи, в которых нужно знать не только эти значения, но и промежуточные значения. В этом случае ЛА может прийти на помощь, так как применяя ее можно учесть *все* значения. Конечно, более привлекательные полезные свойства новой теории не даются даром. Формализм ЛА сложнее формализма логики Заде. Однако относительные трудности вычислений окупаются сторицей, так как на основе ЛА сравнительно легко удаётся разрабатывать математические модели для решения

различных прикладных задач, в том числе и задач синтеза систем комплексных испытаний, формирования комплексной оценки инновационного объекта и др.

В таблице 8.2 приведены основные сравнительные характеристики логики Заде и логики антонимов, существенные для решения ряда прикладных задач.

На основании вышесказанного можно сформулировать основные преимущества и недостатки сравниваемых логик.

Преимущества логики Заде: Простые расчеты.

Недостатки логики Заде: При расчетах отбрасывается часть переменных, так как функция *И* учитывает только минимальное значение из значений всех переменных, а функция *ИЛИ* - только максимальное значение. При этом чем большее число переменных участвуют в логическом выражении, тем больше может быть ошибка. Также можно сказать, что чем больше разброс значений переменных в логическом выражении, тем больше ошибка. С ростом числа входных переменных и количества связанных с ними нечетких множеств резко возрастает количество используемых правил.

Преимущества логики антонимов: При вычислениях учитываются значения всех переменных, следовательно, можно говорить о более точных вычислениях. ЛА позволяет легко работать с многоуровневыми логическими моделями и с большим числом переменных. ЛА использует качественный подход к решению задач, учитывающий причинно-следственные связи между параметрами изучаемых объектов.

Недостатки логики антонимов: Более сложные расчеты.

Таким образом, подводя итог можно представить результаты анализа различных средств математического моделирования в виде качественного рисунка 8.8, из которого видно, что логика антонимов наиболее удачно может быть применена при описаниях систем, о которых есть только качественные представления, к тому же и не очень полные, когда понятны причинно-следственные связи между параметрами описываемого объекта.

Сравнение логики Заде с логикой антонимов

	Логика Заде	Логика антонимов
Получаемый результат	Определение входных и выходной переменных	Определение цели, следовательно определение выходной переменной, которая, как правило, выступает в виде комплексной оценки
Переход к «машинному» языку	Фазификация – разбиение значений переменных на нечеткие множества и построение ФП (функций принадлежности)	Построение логической модели, с применением связей «менее тесная», «более тесная», с выходом через промежуточные расчетные оценки на измеряемые параметры «реального мира»
Способ решения	Построение таблицы (матрицы) правил с использованием операций «и», «или» логики Заде	Проставление весовых коэффициентов
Переход к «реальному» миру	Дефазификация–переход от значений ЛЗ к «реальным» значениям выходной переменной	Разработка для каждого входного измеряемого параметра шкалы, связывающей значения параметра с относительными числами ЛА

полнота знаний
об объекте

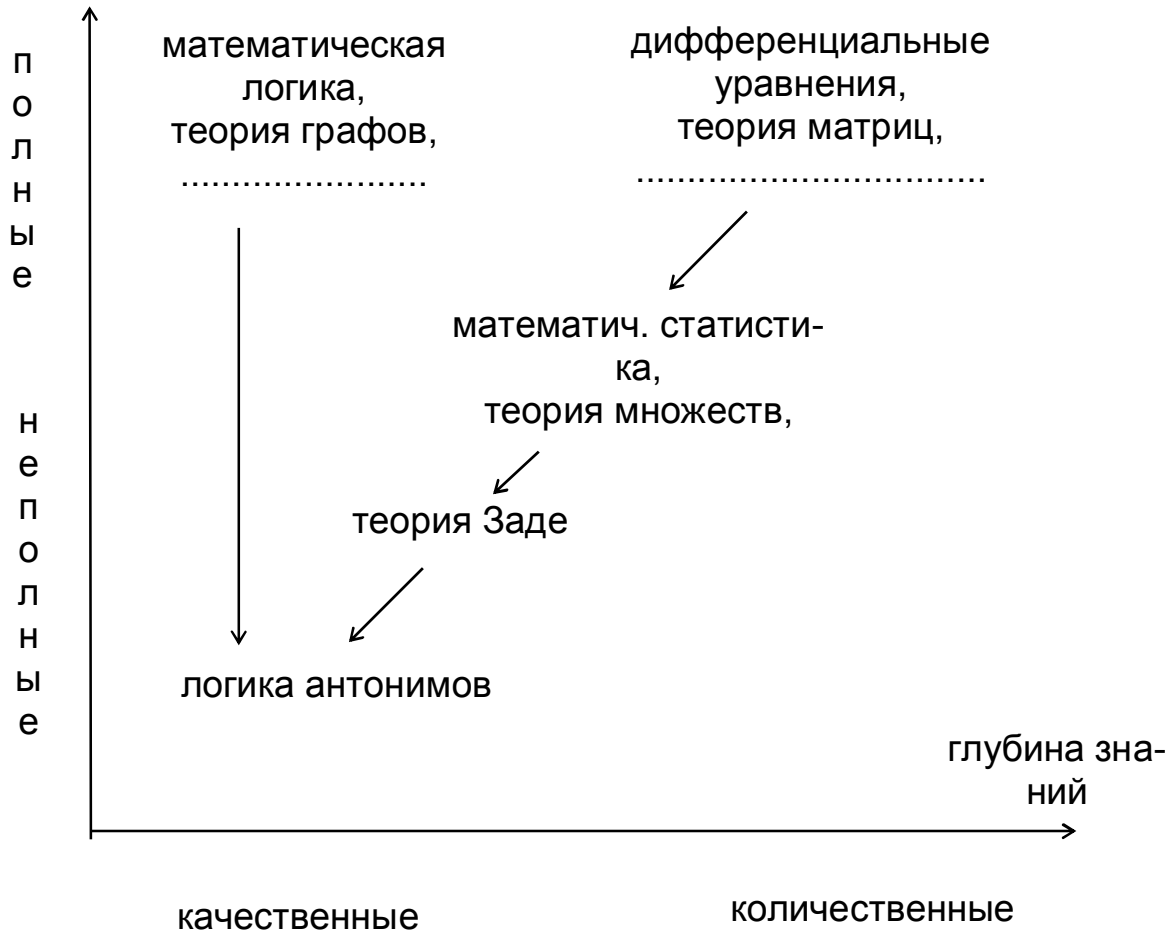


Рис.8.8. Области возможного применения средств математического моделирования

Очевидно, что рассматриваемые системы менеджмента качества полностью отвечают этим условиям. Поэтому в дальнейшем при рассмотрении математических моделей этих систем в необходимых случаях будем использовать аппарат логики антонимов.

8.6. Моделирование систем менеджмента качества с целью их оценивания

Рассматриваемый математический аппарат логики антонимов отличается исключительным удобством для его использования в целях моделирования. Он предполагает построение моделей различных процессов и объектов на основе

понимания, прежде всего, причинно-следственных связей между различными показателями, характеризующими либо объекты, либо процессы.

Графическое отображение связей упомянутых выше тесных γ и слабых связей β приведено на рисунке 8.9, там же приведено их математическое описание в соответствии с аксиоматикой логики антонимов. На рис. 8.10 и рис. 8.11 представлены более сложные варианты графических моделей, включающих в себя и весовые коэффициенты, которые могут быть поставлены в соответствие элементам моделируемой СМК.

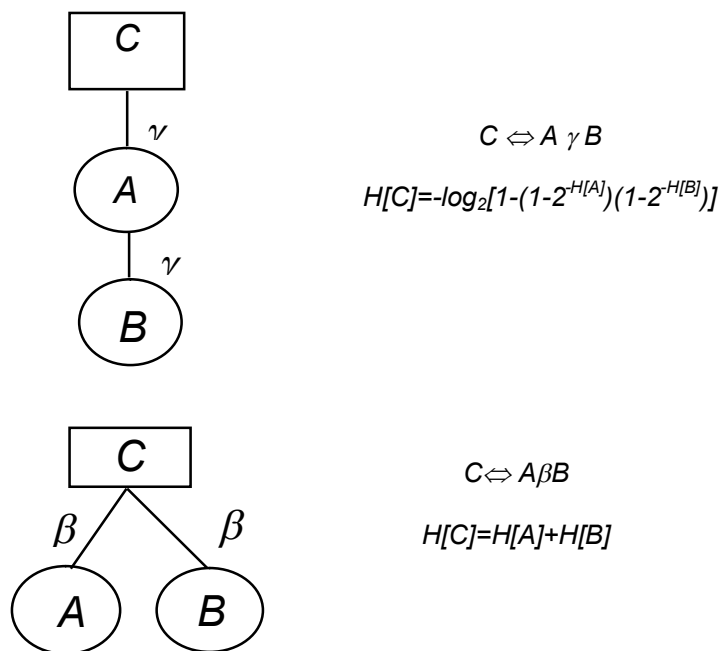
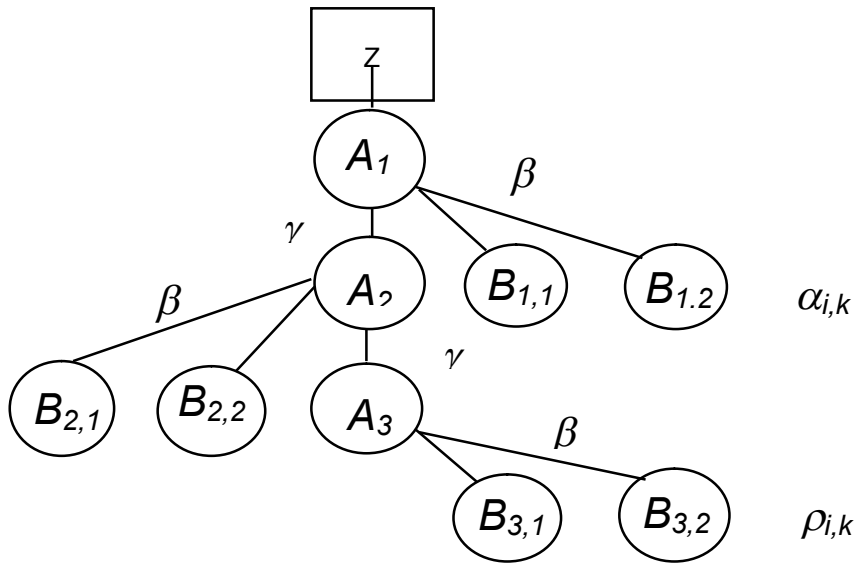


Рис.8.9. Построение графических моделей для простейших связей

Чтобы построить графическую модель СМК, необходимо определить ее поэлементный состав и виды взаимосвязей между элементами. Для этого необходимо произвести условное разделение объекта на составные части (не забывая при этом о системном подходе). СМК рассматривается как система, состоящая из ряда подсистем, которые в свою очередь состоят из модулей и т.д. Удобством предлагаемого метода моделирования является то, что вид модели конкретной СМК выбирается различным в зависимости от целей моделирования, от имеющихся исходных данных, от уровня качественного представления об объекте, от привычек и вкуса исследователя и т.д.. В частности, разбиение может быть по блокам, по свойствам и т.д.



$$H[Z] = -\log_2 [1 - (1 - 2^{-\rho^1 H[A1]}) (1 - 2^{-\rho^2 H[A2]}) (1 - 2^{-\rho^3 H[A3]})];$$

$$H[A_i] = \rho_{i,1} H[B^{i,1}] + \rho_{i,2} H[B_{i,2}]$$

Рис. 8.10. Графическая модель для последовательно-параллельного соединения элементов

Под элементом СМК понимается та ее часть, дальнейшее разбиение которой не представляется целесообразным.

Состояние каждого элемента СМК характеризуется численными показателями, которые могут быть получены по-разному. В частности, эти значения могут быть получены как результат измерений с помощью измерительных приборов, а также как результат экспертных оценок. Последнее обстоятельство делает предлагаемый подход к моделированию социо-технических систем особенно привлекательным.

Все полученные численные значения переводятся в относительные единицы (безразмерные). Это могут быть баллы, проценты, любые положительные числа, определённые по соответствующим шкалам.

Представленные в графической модели элементы, блоки, подблоки и т.д. связываются между собой с помощью соответствующих операторов β и γ либо “тесно”, либо “слабо”. Кроме того, возможно каждому из элементов графической модели поставить в соответствии свой индивидуальный весовой коэффициент ρ .

На рис. 8.12 представлен пример графической модели объекта, а в таблице 8.3 - пример базовой таблицы построения численных оценок элементов модели на основе сравнения с эталонными. Числа, проставляемые в таблицу, кроме столбца с конкретными значениями, могут быть выбраны с учётом понимания задачи, це-

лей, возможностей исследователя, объективных обстоятельств и субъективного отношения исследователя к ним.

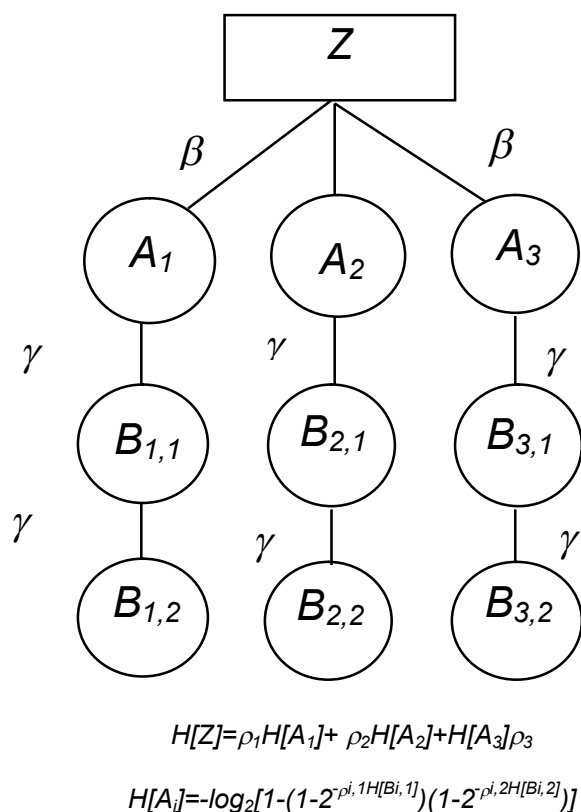


Рис.8.11. Построение графической модели для случая параллельно-последовательного соединения элементов

Таблица 8.3

Пример таблицы с заполненными численными показателями

Характеристика	Норма	Конкретное значение	Экспертная оценка
B_i	Число B_i или отрезок $[B_i, C_i]$	a_i	$H[B_i]$

Таким образом, сделав разбиение исходного объекта на составные части, вплоть до элементов, можно поставить в соответствие этому объекту графическое описание в виде дерева (рис. 8.12) и математическое описание в виде формулы, полученной на основе рассмотрения дерева. При этом любой объект может быть описан комбинацией из тех типов графических структур, которые были представлены ранее.

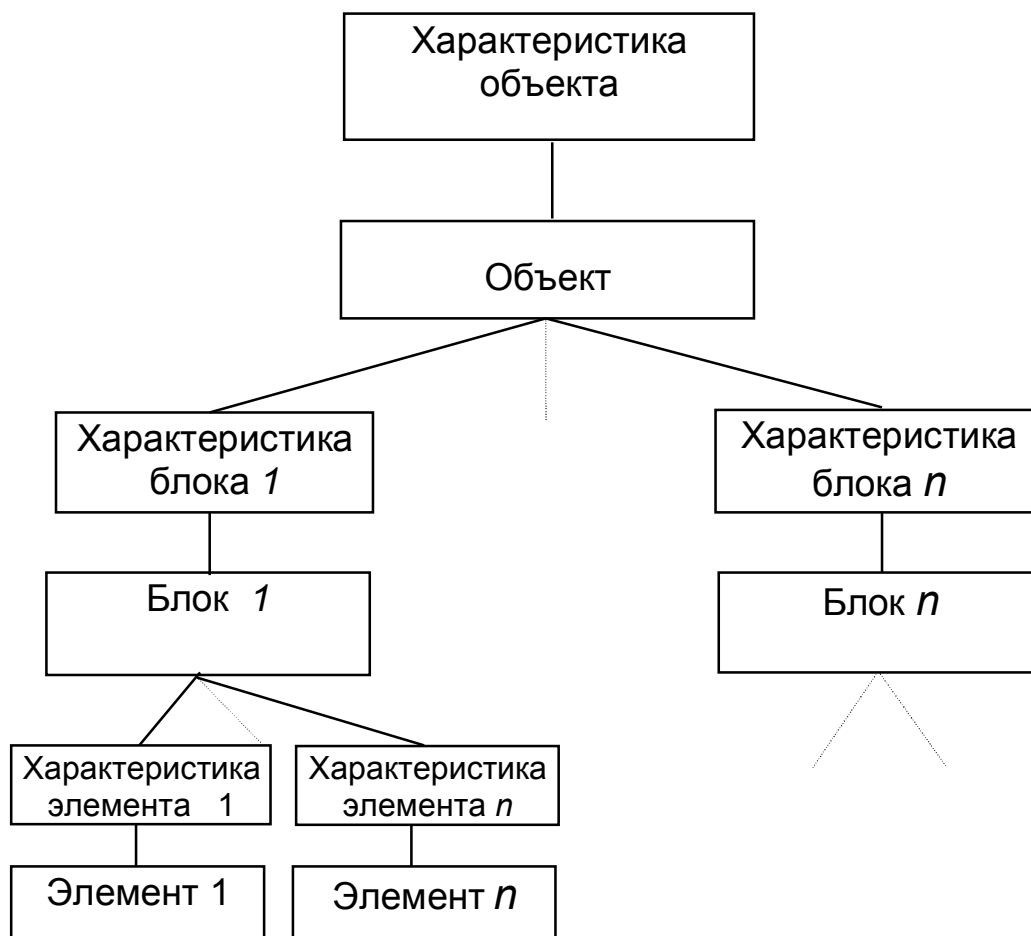


Рис. 8.12. Последовательность разбиения моделируемого объекта

В результате, руководствуясь изложенной методикой, возможно построить модель любой технической и социо-технической системы, любого объекта, в том числе и СМК.

В качестве инструментального средства моделирования инновационных объектов на базе логики антонимов в Центре наукоёмкого инжиниринга СПбГТУ был разработан специальный пакет программ GRAFUL, работающий в операционной оболочке Windows 3.1x и соответствующий требованиям стандартов MDI (Multiply Document Interface) и GUI (Graphical User Interface). Программы обеспечивают развитый графический интерфейс для ввода и редактирования направленного графа, составляемого с применением математического аппарата логики антонимов. Программа обладает следующими возможностями:

- * ввод и редактирование параметров и структуры графа с помощью “мыши” и клавиатуры;
- * выбор команд посредством меню и панели инструментов;
- * одновременная работа более, чем с одним графом;

- * сохранение информации о графе в файле на жёстком диске с последующим восстановлением;
- * сохранение на диске информации о графе в текстовом (табличном) виде;
- * предварительный просмотр и печать графа на принтере;
- * проверка правильности логической организации графа (контроль контуров);
- * расчёт характеристик всех узлов графа в соответствии с формулами из аксиоматики логики антонимов;
- * импорт одного графа другим.

Пользователь программы GRAFUL может добавлять узлы и связи графа, выбирать узлы и/или связи для операций редактирования (удаления, переноса) или для задания/модификации параметров узлов и связей. Узлы графа отображаются в виде кружков разного цвета (в зависимости от их параметров), связи отображаются линиями, соединяющими два узла. Для обозначения узла-источника применяются полуокружности в начале связи. Характер связи задаётся на графе толщиной линии: тесная связь - толстой, а слабая - тонкой линией.

Пользователь может выбирать любые пункты меню или кнопки на панели управления. В нижней части главного окна программы находится статусная строка, в которой даются краткие указания по действиям пользователя в некоторых режимах. Для того чтобы осуществить какие-либо действия по редактированию графа (удаление, перемещение), нужно выделить объект, над которым необходимо выполнить действие. Информация о графе сохраняется в файле с расширением GUL.

Глава 9. УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ ДЕТАЛЕЙ КЛАССА «ВАЛ» ЧЕРЕЗ СИСТЕМУ СТАНДАРТОВ ОРГАНИЗАЦИИ

В условиях рыночной экономики в машиностроении на первый план вышли вопросы качества изделий. Опыт плановой экономики показал не состоятельность жесткой государственной регламентации и стандартизации. Однако полный отказ от государственных стандартов не дает желаемых результатов.

Рассматривая вопрос стандартизации в машиностроении с современных позиций формализации, позволяющей разрабатывать системы САПР, можно выделить три уровня стандартизации:

1. Применение стандартов ИСО и государственных стандартов как массива накопленного опыта достижений науки и производства;
2. Отраслевой уровень стандартизации;
3. Производственная стандартизация;

На стадии разработки промышленного образца, формирования ОКР (опытно-конструкторских работ), первый уровень вполне способен обеспечить системы САПР при формировании массива базы исходных данных.

При этом необходимо отметить, что **первый уровень** требует постоянных фундаментальных научных и экспериментальных исследований, что позволит ему отражать последние достижения науки и производства. По своему назначению эти исследования требуют общегосударственного финансирования и государственной поддержки.

Второй уровень стандартизации по своей природе отличен от первого. Стандарты второго уровня должны взаимно учитывать потребности производителя и потребителя.

Эти стандарты формируются на основе [17, 18]:

ФСА - функционально-стоимостного анализа – включающий анализ технологии разработки и продуктов, позволяющий снизить их себестоимость при выравнивании соотношения «важность - стоимость» элементов продукции.

ФФА - функционально-физического анализа – технологии разработки и анализа технических систем, позволяющих проектировать изделия, реализующие их эффективные принципы действия.

ФМЕА - анализ причин и последствий дефектов для потребителей – метод анализа изделий, позволяющий выявить элементы конструкции, содержащие повышенные потенциальные риски для потребителя и производителя.

QFD (развертывание функций качества) - технологии разработки и подготовки производства изделий, позволяющие эффективно преобразовывать запросы потребителя в технические требования. Использует в виде последовательно перестраиваемых в таблицы баз данных для всех стадий разработки и подготовки производства изделий.

Такой подход формирования отраслевых стандартов [17] используется в большинстве развитых стран, как средство конкурентной борьбы и особенно эффективен при использовании CALS-технологий.

Третий уровень стандартизации представляет собой систему формализованных правил и приемов, применяемых при производстве. Как правило, это НОУ-ХАУ.

При построении САПР **первый уровень** должен обеспечить общность терминологии и стандартизацию основных понятий. Для изделий машиностроения к ним можно отнести [20, 26, 27, 31 - 33]:

1.1. **Надежность** - свойство изделия сохранять со временем, в установленном диапазоне значений всех параметров, характеризующих способность выполнять заданные функции в оговоренных режимах и условиях применения, технического обслуживания, хранения и транспортирования. Надежность является комплексным свойством, которое может включать безотказность, долговечность, ремонтпригодность и сохраняемость или определенные сочетания этих свойств.

1.2. **Безотказность** - свойство изделия непрерывно сохранять работоспособное состояние в течение заданного времени.

1.3. **Долговечность** - свойство изделия сохранять работоспособное состояние до наступления предельного состояния при установленной системе технического обслуживания и ремонта.

1.4. **Ремонтпригодность** - свойство изделия, заключающееся в приспособленности к поддержанию и восстановлению работоспособного состояния путем технического обслуживания и ремонта.

1.5. **Сохраняемость** - свойство изделия сохранять в заданном диапазоне значения параметров, характеризующих способности объекта выполнять требуемые функции при хранении и транспортирования.

1.6. **Безопасность** - способность изделия выполнять функции и быть транспортируемой, устанавливаемой, регулируемой, обслуживаемой, демонтируемой и утилизируемой в условиях предназначенного использования, также, в течение заданного интервала времени, согласно руководству по эксплуатации не нанесения вреда здоровью (ГОСТ Р ИСО 12100-2007) [31].

1.7. **Эргономичность** - совокупность эргономических свойств системы "человек-машина" (ГОСТ 26387-84) [32].

1.8. **Виброустойчивость** - способность изделия работать в заданном диапазоне режимов без недопустимых колебаний (ГОСТ 24346-80) [33].

1.9. **Энергоемкость** (энергопотребление) - расход топлива (электричества), отнесённый к объёму работы изделием.

1.10. **Экономичность** - условие, предполагающее, что затраты на изготовление и эксплуатацию не могут быть больше, чем получаемый эффект от использования изделия.

1.11. **Рыночная стоимость** – это денежная сумма, за которую был бы произведён обмен изделия, на дату оценки между покупателем и продавцом в коммерческой сделке, в которой стороны действуют, будучи осведомлёнными, без принуждения.

1.12. **Прочность** - способность изделия сопротивляться разрушению, а также пластической деформации при действии внешних нагрузок.

1.13. **Стойкость** - свойство характеризующее способность изделия противостоять определенным воздействиям.

1.14. **Производительность и мощность** - количество продукции, которое может быть произведено за 1 час непрерывной работы при условии наиболее совершенной организации производственного процесса.

1.15. **Уникальность, оригинальность, новизна (НОУ ХАУ)** - техническая характеристика изделия, как предмет коммерческого оборота, относящегося к стоимости нематериальных активов.

1.16. **Управляемость** - свойство системы "человек-машина", обуславливающее ее приспособленность к управлению человеком.

1.17. **Обслуживаемость** - свойство системы "человек-машина", обуславливающее приспособленность ее технических средств к обслуживанию, ремонту и подготовке к применению человеком.

1.18. **Коммуникабельность** - совместимость (способность к встраиванию) в разнотипных технологических системах и передачи информации.

С позиций качества поверхностей деталей в настоящее время применяется система параметров, основанная на параметрическом подходе, на исторически сложившихся условиях разделения неровностей на шероховатость, волнистость, микрорельеф и макро-отклонения. Этот подход создает возможности наиболее доступной регламентации поверхностей. Результатом исследований в этом направлении явилось создание ГОСТ 2789-73 [34], 24773-81 [35], 2.308-79 [37].

Шероховатость по ГОСТ 2789-73, ГОСТ 24773-81, ГОСТ 24642-81 [36] (Рис. 9.1):

Рис. 9.1. Профиль шероховатости поверхности [22]

R_a – среднее арифметическое отклонение профиля;

R_p – расстояние от линии выступов до средней линии;

R_{max} – наибольшая высота неровностей профиля;

R_z – высота неровностей профиля по десяти точкам;

t_m – относительная опорная площадь неровностей на уровне средней линии;

S_m – средний шаг неровностей;

S – средний шаг неровностей по вершинам локальных выступов.

Однако, параметры и порядок регламентации поверхности, устанавливаемые ГОСТами, несовершенны и имеют ряд недостатков:

1. Не регламентируются параметры волнистости.
2. В стандартах не отражен характер макро-отклонений.

Макроотклонения:

H_{\max} – максимальная высота макроотклонения;

H_p – высота сглаживания макроотклонения, характеризующая металлоемкость поверхности.

Волнистость:

W_a – среднеарифметическое отклонение профиля волнистости;

W_p – высота сглаживания профиля волнистости;

W_z – высота волнистости по десяти точкам;

S_{mw} – средний шаг волнистости;

t_{mw} – относительная опорная площадь волнистости на уровне средней линии.

Физико-механические свойства:

$H_{\mu 0}$ – поверхностная микротвердость;

$\sigma_{ост}$ – величина остаточных напряжений на поверхности;

$h_{H\mu}$ – глубина залегания упрочненного слоя;

$h_{\sigma 0}$ – глубина залегания остаточных напряжений поверхности.

E – степень деформации поверхностного слоя;

σ_B – предел прочности материала детали;

σ_T – предел текучести материала детали;

$HВ$ – твердость поверхности (материала);

Помимо шероховатости, состояние поверхностей, регламентируется точностными показателями, такими как (по ГОСТ 24642-83) [26, 27, 36]:

Прилегающая окружность - окружность минимального диаметра, описанная вокруг реального профиля наружной поверхности вращения, или максимального диаметра, вписанная в реальный профиль внутренней поверхности вращения.

Прилегающий профиль продольного сечения цилиндрической поверхности - две параллельные прямые, соприкасающиеся с реальным профилем и расположенные вне материала так, чтобы наибольшее отклонение точек образующей реального профиля от соответствующей стороны прилегающего профиля имело минимальное значение.

Реальная ось - геометрическое место центров сечения поверхности вращения, перпендикулярных оси прилегающей поверхности; за центр сечения принимается центр прилегающей окружности - геометрическое место центров сечений поверхности вращения, перпендикулярных

Отклонением формы называется **отклонение формы реальной** поверхности или реального профиля от формы номинальной поверхности или номи-

нального профиля. Такой показатель качества, как шероховатость поверхности, не включается в отклонение. А волнистость включается в отклонение формы.

Отклонение от прямолинейности в плоскости - наибольшее расстояние от точек реального профиля до прилегающей прямой в пределах нормируемого участка.

Частными видами отклонения от прямолинейности являются выпуклость и вогнутость (см. табл. 9.1).

Таблица 9.1

Частные виды отклонения от прямолинейности

Выпуклость	Вогнутость
Отклонение от прямолинейности, при котором удаление точек реального профиля от прилегающей прямой уменьшается от краев к середине	Отклонение от прямолинейности, при котором удаление точек реального профиля от прилегающей прямой увеличивается от краев к середине

Отклонение от круглости — геометрическая величина, численно равная наибольшему расстоянию от точек реального профиля до прилегающей окружности. Ранее использовался термин **некруглость**.

Частными видами отклонений от круглости являются **овальность** и **огранка** (см. табл. 9.2).

Таблица 9.2

Частные виды отклонений от круглости

Овальность	Огранка
Отклонение от круглости, при котором реальный профиль представляет собой овалообразную фигуру, наибольший и наименьший диаметры которой находятся во взаимно перпендикулярных направлениях. Ранее использовался термин эллипсность	Отклонение от круглости, при котором реальный профиль представляет собой многогранную фигуру. Огранка подразделяется по числу граней. В частности, огранка, с нечетным числом граней, характеризуется тем, что диаметры профиля поперечного сечения во всех направлениях одинаковы

Отклонение профиля продольного сечения цилиндрической поверхности - наибольшее расстояние от точек образующей реальной поверхности, лежащих в плоскости, проходящей через ее ось, до соответствующей стороны прилегающего профиля в пределах нормируемого участка.

Отклонение профиля продольного сечения характеризует отклонение от прямолинейности и параллельности образующих. Частными видами отклонения профиля продольного сечения являются конусообразность, бочкообразность и седлообразность (см. табл. 9.3).

Таблица 9.3

Частные виды отклонения профиля продольного сечения

Конусообразность	Бочкообразность	Седлообразность
Отклонение профиля продольного сечения, при котором образующие прямолинейны, но не параллельны	Отклонение профиля продольного сечения, при котором образующие непрямолинейны и диаметры увеличиваются от краев к середине сечения	Отклонение профиля продольного сечения, при котором образующие непрямолинейны и диаметры уменьшаются от краев к середине сечения

Количественно конусообразность, бочкообразность и седлообразность оцениваются так же, как и отклонение профиля продольного сечения.

Отклонение от соосности относительно оси базовой поверхности - наибольшее расстояние между осью рассматриваемой поверхности вращения и осью базовой поверхности на длине нормируемого участка.

Позиционное отклонение - наибольшее расстояние между реальным расположением элемента (его центра, оси или плоскости симметрии) и его номинальным расположением в пределах нормируемого участка.

Отклонение от пересечения осей - наименьшее расстояние между осями, номинально пересекающимися.

Радиальное биение - разность наибольшего и наименьшего расстояний от точек реального профиля поверхности вращения до базовой оси в сечении плоскостью, перпендикулярной базовой оси

Радиальное биение является результатом совместного проявления отклонения от круглости профиля рассматриваемого сечения и отклонения его центра относительно базовой оси. Оно не включает в себя отклонений формы и расположения образующей поверхности вращения.

Торцовое биение - разность наибольшего и наименьшего расстояний от точек реального профиля торцовой поверхности до плоскости, перпендикулярной базовой оси

Торцовое биение определяется в сечении торцовой поверхности цилиндром заданного диаметра, соосным с базовой осью, а если диаметр не задан, то в сечении любого (в том числе и наибольшего) диаметра торцовой поверхности.

При номинальной плоской форме торца торцовое биение является результатом совместного проявления отклонения от общей плоскости точек, лежащих на линии пересечения торцовой поверхности с секущим цилиндром, и отклоне-

ния от перпендикулярности торца относительно оси базовой поверхности на длине, равно диаметру рассматриваемого сечения. Торцовое биение не включает в себя всего отклонения от плоскостности рассматриваемой поверхности.

Полное радиальное биение - разность наибольшего и наименьшего расстояний от всех точек реальной поверхности в пределах нормируемого участка до базовой оси

Полное радиальное биение является результатом совместного проявления отклонения от цилиндричности рассматриваемой поверхности и отклонения от ее соосности относительно базовой оси.

Полное торцовое биение - разность наибольшего и наименьшего расстояний от точек всей торцовой поверхности до плоскости, перпендикулярной базовой оси.

Полное торцовое биение является результатом совместного проявления отклонения от плоскостности рассматриваемой поверхности и отклонения от ее перпендикулярности относительно базовой оси.

Формализация общих и параметрических понятий с позиций первого уровня остается актуальной задачей фундаментальных научных исследований и организационных решений стандартизации.

Стандарты **второго** уровня должны взаимно учитывать потребности производителя и потребителя, и с этих позиций данные показатели решают задачи:

- предоставления потребителю объективных доказательств способности поставщика к производству товаров и услуг определенного уровня качества;
- конкурентоспособности;
- повышения обеспечения климата доверия;

Перечень свойств, характеризующих качество изделий для каждого изделия или определенной группы изделий, определяются условиями рынка. Задача отраслевой стандартизации сделать их понятными для производителя и потребителя, описать и формализовать эти свойства. В научных исследованиях [19] предлагается разделить их на три вида: эксплуатационные; экономические и производственно технические. В рамках ГОСТ 15467-79 [38] была сделана попытка введения формализованных показателей, некоторые из которых могут использоваться при создании базы данных анализа качества изделий. Задача отраслевой стандартизации разработать регламенты для различных видов изделий.

Производственно-технические (эксплуатационные характеристики) – это свойства, имеющие вполне определенно выраженную и эмпирически описанную характеристику и соответствующую ей единицу измерения.

Экономические - это свойства, имеющие формально выраженные экономические категории, оцениваемые в денежном выражении.

Эксплуатационные – это свойства, имеющие аналитические характеристики, оцениваемые на основе статистических и вероятностных данных исследования.

В условиях рынка весь набор свойств, влияет на вероятность успешного продвижения на потребительском рынке.

В рамках ГОСТ 15467-79 была сделана попытка введения формализованных показателей, некоторые из которых могут использоваться при создании базы данных анализа качества изделий. Задача отраслевой стандартизации заключается в разработке регламентов для различных видов изделий.

Степень влияния на рынке можно оценивать показателями весомости (см. табл. 9.4).

Таблица 9.4

Показатели весомости

Уровень	Производственно-технические	Экономические (Ценовые)	Эксплуатационные	Общий весовой показатель	Интегральный весовой показатель
Изделие	$K_{пи}$	$K_{ци}$	$K_{эи}$	$K_{ои}=K_{пи}+K_{ци}+K_{эи}=1$	$K_{ии}=1$
Узел	$K_{пу}=C_{пу} * K_{пи}$	$K_{цу}=C_{цу} * K_{ци}$	$K_{эу}=C_{эу} * K_{эи}$	$K_{оу}=K_{пу}+K_{цу}+K_{эу}$	$K_{иу}=C_{у}$
Деталь	$K_{пд}=C_{пд} * K_{пу}$	$K_{цд}=C_{цд} * K_{цу}$	$K_{эд}=C_{эд} * K_{эу}$	$K_{од}=K_{пд}+K_{цд}+K_{эд}$	$K_{ид}=C_{д} * C_{у}$
Поверхность	$K_{пп}=C_{пп} * K_{пд}$	$K_{цп}=C_{эп} * K_{цд}$	$K_{эп}=C_{эп} * K_{эд}$	$K_{оп}=K_{пп}+K_{цп}+K_{эп}$	$K_{ип}=C_{п} * C_{д} * C_{у}$

$K_{пи}$; $K_{ци}$; $K_{эи}$ – коэффициенты весомости производственно-технических, экономических и эксплуатационных показателей качества изделия.

$K_{пу}$; $K_{цу}$; $K_{эу}$ - коэффициенты весомости производственно-технических, экономических и эксплуатационных показателей качества узлов.

$K_{пд}$; $K_{цд}$; $K_{эд}$ - коэффициенты весомости производственно-технических, экономических и эксплуатационных показателей качества деталей.

$K_{пп}$; $K_{цп}$; $K_{эп}$ - коэффициенты весомости производственно-технических, экономических и эксплуатационных показателей качества поверхностей.

$C_{пу}$; $C_{цу}$; $C_{эу}$ - коэффициенты весомости производственно-технических, экономических и эксплуатационных показателей качества узла в структуре изделия.

$C_{пд}$; $C_{цд}$; $C^{эд}$ - коэффициенты весомости производственно-технических, экономических и эксплуатационных показателей качества деталей в структуре узла.

$C_{пп}$; $C_{цп}$; $C_{эп}$ - коэффициенты весомости производственно-технических, экономических и эксплуатационных показателей качества поверхности в структуре детали.

$$C_{у} = C_{пу} + C_{цу} + C_{эу} \quad (9.1);$$

$$C_{д} = C_{пд} + C_{цд} + C_{эд} \quad (9.2);$$

$$C_{п} = C_{пп} + C_{цп} + C_{эп} \quad (9.3);$$

Показатели качества являются характеристиками изделия в целом как продукта потребления и обеспечиваются системой конкретных свойств деталей и узлов изделия. Для поверхностей деталей типа вал [20] это: контактная жесткость, коэффициент трения, износостойкость, герметичность соединений, прочность посадок, прочность деталей, усталостная прочность, коррозионная стойкость, контактная теплопроводность, термостойкость, сопротивление (электропроводность), взрывонепроницаемость и взрывоустойчивость, виброактивность, магнитная проницаемость, сцепляемость контакта, обтекаемость, фретигостойкость, прижогостойкость, прирабатываемость.

Для количественной оценки свойств деталей и контактирующих поверхностей применяют следующие показатели:

Производственно-технические (эксплуатационные характеристики) [23, 24, 25, 39 - 43]:

Контактная жесткость – способность поверхностных слоев деталей, находящихся в контакте, сопротивляться действию сил, стремящихся их сдеформировать [25]. Определяется коэффициентом $j = p/u$. В настоящее время разработан стандарт, см. [23].

Износостойкость (ДСТУ 2823 – 94 [39]) – это свойство материала оказывать сопротивление изнашиванию в определённых условиях трения, оцениваемое величиной, обратной скорости изнашивания или интенсивности изнашивания определяется показателем интенсивности износа **I**, который характеризует способность поверхностных слоев сопротивляться разрушению при трении [23, 24].

Герметичность соединений - это свойство соединений обеспечивать настолько малую утечку, чтобы ею можно было пренебречь в рабочих условиях. Достигнуть герметичности разъемных и подвижных соединений чрезвычайно трудно, поскольку любое взаимное перемещение контактирующих деталей создает предпосылки для переноса сред в микронеровностях сопряженных поверхностей (РД 26-15-88 [40]) [23, 24].

Коэффициент трения - свойство сопротивлению силы необходимой для скольжения или движения одного материала по поверхности другого.

Прочность посадок цилиндрических соединений - контактное давление на всех элементарных участках поверхности контакта соединения.

Прочность цилиндрических деталей - способность детали сопротивляться разрушению или необратимому изменению формы (деформации) (в данном случае деталей типа вал).

Цикловая прочность - способность материала детали сохранять прочность при периодическом возникновении в нем напряжений.

Виброактивность - свойство машины производить вибрацию во время работы. Информацию о вибрационной характеристике машины или виброизолирующего изделия представляют в эксплуатационных документах.

Усталостная прочность - свойство материала не разрушаться с течением времени под действием изменяющихся рабочих нагрузок.

В большинстве случаев это циклические нагрузки. Разрушение происходит из-за появления микроразрушений, их накопления, затем объединения в одно макроразрушение. Накопление микрповреждений образно называют «усталостью», а усталостная прочность тогда есть способность материала не «уставать» и держать нагрузку. Микротрещины растут (в их зоне возникают Концентрирующие напряжения), что характеризуется коэффициентом усталостной прочности, который показывает стойкость деталей сопротивляться разрушению при действии знакопеременных нагрузок (Р50-83-88) для валов и осей [41].

Коррозионная стойкость - способность металла сопротивляться коррозионному воздействию среды, характеризует показатель проницаемости **П_{кор}**, который показывает способность поверхностных слоев сопротивляться разру-

шающему действию внешней среды (ГОСТ 5272-68) [23, 42].

Прочность сцепления покрытий - максимальное растяжение, которое выдерживает материал покрытия до начала разрушения. Прочность сцепления гальванических покрытий зависит от тщательности механической и химической подготовки поверхности, состава электролита и режима электролиза. На прочность сцепления оказывают влияние дефекты субмикроструктуры переходного слоя, определяется величиной осевой силы сцепления \bar{f} , при действии которой происходит сдвиг слоя покрытия с основного материала.

Эластичность – определение доли эластической (полностью обратимой) деформации в предельной деформации образца, т.е. способность материала после растяжения возвращаться в первоначальные линейные размеры (ГОСТ Р 52056-2003) [43].

Контактная теплопроводность - способность контакта передавать тепло от одной своей части к другой в силу теплового движения молекул. Передача тепла осуществляется кондукцией (путем контакта частиц материала), конвекцией (движением воздуха или другого газа в контактной зоне).

Термостойкость (теплостойкость) — способность материала выдерживать термические напряжения не разрушаясь (способность материала сохранять свои эксплуатационные свойства при повышении температуры) и определяется максимальной температурой применения материала.

Взрывонепроницаемость и взрывоустойчивость - предотвращение распространения взрыва из оболочки в окружающую среду и способность оболочки выдержать давление взрыва. Характеризуются предельными величинами ширины и длины щели.

Магнитная проницаемость — физическая величина, характеризующая связь между магнитной индукцией B и напряжённостью магнитного поля H в веществе.

Проводимость и сопротивление: Любой проводник можно характеризовать его сопротивлением и проводимостью — способностью проводить электрический ток. Проводимость - это величина, обратная сопротивлению. Единица проводимости называется сименсом (См) - 1 См равен 1/1 Ом. Она обозначают буквой G . Т.е.:

$$G = 1 / R \quad (9.4)$$

Трибологическая совместимость - свойство материала обеспечивать оптимальные трибологические характеристики в данной системе трения (ГОСТ ИСО 4378-1-2001) [44].

Прилегаемость - свойство поверхности обеспечивать приемлемые условия прилегания к сопряженной поверхности в результате упругого и пластического деформирования (ГОСТ ИСО 4378-1-2001) [44].

Прирабатываемость - свойство поверхности обеспечивать приемлемо малую силу трения, высокую износостойкость и стойкость к заеданию после начальной приработки к заданному материалу при применении заданного смазочного материала (ГОСТ ИСО 4378-1-2001) [44].

Способность к поглощению - свойство материала к поглощению твердых частиц (ГОСТ ИСО 4378-1-2001) [44].

Сцепляемость - свойство контактирующих поверхностей образовывать приемлемо прочные соединения (ГОСТ ИСО 4378-1-2001) [44].

Несущая способность – способность поверхности сопротивляться упругим и пластическим деформациям, а так же разрушению [23].

Производственно технические характеристики взаимосвязаны с параметрами стандартов первого уровня (см. табл. 9.5).

В системах САПР эту роль выполняют таблицы соответствия и приведения.

Стандарты второго уровня призваны обеспечить формирование массивов таблиц. Осесимметричные валы имеют широкое применение в турбокомпрессорах, погружных насосах, взрывозащищенных электродвигателях станкостроения и т.д.

Таблица 9.5

Влияние эксплуатационных характеристик деталей и соединений на показатели качества изделий [22, 23]

Эксплуатационные характеристики	Рабочая температура	Безотказность	Долговечность	Категория защиты	Коэффициент инерции	Виброустойчивость	Мощность	Режим влажности
Контактная жесткость	-	+	+	-	-	+	-	-
Износостойкость	+	+	+	+	+	+	+	-
Герметичность соединений	-	+	+	+	-	-	-	-
Коэффициент трения f_p	+	+	+	-	+	+	+	-
Прочность посадок цилиндрических соединений	-	+	+	-	-	+	-	+
Прочность цилиндрических деталей	-	+	+	-	-	+	+	-
Цикловая прочность	-	+	+	-	-	+	+	-
Усталостная прочность	-	+	+	-	-	+	-	-
Коррозионная стойкость	-	+	+	-	-	-	-	+
Прочность сцепления покрытий	-	+	+	+	-	-	-	+
Эластичность	-	-	+	-	-	+	-	-
Контактная теплопроводность	+	-	+	-	-	-	-	-
Взрывонепроницаемость	-	+	+	*	-	-	-	+
Проводимость	+	+	+	-	-	-	+	+
Трибологическая совместимость	+	+	+	-	+	+	+	-
Прилегаемость	-	-	+	+	-	-	-	-
Термостойкость	+	+	+	+	-	-	-	-
Виброактивность	-	+	+	-	-	+	+	-
Магнитная проникаемость	-	-	+	+	+	+	+	-
Прирабатываемость	+	-	+	+	-	-	-	-
Сцепляемость	-	+	-	-	-	-	-	-
Способность к поглощению	+	-	-	-	-	-	-	-

Таблица 9.5. Продолжение

Эксплуатационные характеристики	Прочность	Длина контакта	Производительность	Материалоемкость	Стойкость	Габариты
Контактная жесткость	+	+	-	-	+	-
Износостойкость	+	-	+	-	+	-
Герметичность соединений	-	+	-	-	-	+
Коэффициент трения $f_{тр}$	+	-	+	-	+	+
Прочность посадок цилиндрических соединений	+	+	-	-	+	-
Прочность цилиндрических деталей	+	-	+	+	+	+
Цикловая прочность	+	-	+	-	+	-
Усталостная прочность	+	-	+	-	+	-
Коррозионная стойкость	-	-	-	-	+	-
Прочность сцепления покрытий	-	-	-	-	+	-
Эластичность	+	-	-	-	+	-
Контактная теплопроводность	-	-	-	-	+	-
Взрывонеопасность	-	*	-	+	-	+
Проводимость	-	+	-	-	-	-
Трибологическая совместимость	-	+	-	-	+	-
Прилегаемость	-	+	-	-	-	-
Термостойкость	-	-	-	-	+	-
Виброактивность	+	-	+	+	+	+
Магнитная проницаемость	-	-	-	-	-	-
Прирабатываемость	-	-	-	-	-	-
Сцепляемость	+	+	-	-	-	-
Способность к поглощению	-	-	-	-	+	-

Решение задач стандартизации второго уровня дают возможность формализовать данные о конструкции изделия и занимают значительную часть в общем объеме информации, используемой в ходе его жизненного цикла. На основе этих данных решается ряд задач производства изделия, материально-технического снабжения, сбыта, эксплуатации.

Стандарты третьего уровня - это стандарты организации, позволяющие техническими, организационными и др. методами достичь качества технологических регламентов, разработанных и принятых при выработке стандартов второго уровня – это производственная стандартизация.

В САПР это реализуется в системе ERP [17, 18] - организация производства, материально-технического снабжения и стандартизации основных информационных технологий управления предприятием, разработки продукции, информационного обмена организации труда, обеспечения системы качества.

Технологическая среда машиностроительного предприятия при использовании САПР включает в себя:

- модели для инженерных расчетов, конструирования и автоматизированного проектирования изделий.
- модели технологической последовательности обработки деталей, модели построения обрабатываемых поверхностей и генерация программ ЧПУ.
- модели для оптимального планирования на основе технологической среды разработки - CAD/CAE/CAM/PDM, ФСА, ФФА, FMEA, QDM.

Модели для инженерных расчетов строятся на основе таблиц влияния физико-механических свойств, размеров и точности, макроотклонений и шероховатости на производственно технические характеристики валов (см. табл. 9.6 – 9.10).

Таблица 9.6

Влияние свойств материала и физико-механических свойств поверхностного слоя на эксплуатационные характеристики валов [22, 23].

Эксплуатационные характеристики	σ_b	σ_T	E	НВ	$\sigma_{ост}$	h_{σ}	H_{μ}	h_{μ}	ϵ
Контактная жесткость	+	+	+	+	*	-	*	-	*
Износостойкость	+	+	+	+	*	-	*	-	*
Герметичность соединений	-	+	*	+	+	-	+	-	-
Коэффициент трения $f_{тр}$	+	+	+	+	+	-	*	-	+
Прочность посадок цилиндрических соединений	-	+	*	+	+	-	+	-	-
Прочность цилиндрических деталей	*	+	+	+	+	+	*	+	+
Цикловая прочность	+	+	*	-	+	-	-	-	+
Усталостная прочность	+	+	*	+	+	+	*	+	*
Коррозионная стойкость	-	-	-	-	*	+	+	+	*
Прочность сцепления покрытий	-	-	-	-	-	+	-	+	*
Эластичность	-	+	*	-	-	-	-	-	+
Контактная теплопроводность	-	+	-	-	-	+	-	*	+
Взрывонеpronицаемость	-	+	*	-	-	-	-	-	-
Проводимость	-	-	-	-	-	+	-	+	*
Трибологическая совместимость	+	+	+	+	+	-	-	-	-
Прилегаемость	-	+	*	-	+	-	-	-	-
Термостойкость	-	+	+	+	+	-	+	-	*
Виброактивность	+	+	*	-	-	-	-	-	-
Магнитная проницаемость	-	-	-	-	-	+	-	+	*
Прирабатываемость	+	+	+	+	+	*	+	+	+
Сцепляемость	*	+	-	+	+	-	-	-	-
Способность к поглощению	-	+	-	-	+	-	-	-	*

Таблица 9.7

Влияние размеров и точности на производственно технические характеристики валов [22, 23]

Эксплуатационные характеристики	L (длина)	Ф (диаметр)	Линейное отклонение размера	Отклонение профиля продольного сечения	Отклонение от круглости	Отклонение от прямолинейности	Отклонение от соосности	Позиционное отклонение	Радиальное биение	Торцовое биение
Контактная жесткость	+	+	+	+	+	+	-	-	-	-
Износостойкость	+	+	+	*	+	*	+	+	+	-
Герметичность соединений	+	+	*	*	*	+	-	-	-	-
Коэффициент трения $f_{тр}$	-	-	-	-	+	*	-	-	-	-
Прочность посадок цилиндрических соединений	+	+	*	*	+	+	-	-	-	-
Прочность цилиндрических деталей	+	*	-	-	-	-	-	-	-	-
Цикловая прочность	+	+	-	+	-	+	+	-	*	+
Усталостная прочность	*	*	-	-	-	-	+	+	+	+
Коррозионная стойкость	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Прочность сцепления покрытий	+	*	-	-	-	-	-	-	-	-
Эластичность	*	+	-	-	-	+	-	-	-	-
Контактная теплопроводность	+	*	-	-	-	-	-	-	-	-
Взрывонепроницаемость	+	+	*	+	+	+	-	-	-	-
Проводимость	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-
Трибологическая совместимость	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Прилегаемость	+	+	+	*	*	+	-	-	-	-
Термостойкость	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Виброактивность	+	+	+	+	+	+	+	+	*	+
Магнитная проницаемость	-	-	-	*	+	-	-	-	-	-
Прирабатываемость	-	-	+	+	*	*	-	-	-	-
Сцепляемость	-	-	+	*	*	+	-	-	-	-
Способность к поглощению	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Влияние макроотклонений на производственно технические характеристики валов [22, 23]

Эксплуатационные характеристики	W_z	W_p	W_a	W_{max}	S_w	t_{pw}	H_{max}	H_p	Компл. парм.
Контактная жесткость	+	*	+	+	+	+	+	+	П
Износостойкость	+	*	+	+	+	*	+	+	И
Герметичность соединений	+	+	-	*	*	+	+	+	K_x
Коэффициент трения $f_{тр}$	+	*	-	-	+	+	+	+	$f_{тр}$
Прочность посадок цилиндрических соединений	+	+	+	+	+	*	+	+	C_m
Прочность цилиндрических деталей	-	-	-	*	+	-	-	-	-
Цикловая прочность	+	-	-	*	+	-	*	+	Д
Усталостная прочность	-	-	-	*	+	-	-	-	C_y
Коррозионная стойкость	*	+	-	-	-	-	-	-	F
Прочность сцепления покрытий	+	-	-	*	-	-	-	-	i
Эластичность	-	+	-	-	+	*	-	-	-
Контактная теплопроводность	+	+	-	-	*	-	+	+	-
Взрывонепроницаемость	+	-	-	+	+	-	*	+	K_x
Проводимость	+	+	-	-	*	-	+	+	-
Трибологическая совместимость	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Прилегаемость	+	+	-	*	*	+	+	+	Δ
Термостойкость	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Виброактивность	-	-	-	*	+	+	*	+	-
Магнитная проницаемость	-	-	-	-	+	*	-	+	-
Прирабатываемость	+	*	+	+	+	*	+	+	C_x
Сцепляемость	+	+	+	+	+	*	+	+	C_m
Способность к поглощению	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Влияние параметров шероховатости на производственно технические характеристики валов [22, 23]

Эксплуатационные характеристики	R _z	R _p	R _a	R _{max}	S _m	S	t _p	R _z	S _m
Контактная жесткость	+	*	+	+	+	+	*	-	-
Износостойкость	+	*	+	+	+	+	*	+	+
Герметичность соединений	+	+	+	*	+	*	+	+	-
Коэффициент трения f _{тр}	+	*	+	+	+	+	*	+	+
Прочность посадок цилиндрических соединений	+	*	+	+	+	-	*	+	-
Прочность цилиндрических деталей	+	*	+	+	*	-	+	-	-
Цикловая прочность	+	-	-	*	+	-	+	-	-
Усталостная прочность	+	+	+	*	*	+	+	-	-
Коррозионная стойкость	+	+	+	*	*	+	+	*	*
Прочность сцепления покрытий	+	+	+	*	*	+	+	*	*
Эластичность	+	-	-	*	+	-	+	-	-
Контактная теплопроводность	*	+	+	*	+	+	*	+	+
Взрывонепроницаемость	+	+	+	*	+	*	+	-	-
Проводимость	+	+	+	+	+	+	*	+	+
Трибологическая совместимость	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Прилегаемость	+	+	+	*	+	*	+	+	-
Термостойкость	+	+	+	*	+	+	-	+	-
Виброактивность	+	-	-	*	-	+	-	+	-
Магнитная проницаемость	-	-	-	-	-	+	*	-	-
Прирабатываемость	+	*	+	+	+	+	*	+	+
Сцепляемость	+	*	+	+	+	-	*	+	-
Способность к поглощению	-	-	+	-	-	-	+	*	*

«*» - параметры, оказывающее доминирующее влияние на данную техническую характеристику из группы приводимых параметров.

«+» - параметры, оказывающие влияние на технические характеристики.

«-» - параметры, не влияющие на данную техническую характеристику либо его влияние не изучено.

Из таблиц влияния различных параметров регламентации на внутри-заводском уровне видно, что влияние на качество оказывают различные по своему назначению параметры. Модели технологической последовательности обработки деталей, модели построения обработки поверхностей и генерация программ ЧПУ требует применения формализованных решений.

Применение ГОСТ 2789-73 [34] не решает проблемы обеспечения эксплуатационных характеристик поверхностного слоя деталей, т.к. его состояние характеризуется геометрическими, физико-механическими параметрами, многие из которых не охватывает стандарт.

Эксплуатационный показатель узла трения представляется в виде [23]:

$$I = \Phi(Q_1; Q_2; Q_3 \dots Q_n) \quad (9.5)$$

Комплексные параметры поверхностей контактирующих деталей:

$$Q_1 = f(MO_1, B_1, Ш_1, У_1, Н_1, \Phi C_1, \Phi X C_1) \quad (9.6)$$

$$\dots \dots \dots$$
$$Q_i = f(MO_i, B_i, Ш_i, У_i, Н_i, \Phi C_i, \Phi X C_i) \quad (9.7)$$

Где, $MO_i, B_i, Ш_i, У_i, Н_i, \Phi C_i, \Phi X C_i$ – показатели макроотклонений, волнистости, шероховатости, упрочнения, напряженности, физического и физико-химического состояния контактирующих поверхностей соответственно;

Q_1, \dots, Q_n – комплексные параметры состояния поверхностей;

I – эксплуатационный показатель;

В данной главе, на основе анализа стандартов, авторами сделана попытка установить взаимосвязи между комплексными параметрами состояния поверхностей деталей валов и их эксплуатационными характеристиками.

Система параметров комплексно характеризующих эксплуатационные характеристики деталей машин определена А.Г. Суловым в работе [23].

На базе принятой системы параметров существуют комплексные параметры, характеризующие несущую способность и равновесное состояние поверхностей при трении и износе, и возможность использовать их для непосредственного обеспечения эксплуатационных характеристик.

Комплексный параметр состояния поверхности характеризует определенную ее эксплуатационную характеристику через систему параметров качества поверхности и изменяя свои значения в процессе приработки поверхностей, не завися от исходных значений, полученных обработкой.

При этом комплексные параметры состояния поверхности являются безразмерными комплексами.

К таким параметрам относятся (см. также табл. 9.11):

- комплексный параметр равновесного состояния поверхностей трения C_x (Э.В. Рыжов, А.Г. Сулов);

- комплексный параметр несущей способности (контактная жесткость) Π (Э.В. Рыжов, А.Г. Сулов);

- комплексный параметр, характеризующий усталостную прочность поверхностей C_y ;

- комплексный параметр поверхностей, взаимодействующих с внешней средой F ;

- комплексный параметр посадок с натягом поверхностей C_M ;

- комплексный параметр шероховатости поверхностей, характеризующий трение и износ Δ (И.В. Крагельский, В.С. Комбалов);

- комплексный параметр равномерного износа поверхностей I ;

- комплексный параметр долговечности поверхностей D ;

- комплексный параметр подвижных упорных соединений поверхностей H ;

- комплексный параметр искрозащиты и взрывозащиты соединений K_x ;

Использование комплексных параметров состояния поверхностей при построении стандартов производственных организаций наиболее удобно произво-

дить при помощи системной оптимизации технологического обеспечения эксплуатационных характеристик, которая рассмотрена в работе [24]. Системная оптимизация основана на двухступенчатой схеме технологического обеспечения эксплуатационных характеристик с разделением задач технолога и конструктора, с заданием комплексных параметров на каждой из этих стадий.

Для создания стандартов организации, можно использовать графические схемы областей достижимых значений эксплуатационных характеристик при их обеспечении выбранными методами обработки поверхностей (см. рис. 9.2 – 9.7). Подробное использование этих схем рассмотрено в работе [24, 25].

Таблица 9.11

Некоторые комплексные параметры, применяемые при технологическом обеспечении эксплуатационных характеристик деталей машин

Наименование поверхности	Комплексные параметры	Технологическое значение параметров	Расчетно-конструкторское значение параметров
Работающие в условиях трения и износа [21, 23]	C_x	$\frac{H_p \cdot W_p \cdot (R_p)^4}{(S_m)^6 \cdot (K^l)^{12}}$	$3375 \cdot \left[\frac{\sigma_T \cdot E}{\pi \cdot (1 - \mu^2)} \right]^3 \cdot \left(\frac{10 \cdot J_{II} \cdot \lambda}{\chi \cdot P} \right)^6$
	Δ	$\left(\frac{100}{t_p} \right)^{\frac{1}{v}} \cdot \frac{R_p}{\rho_m}$	$16 \cdot \left(\frac{\tau_a}{\alpha_\Gamma} \right)^{\frac{5}{4}} \cdot \theta^{\frac{3}{4}} \cdot p_c^{\frac{1}{2}}$
Опорные поверхности работающие на сдвиг [22, 23]	Π	$\left[\frac{R_p \cdot W_p \cdot H_p}{(K^l)^{0,5}} \right]^{\frac{1}{3}}$	$\left[\frac{\sigma_T \cdot J_{III}^6}{1.7 \cdot P} \right]^{\frac{1}{6}}$
Опорные поверхности работающие в упор [24]	H	$\frac{R_a^2 \cdot K^l}{W_z \cdot H_{man}}$	$\frac{P}{A \cdot \sigma_T}$
Работающие в условиях линейного износа [24]	I	$\frac{R_a}{S_m \cdot K^l}$	$\frac{2 \cdot \pi \cdot \sigma_T \cdot (1 - \mu^2)}{E}$
Работающие в условиях циклического нагружения [24]	D	$\frac{K^l \cdot S_{mw}^{0,4} \cdot R_a}{W_a^{0,2} \cdot S_m \cdot t_m}$	$\frac{\gamma^{0,2}}{13.5} \cdot \left[\frac{\sigma_{-1d}}{\sigma_{-1}} - 1 \right]$
Поверхности соединений посадок с натягом [23]	C_M	$R_p + W_p + H_p$	$\Delta - 2 \cdot 10^3 \cdot \frac{M}{\pi d l f} \cdot \frac{C}{E}$

Схемы расположения областей **ОДМО** для комплексного параметра **H** при различных методах обработки поверхностей

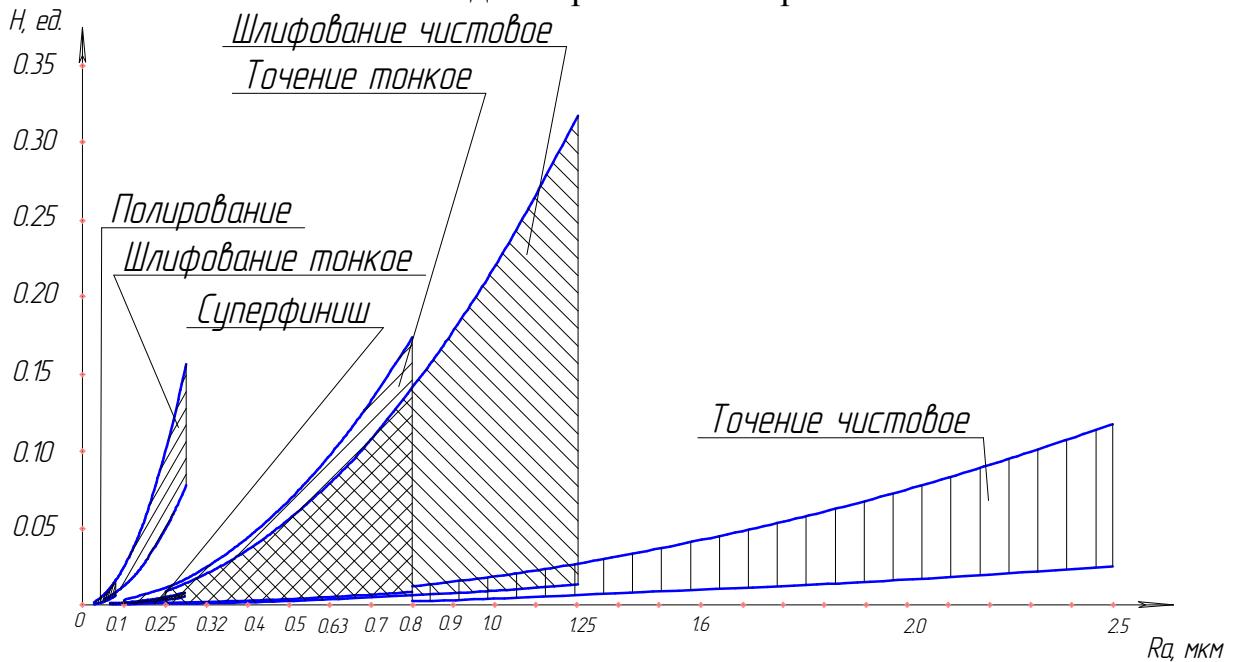


Рис. 9.4. Схема расположения областей **ОДМО** комплексного параметра **H** при обработке наружных поверхностей тел вращения

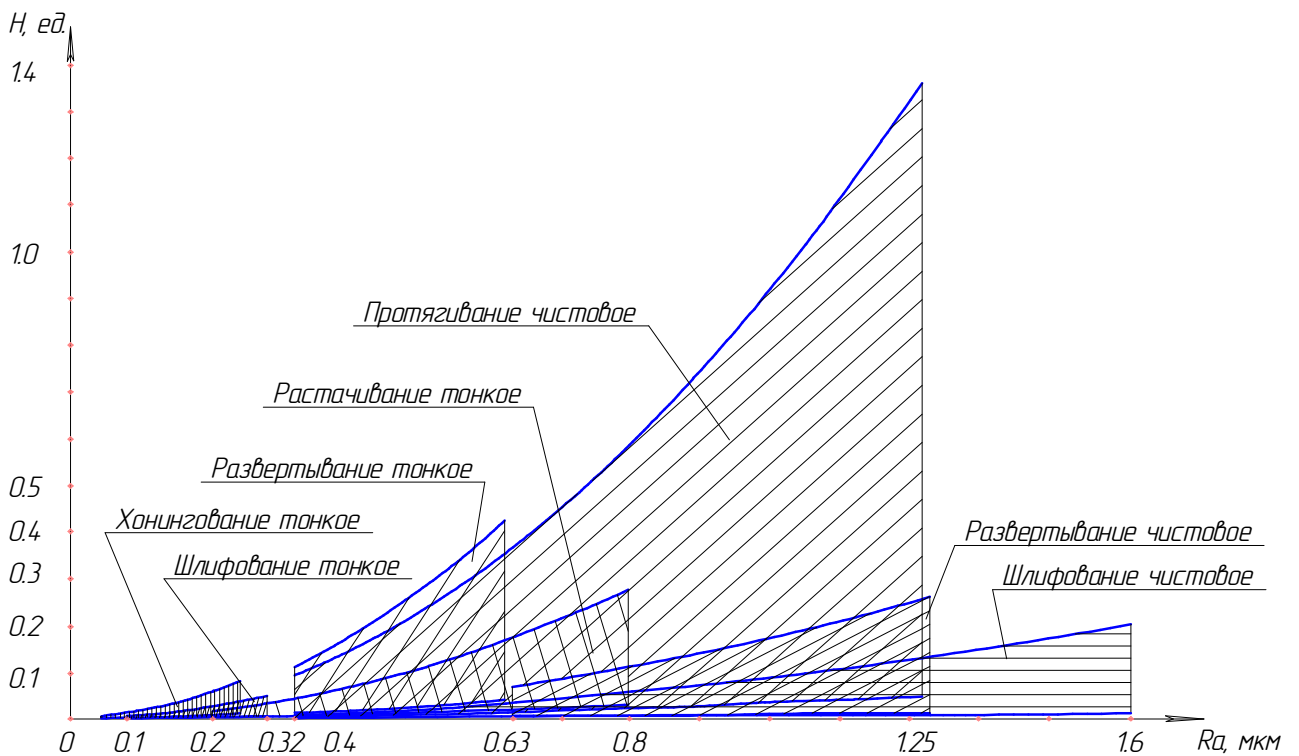


Рис. 9.5. Схема расположения областей **ОДМО** комплексного параметра **H** при обработке внутренних поверхностей тел вращения

Примеры схем расположения областей **ОДМО** для комплексного параметра **П** при различных методах обработки поверхностей

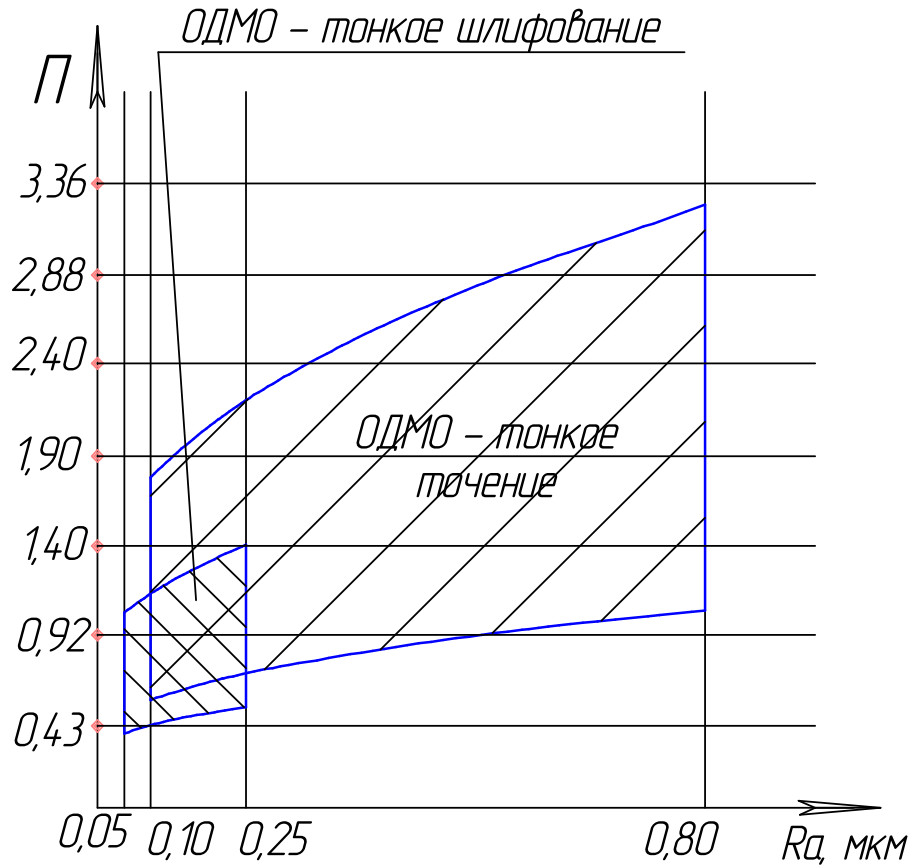


Рис. 9.6. Схема расположения областей **ОДМО** комплексного параметра **П** при обработке наружных поверхностей тел вращения

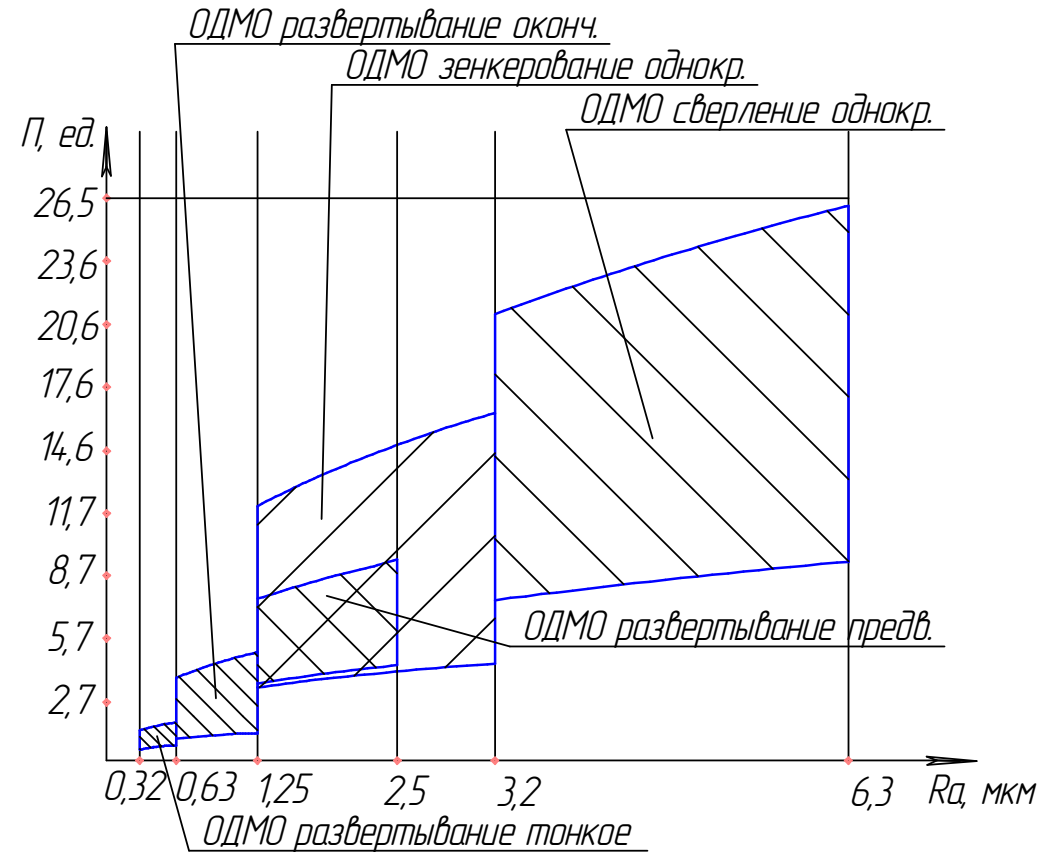


Рис. 9.7. Схема расположения областей **ОДМО** комплексного параметра **П** при обработке внутренних поверхностей тел вращения

В основу моделей для оптимального планирования на основе технологической среды разработки входит анализ категории цена - качество.

Нахождение наиболее оптимального варианта технологического обеспечения эксплуатационных характеристик, на стадии подготовки производства, эффективно решается с применением принципов функционально-стоимостного анализа **ФСА**.

Под **ФСА** понимается метод системного исследования функций объекта, направленный на минимизацию затрат в сферах проектирования, производства и эксплуатации.

Степень производственных затрат, в значительной мере, определится выбранным методом обработки, трудоемкостью и оснащением, используемом при его применении.

Уровень регламентации параметров качества поверхности, назначаемых в процессе проектирования деталей, предназначен обеспечить эксплуатационные характеристики поверхностей и, как следствие, изделия в целом.

Воспользуемся графической интерпретацией метода на базе двух критериального случая. Для этого в заданном пространстве **М** выберем некоторую область **Р** (см. рис. 9.8). Определим, что эта область является областью регламентированных значений эксплуатационных свойств (**ОРЭС**).

Она имеет ограничения:

$$X_i = X_{iPij \max}; \quad X_i = X_{iPij \min}; \quad Y_j = Y_{jPij \max}; \quad Y_j = Y_{jPij \min} \quad (9.8)$$

Далее ограничим область достижимых значений при рассматриваемом методе обработки (**ОДМО**). С этой целью представим зависимости, отражающие технологическое значение комплексных параметров (табл. 9.11) в виде:

$$Y_j = K_{ij} \cdot f(X_i) \quad (9.9)$$

X_i - значения i -го параметра, значения которого регламентируются и откладываются на оси абсцисс;

K_{ij} - коэффициент, отражающий влияние не рассматриваемых j комплексных параметров при i регламентируемом параметре качества поверхности.

Тогда область **ОДМО** ограничится функциями:

$$X_i = X_{iDij \max}; \quad X_i = X_{iDij \min}; \quad Y_j = K_{ij \max} \cdot f(X_i); \quad Y_j = K_{ij \min} \cdot f(X_i) \quad (9.10)$$

Площади **ОДМО** и **ОРЭС** определяются из выражений:

$$S_{Dij} = (K_{ij \max} - K_{ij \min}) \cdot \int_{X_{iPij \min}}^{X_{iDij \max}} f(X_i) dX_i \quad (9.11)$$

$$S_{Pij} = (X_{iPij \max} - X_{iPij \min}) \cdot (Y_{jPij \max} - Y_{jPij \min}) \quad (9.12)$$

Пересечение областей **ОДМО** и **ОРЭС** ограничит область эффективных значений **ОЭМО**, в которой при применении рассматриваемого метода обработки будут иметь место значения эксплуатационных свойств и параметров, определяемых регламентацией.

Строя для множества возможных методов обработки области **ОДМО** и **ОЭМО** можно осуществить процесс выбора оптимального варианта технологического обеспечения.

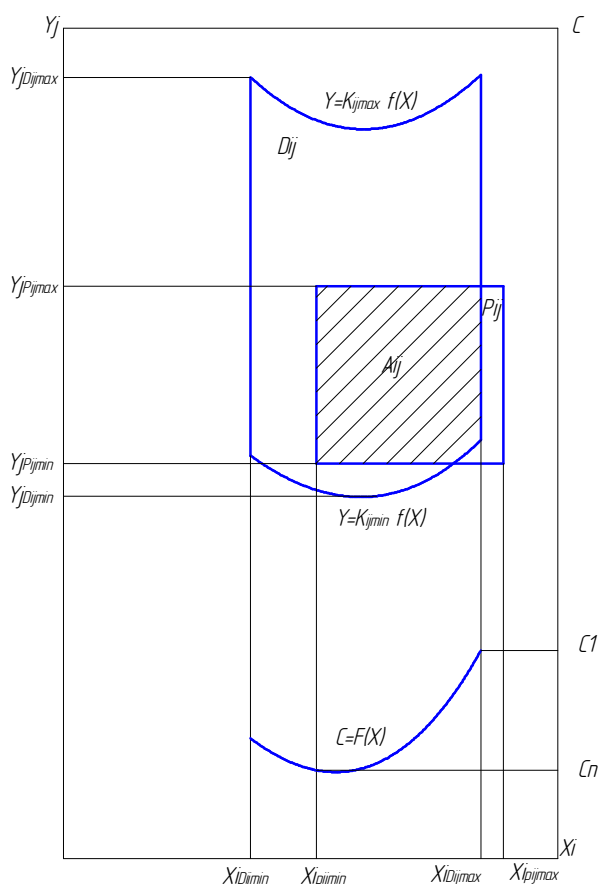


Рис. 9.8. Графическая схема ФСА технологического обеспечения эксплуатационных характеристик

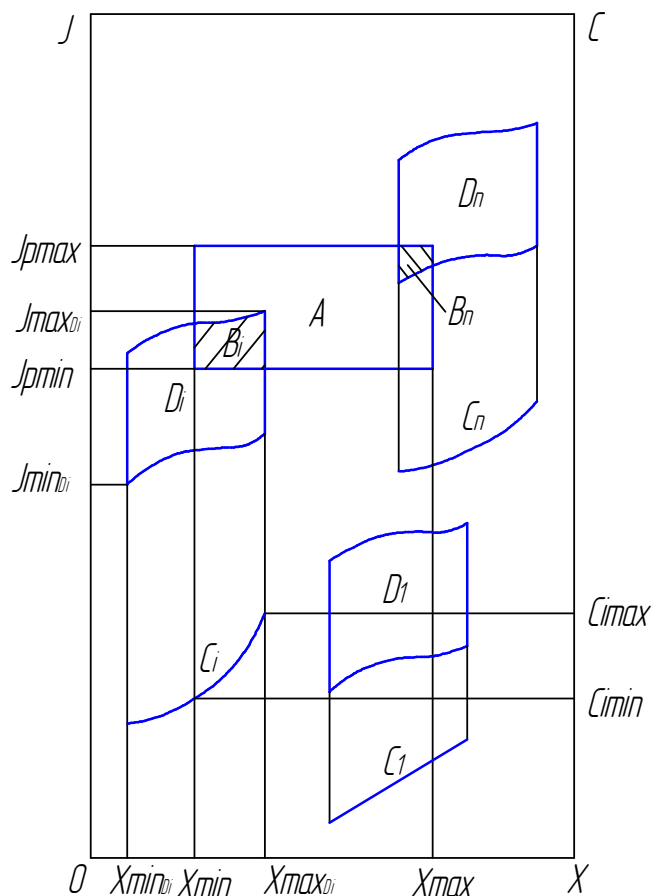


Рис. 9.9. Пример поиска оптимальной области **ОЭМО** для множества вариантов технологического обеспечения

Область **ОРЭС** обозначим как **A**, **ОДМО** – **D**, **ОЭМО** – **B** (Рис. 9.9). Тогда справедливы высказывания:

1. Для каждого метода обработки (**МО**) на финишном этапе существует ограниченный набор (множество) областей **D**, для каждого из которых существует функция затрат C_i ;

2. Из множества областей **B** найдется такая область **ОЭМО** (одна), которая будет удовлетворять двум критериям:

2.1. Будет иметь максимальное значение площади пересечения **ОДМО** и **ОРЭС** (S_D);

2.2. Будет иметь минимальное значение* функции затрат C_i ;

3. Эта область **ОЭМО**, удовлетворяемая критериям 2.1 и 2.2, будет оптимальной с точки зрения технологического обеспечения эксплуатационных свойств.

Математически это может быть выражено так:

$$\begin{aligned}
& 1. \forall MO \exists DE \exists C ; \\
& D = \{D_1, D_2, D_3, \dots, D_i\}; \\
& C = \{C_1, C_2, C_3, \dots, C_i\}; \\
& C_i = F(x_i);
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& 2. \exists_B B_{jonn}. S_D \rightarrow \max ; \\
& \exists_B B_{jonn}. C_i \rightarrow \min ; \\
& A \cap D = B ; \\
& B = \{B_1, B_2, B_3, \dots, B_j\}; \\
& B_{onn} \in B ;
\end{aligned}$$

* - речь идет не о значении функции затрат, а о проекции ее на ось затрат;

И действительно, проецирование экстремумов X_i из области **ОЭМО** на ось затрат (рис. 9.9) ограничит максимум и минимум издержек при рассматриваемом методе обработки.

На рис. 9.9 область D_1 достижимых значений при рассматриваемом методе обработки не пересекается с областью **A** регламентируемых значений эксплуатационных свойств, а следовательно не обеспечивает достижение заданных эксплуатационных свойств.

Под критерий оптимальности технологического обеспечения эксплуатационных свойств подходит метод обработки, соответствующий области D_n , т.к. только он (рис. 9.9) имеет и максимальную площадь **ОЭМО** и минимальное значение проекции функции затрат C_n на ось затрат **C**.

Рассматривая области **ОРЭО** и **ОДМО** можно видеть, что область регламентации ограничена интуицией разработчика и назначение любого значения регламентации внутри области **P** является величиной равновероятной. В то же время, этого нельзя сказать про **ОДМО** – область **D**. Это обусловлено тем, что в зависимости от применяемого метода обработки могут иметь место или отсутствовать, соответствующие этому методу, корреляционные связи между формируемыми параметрами поверхностного слоя. Это может усложнить процесс оптимизации.

К примеру, параметр шероховатости R_a , подчиняется законам распределения случайных чисел, например закону нормального распределения. Может оказаться, как показано на рис. 9.10, что для данного метода обработки вероятность достижения с помощью комплексных параметров, выбранных эксплуатационных характеристик, низкая. Поэтому, для обеспечения эксплуатационных характеристик, необходимо сменить метод обработки и найти тот, вероятность достижения показателя качества поверхности у которого максимальна.

В настоящей работе говорится о том, что регламентация всех параметров, которые достаточно полно характеризуют все остальные характеристики, используемые в расчетах на износ, контактную жесткость, прочность посадок, усталостную прочность и т.д., не всегда целесообразна.

Когда же используются не все параметры качества поверхности, существует разброс, который для каждого из значений регламентируемого параметра определяется колебанием параметра K_i , определяющего граничные значения из области допустимых значений регламентации **ОДМО**.

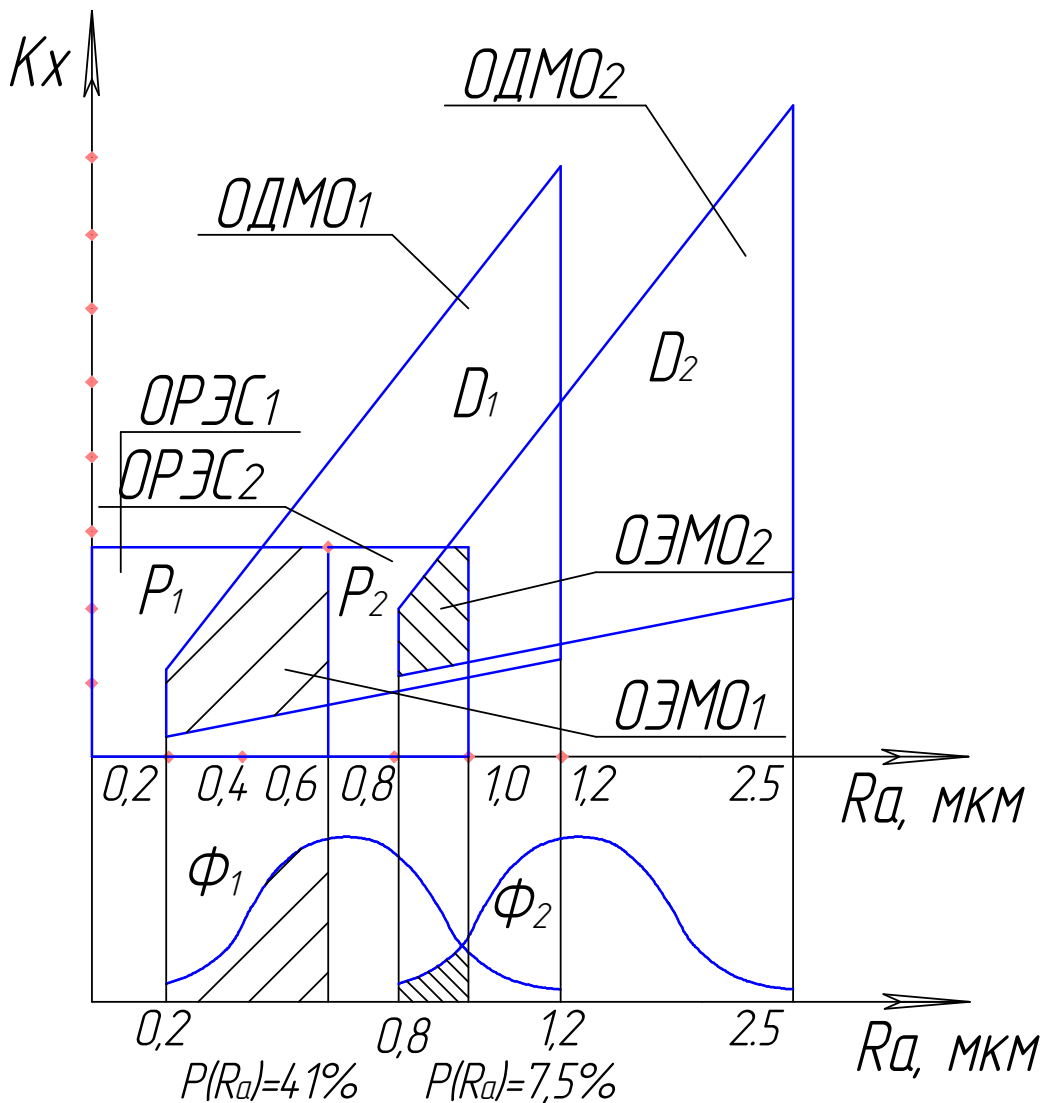


Рис. 9.10. Схема задачи выбора метода обработки, с учетом функции распределения случайного параметра шероховатости поверхности

При любом из значений, не выходящих из интервала ΔX_K : $X_{Kmin} \leq X_K \leq X_{Kmax}$ означает, что за пределами этого интервала вероятность появления X_K стремится к нулю:

$$P(X_K) \Rightarrow 0 \text{ при } X_{Kmin} \leq X_K \leq X_{Kmax} \quad (9.13)$$

На разброс значений ΔK оказывают влияние все составляющие, входящие в состав показателя, комплексно характеризующего то или иное эксплуатационное свойство, за исключением регламентируемого параметра. При этом могут иметь место три основных случая взаимосвязи этих параметров:

- 1. Параметры, независимые от значений X_i и не взаимосвязанные между собой:**

В этом случае представим K в виде:

$$K = gX_K^v \quad (9.14)$$

Случайная величина распределена на отрезке $[X_{Kmin}; X_{Kmax}]$ равномерно. Обозначим плотность случайной величины K через $P(K)$. Зафиксируем число X_K .

Интервал $X_K - \delta, X_K + \delta$ отображается в интервале $(K - gvX_K^{v-1}\delta, K + gvX_K^{v-1}\delta)$ (см. рис. 9.11)

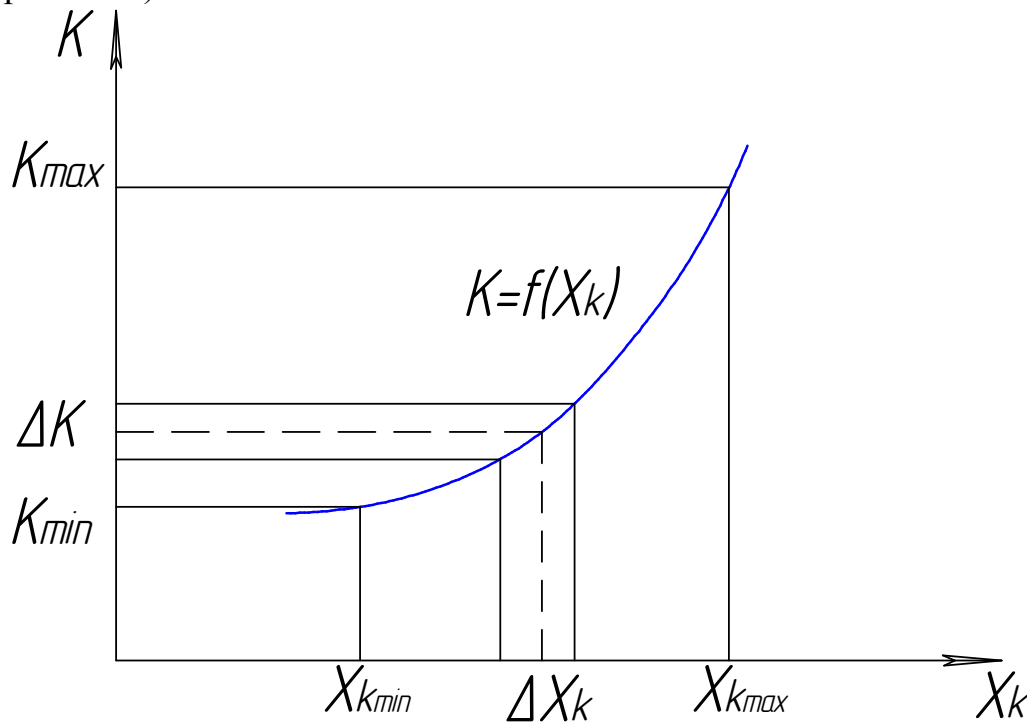


Рис. 9.11. Функция $K = f(X_K)$ при независимости параметров от значений X_i и не взаимосвязи между собой

где, δ – бесконечно малая величина;

K_{\max} и K_{\min} – максимальные и минимальные значения, которые может принять показатель, учитывающий влияние не регламентированных параметров при рассматриваемом методе обработки.

Вероятность попадания в эти интервалы случайных величин X_K и K равны, поэтому:

$$\frac{2\delta}{X_{K \max} - X_{K \min}} = 2gvX_K^{v-1}\delta \cdot P(K) \quad (9.15)$$

Следовательно

$$P(K) = \frac{1}{X_{K \max} - X_{K \min}} \cdot \frac{1}{gvX_K^{v-1}} \quad (9.16)$$

2. Существует корреляционная зависимость $X_K = f(X_i)$:

Это значит, что при заданном значении X плотность вероятности случайной величины X_K описывается формулой:

$$P(X_K) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{[X_K - f(X_i)]^2}{2\sigma^2}} \quad (9.17)$$

В силу нормальности рассеяния случайной величины X_K относительно ее математического ожидания $M_{X_K} = f(X_i)$ и условия $P(X_K) \Rightarrow 0$ при $X_{K \min} \leq X_K \leq X_{K \max}$ (см. рис. 9.12):

$$6\sigma = X_{K \max} - X_{K \min} - 2E \quad (9.18)$$

$$E = \left| f(X_i) - \frac{X_{K \max} + X_{K \min}}{2} \right| \quad (9.19)$$

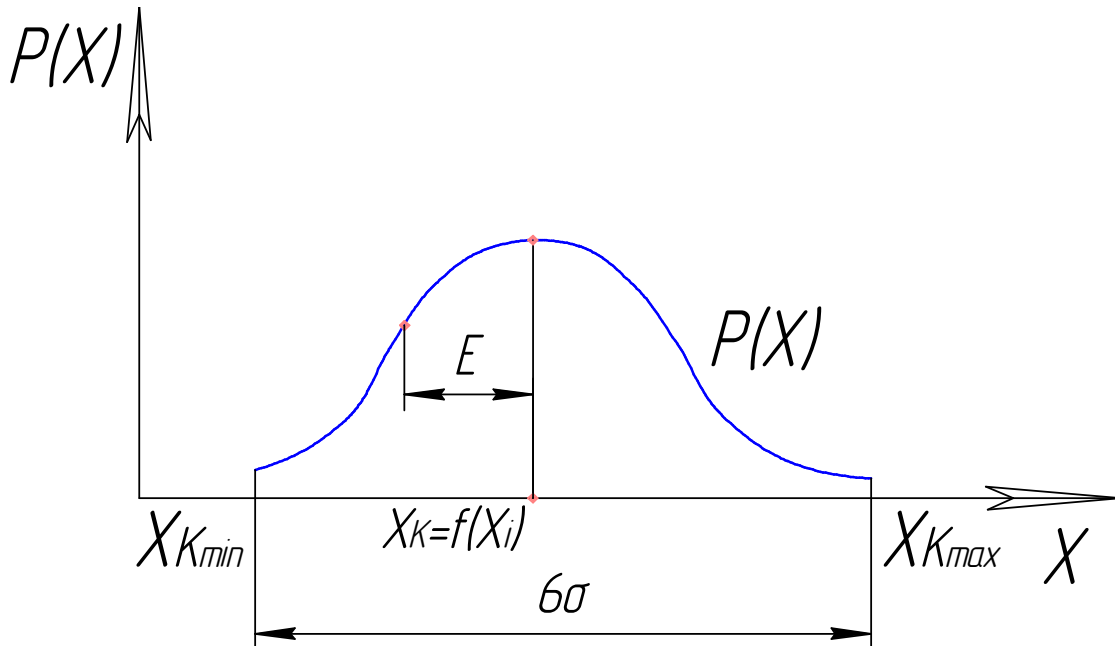


Рис. 9.12. Функция $P(X)$ при существовании корреляционной зависимости $X_K = f(X_i)$

Аналогично случаю 1: $K = gX_K^\nu$

На основании положения об отображении бесконечно малого интервала δ вероятность попадания в эти интервалы случайных величин X_K и K равны:

$$\frac{2\delta}{\sqrt{2\pi\sigma}} e^{-\frac{[X_K - f(X_i)]^2}{2\sigma^2}} = 2g\nu X_K^{\nu-1} \delta \cdot P(K) \quad (9.20)$$

Откуда:

$$P(K) = \frac{1}{g\nu X_K^{\nu-1}} \cdot \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}} e^{-\frac{[X_K - f(X_i)]^2}{2\sigma^2}} \quad (9.21)$$

3. Параметры не зависят от значений X_i , но существуют корреляционные связи между X_K и X_{K+1} :

Для решения задачи запишем:

$$K = gX_K^\nu X_{K+1}^{\nu_1} \quad (9.22)$$

где, X_K и X_{K+1} – взаимосвязанные величины:

$$X_K = \varphi(X_{K+1}^{\nu_1}) \quad (9.23)$$

Произведем путем замены приведение к одному параметру:

$$K = g[\varphi(X_{K+1}^{\nu_1})]^\nu X_{K+1}^{\nu_1} = \Phi(X_{K+1}) \quad (9.24)$$

Аналогично:

$$K = \Phi^1(X_K) \quad (9.25)$$

Считаем, что случайная величина распределена равномерно на $[X_{K_{\min}}; X_{K_{\max}}]$ и запишем, аналогично первому случаю закон распределения плотности вероятности:

$$P(K) = \frac{1}{X_{K_{\max}} - X_{K_{\min}}} \cdot \frac{1}{\Phi^1(X_K)} \quad (9.26)$$

Таким образом, для любой \mathbf{X} внутри области **ОДМО** на основании уравнений (9.16), (9.21), (9.26) определится вероятность возникновения значений (совместная вероятность), ограничивающих эту область (см. рис. 9.13):

$$P(K)_{ij} = \prod_{i=1}^n P(K_i) \quad (9.27)$$

Поверхность плотности вероятности **ОДМО**:

$$P(K)_{\text{ОДМО}} = \iint_{D_{ij}} P(K)_{ij} dX_i dX_K \quad (9.28)$$

Математические ожидания \mathbf{M}_{X_i} и \mathbf{M}_{Y_i} соответствуют экстремумам функции $P(K)_{\text{ОДМО}}$.

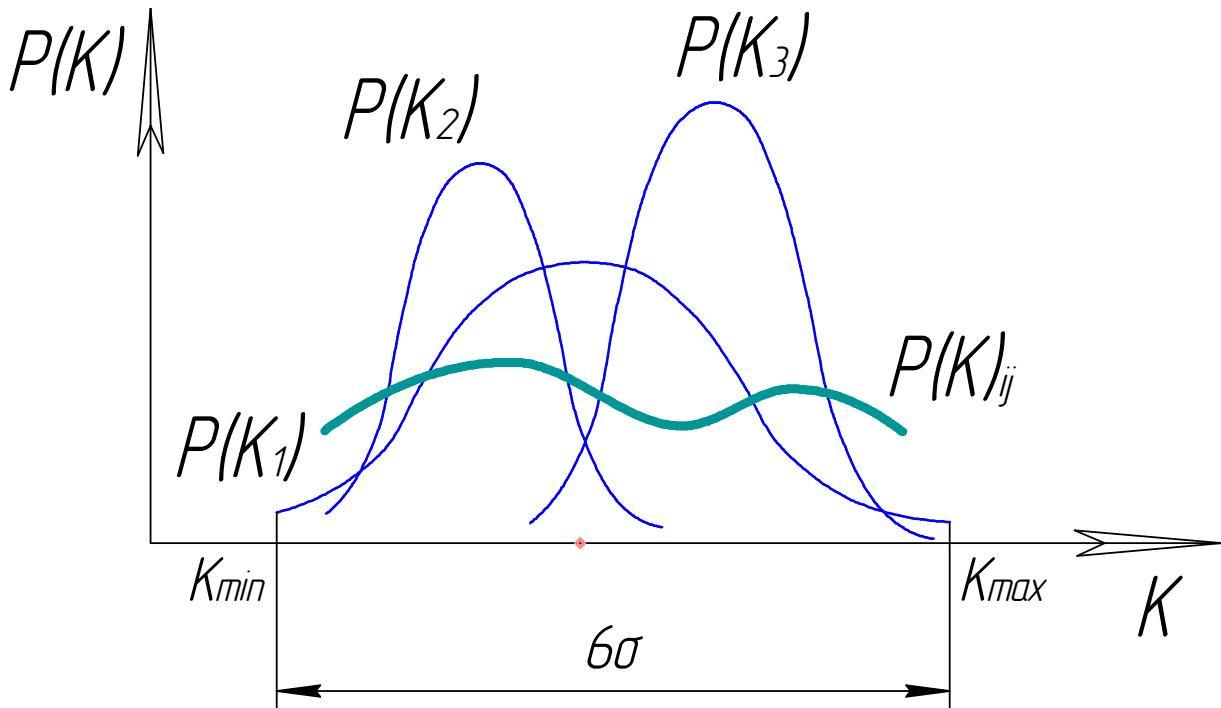


Рис. 9.13. Совместная вероятность $P(K)_{ij}$

Комплексные параметры состояния поверхности S_i , как видно из таблицы 9.11, является функцией геометрических и физико-механических характеристик состояния поверхности, некоторые из которых являются функциями случайной величины: $S_i = f(R_p, H_p, W_p, S_m, W_z, R_a, \dots)$.

$$f_1(R_a) = \frac{1}{\sqrt{2 \cdot \pi} \cdot \sigma_{Ra}} \cdot \exp \left[-\frac{(R_a - m_{Ra})^2}{2 \cdot \sigma_{Ra}^2} \right] \quad (9.32)$$

$$f_2(W_a) = \frac{1}{\sqrt{2 \cdot \pi} \cdot \sigma_{Wa}} \cdot \exp \left[-\frac{(W_a - m_{Wa})^2}{2 \cdot \sigma_{Wa}^2} \right] \quad (9.33)$$

Координаты центра распределения определяются, как математическое ожидание двумерной случайной величины и могут быть найдены при помощи интегралов [28]:

$$m_{Ra} = \iint_D R_a \cdot f(R_a, W_a) dR_a dW_a \quad (9.34)$$

$$m_{Wa} = \iint_D W_a \cdot f(R_a, W_a) dR_a dW_a \quad (9.35)$$

Геометрически координаты центра распределения, как видно из рисунка 9.10 и 9.14, могут быть определены проще: $m_{Ra} = 0.5 \cdot (R_{amax} - R_{amin})$, $m_{Wa} = 0.5 \cdot (W_{amax} - W_{amin})$.

Если область **D** выпукла (рис. 9.14) и невелика по сравнению с эллипсом рассеяния, то удовлетворительную точность можно получить, заменяя всю эту область одним прямоугольником приближенно той же площади.

Приблизительно, вероятность попадания случайной величины параметров качества поверхности, в область **D** может быть определена как вероятность их попадания в прямоугольник с осями **R_a** и **W_a** соответственно (рис. 9.14) [28]:

$$P\{(R_a; W_a) \in D\} = \int_{Ra_1}^{Ra_2} \int_{Wa_1}^{Wa_2} f(R_a; W_a) dR_a dW_a = \int_{Ra_1}^{Ra_2} \int_{Wa_1}^{Wa_2} f_1(R_a) \cdot f_2(W_a) dR_a dW_a \quad (9.36)$$

$$\begin{aligned} P\{(R_a; W_a) \in D\} &= P_1\{(R_a) \in D\} \cdot P_2\{(W_a) \in D\} = \\ &= \left(\int_{Ra_1}^{Ra_2} f_1(R_a) dR_a \right) \cdot \left(\int_{Wa_1}^{Wa_2} f_2(W_a) dW_a \right) \end{aligned} \quad (9.37)$$

$$\begin{aligned} P\{(R_a; W_a) \in D\} &= \left[\Phi \left(\frac{R_{a_2} - m_{Ra}}{\sigma_{Ra}} \right) - \Phi \left(\frac{R_{a_1} - m_{Ra}}{\sigma_{Ra}} \right) \right] \cdot \\ &\cdot \left[\Phi \left(\frac{W_{a_2} - m_{Wa}}{\sigma_{Wa}} \right) - \Phi \left(\frac{W_{a_1} - m_{Wa}}{\sigma_{Wa}} \right) \right] \end{aligned} \quad (9.38)$$

При нормировании переменной:

$$P\{(R_a; W_a) \in D\} = \left\{ \Phi(R_{amax}) - \Phi(R_{amin}) \right\} \cdot \left\{ \Phi(W_{amax}) - \Phi(W_{amin}) \right\} \quad (9.39)$$

Φ – функция Лапласа;

$\Phi(R_{amax})$, $\Phi(R_{amin})$, $\Phi(W_{amax})$, $\Phi(W_{amin})$ - нормированные функции Лапласа;

Координаты центра поверхности распределения вероятности:

$$f(m_{Ra}; m_{Wa}) = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \sigma_{Ra} \cdot \sigma_{Wa}} \quad (9.40)$$

При проецировании поверхности **ОЭМО**_i на поверхность плотности распределения эта поверхность усекается и находится в интервалах ($R_{amin} \leq R_a \leq R_{amax}$) и ($W_{amin} \leq W_a \leq W_{amax}$). Плотность и функция распределения при этом имеют вид [29]:

$$f(R_a; W_a) = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \sigma_{Ra} \cdot \sigma_{Wa} \cdot \gamma \cdot \lambda} \cdot \exp\left[-\frac{(R_a - m_{Ra})^2}{2 \cdot \sigma_{Ra}^2}\right] \cdot \exp\left[-\frac{(W_a - m_{Wa})^2}{2 \cdot \sigma_{Wa}^2}\right] =$$

$$= \frac{1}{\gamma \cdot \lambda} \cdot f_1(R_a) \cdot f_2(W_a) \quad (9.41)$$

$$F(R_a; W_a) = \frac{1}{\gamma \cdot \lambda} \cdot \left\{ \Phi\left(\frac{R_a}{\sigma_{Ra}}\right) - \Phi\left(\frac{R_{amin}}{\sigma_{Ra}}\right) \right\} \cdot \left\{ \Phi\left(\frac{W_a}{\sigma_{Wa}}\right) - \Phi\left(\frac{W_{amin}}{\sigma_{Wa}}\right) \right\} \quad (9.42)$$

Где, $(1 - \gamma)$ – степень усечения интервала ($R_{amin} \leq R_a \leq R_{amax}$);

$(1 - \lambda)$ – степень усечения интервала ($W_{amin} \leq W_a \leq W_{amax}$);

$$\gamma = \Phi\left(\frac{R_{amax} - m_{Ra}}{\sigma_{Ra}}\right) - \Phi\left(\frac{R_{amin} - m_{Ra}}{\sigma_{Ra}}\right) = \Phi\left(\frac{R_{amax}}{\sigma_{Ra}}\right) - \Phi\left(\frac{R_{amin}}{\sigma_{Ra}}\right) \quad (9.43)$$

$$\lambda = \Phi\left(\frac{W_{amax} - m_{Wa}}{\sigma_{Wa}}\right) - \Phi\left(\frac{W_{amin} - m_{Wa}}{\sigma_{Wa}}\right) = \Phi\left(\frac{W_{amax}}{\sigma_{Wa}}\right) - \Phi\left(\frac{W_{amin}}{\sigma_{Wa}}\right) \quad (9.44)$$

$$P\{(R_a; W_a) \in D\} = \iint_D F(R_a; W_a) dR_a dW_a \quad (9.45)$$

При интегрировании по формуле (9.45) нужно учитывать знак функции распределения [30]:

1. $\Phi(R_{amin}) - \Phi(R_{amax})$; 2. $\Phi(R_{amax}) + \Phi(R_{amin})$; 3. $\Phi(R_{amax}) - \Phi(R_{amin})$;

Для n -числа параметров состояния поверхности нужно применять n -мерное нормальное распределение и в каждой двумерной плоскости имеем двумерную систему параметров качества поверхности (см. рис. 9.15 и 9.16).

Выбор оптимального метода обработки будет зависеть не только от максимального значения пересечения областей **ОДМО** и **ОРЭС** (объема или площади), но и от наличия максимальной вероятности такого технологического обеспечения (см. рис. 9.15):

1. $\forall MOEDEC$;

2. $\exists_B B_{jonm} \cdot S_D \rightarrow \max$;

$D = \{D_1, D_2, D_3, \dots, D_i\}$;

$\exists_B B_{jonm} \cdot C_i \rightarrow \min$;

$C = \{C_1, C_2, C_3, \dots, C_i\}$;

3. $\exists_B B_{jonm} \cdot P_i(A) \rightarrow \max$;

$C_i = F(x_i)$;

$A \cap D = B$;

$B = \{B_1, B_2, B_3, \dots, B_j\}$; $B_{onm} \in B$;

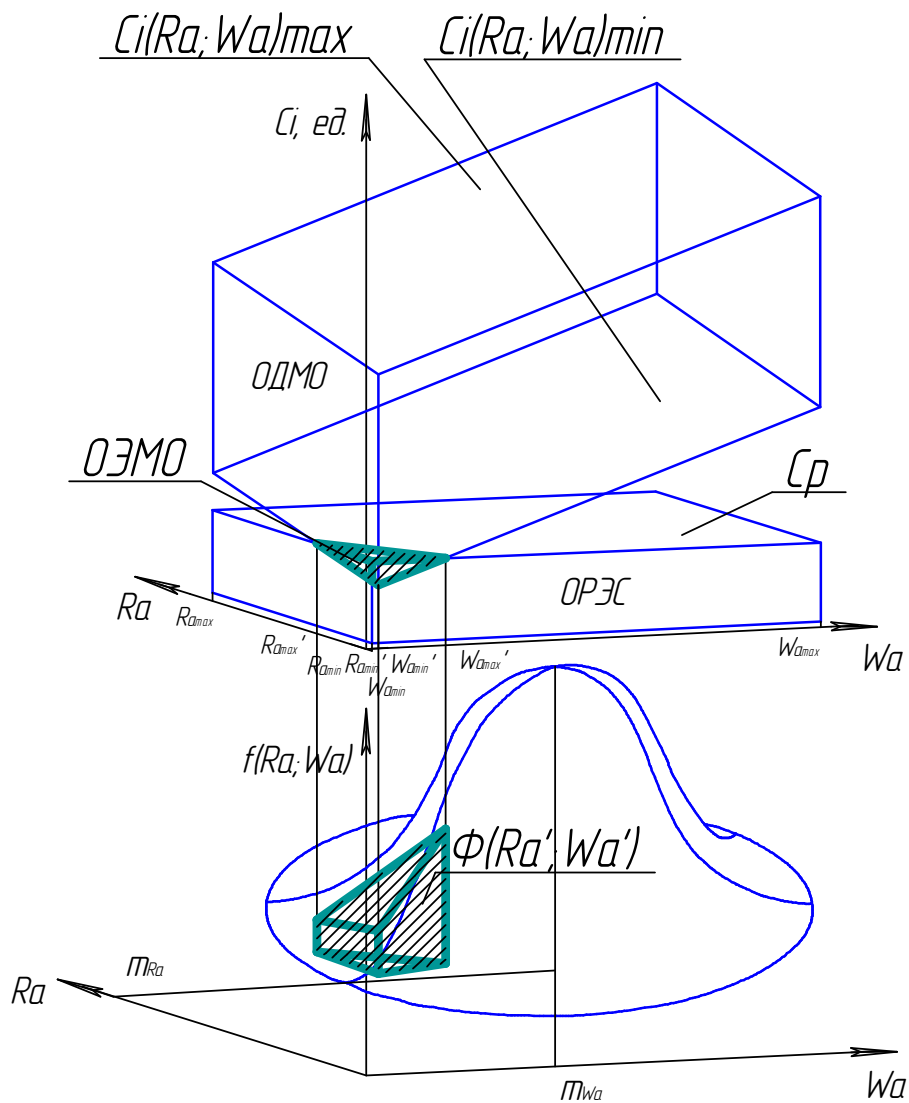


Рис. 9.15. Схема задачи выбора метода обработки при регламентации двух параметров качества поверхности

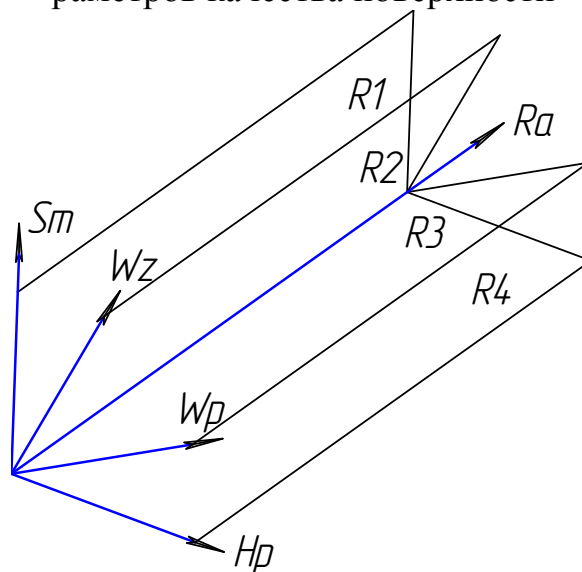


Рис. 9.16. Интерпретация многомерности параметров состояния поверхности

Число этих наборов состояний поверхности не превышает (10 - 12), поэтому задача математического решения может упроститься до (10 – 12) - ти мерного пространства.

Еще одной важной задачей является определение зависимости или не зависимости параметров состояния поверхностей между собой. От этого будет зависеть форма функции совместной плотности двух непрерывных случайных величин, т.е. вид функции поверхности распределения от параметров состояния поверхности.

Зависимость или независимость 2-х случайных величин, подчиняющихся закону нормального распределения, может быть определена для некоррелированности при помощи ковариации (корреляционного момента) [28]:

$$K_{R_a W_a} = \iint_D R_a \cdot W_a \cdot f(R_a, W_a) dR_a dW_a - m_{R_a} \cdot m_{W_a} = 0 \quad (9.46)$$

Применение и развитие систем автоматического проектирования предполагает наличие и развитие баз данных. В условиях современных взаимоотношений производителя и потребителя огромная роль принадлежит стандартам. Применение стандартов с разделением их по уровням применения позволяют эффективно регулировать качество эксплуатационных характеристик изделий. В данной главе авторы сделали попытку показать, как с помощью стандартов происходит регулирование качества производственно-технических показателей изделий, в которых одной из главных составляющих являются маложесткие валы.

Реализация применения стандартов на предприятии осуществляется в определенной логической последовательности. Общая структура представлена в виде блок-схемы на рис. 9.17.

Исходя из поставленной цели, представленной в виде блока 1, проводится анализ основных эксплуатационных характеристик изделия и показателей регламентов, закладываемых в технические условия (блок 2) (табл. 9.4).

Устанавливается связь показателей качества изделия и эксплуатационных характеристик вала (Блок 3 (табл. 9.5)). Он разветвлен на 2 составляющие: применение федеральных и отраслевых стандартов. Итогом анализа является блок 4: формирование системы параметров обеспечивающих качество производственно-технических характеристик вала (табл. 9.5 – 9.10).

На основании сформулированных целей делается описание и выбор методов проведения обеспечения качества (блок 5). Как видно из схемы предполагаются теоретические, экспериментальные исследования и производственные испытания.

С целью ускорения процессов внедрения полученных результатов первоначально проводятся исследования по влиянию условий эксплуатации на эксплуатационные характеристики. На базе принятой системы параметров производится математическое описание изменений параметров качества. Определяются комплексные параметры, оказывающее преобладающее влияние на показатели, характеризующие рассматриваемые эксплуатационные характеристики (Блок 6).

На основании полученных результатов и имеющихся методик производится разработка (выбор) соответствующего технологического обеспечения (блок 9), технико-экономическое обоснование (блок 10) и внедрение результатов в производство (блок 11).

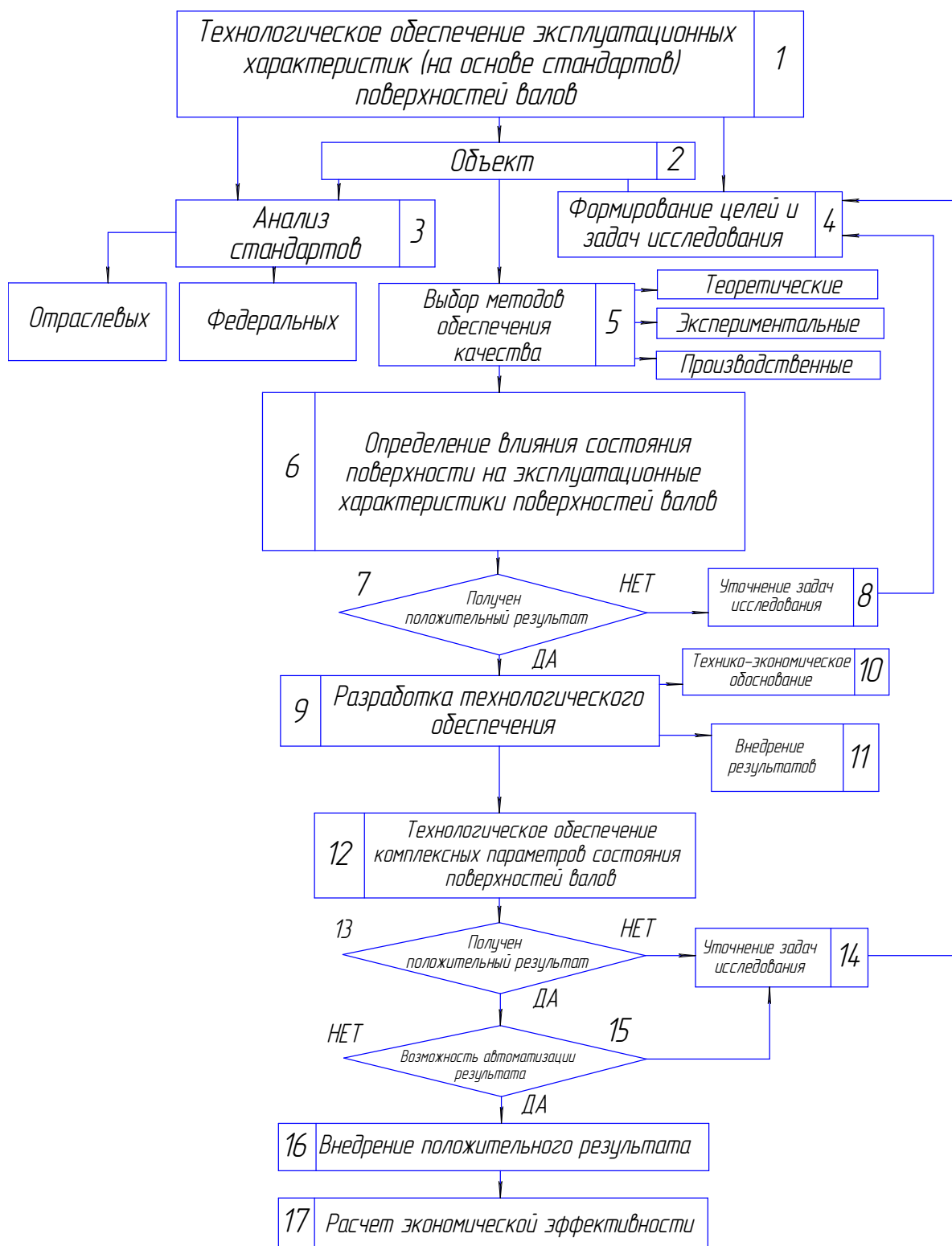


Рис. 9.17. Блок схема реализации обеспечения качества производственно технических характеристик на основе стандартов

На втором этапе проводятся исследования по проблемам анализа принимаемых решений с целью обеспечения показателей эксплуатационных свойств контактирующих поверхностей и комплексных параметров качества поверхности (Блок 12).

На основании полученных положительных результатов (блок 13) разрабатывается методика выработки рекомендаций обеспечения качества (Блок 14).

Учитывая сложность комплексного решения поставленных задач, в разрезе блока 15, рассматривается возможность применения автоматизации.

В случае получения отрицательных результатов на первом или втором этапах, а также отсутствие возможности автоматизации, производится уточнение задач и методов, направленных на их реализации (Блок 8 и 14).

Неразрывность производственного процесса, обуславливает завершение работы внедрением результатов на предприятии (блок 16). Совершенно очевидно, что логическим окончанием всей работы является расчет экономической эффективности и функционально стоимостного анализа (Блок 17).

Анализ работы позволяет сделать следующие выводы:

1. Государственные стандарты СССР не решают задачи обеспечения гибкости в подходах обеспечения качества, однако этот информационный пласт открывает возможности создания базы общероссийских и отраслевых стандартов.

2. В современных условиях рынка необходимо создание общедоступной федеральной базы данных, раскрывающей и формализующей основные определения и понятия качественных характеристик изделий машиностроения. Одной из главных целей которой, должна быть поставлена задача, позволяющая России интегрироваться в мировые системы стандартизации.

3. Отраслевая стандартизация предполагает развертывание функций качества - технологии разработки и подготовки производства, позволяет эффективно преобразовывать запросы потребителя в технические требования. Использует ряд последовательно перестраиваемых таблиц - «домиков качества» - для всех стадий разработки и подготовки производства изделий. В настоящее время широко применяется в большинстве развитых стран, где рассматривается как эффективное оружие в конкурентной борьбе.

4. Реализация применения стандартов на предприятии осуществляться в определенной логической последовательности (см. рис. 9.17).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Методы, рассмотренные в книге, обычно представляют основу **технологии** выполнения тех или иных действий по управлению предприятием.

Термин «технология» имеет много определений, но по сути, технология это совокупность знаний о способах выполнения той или иной работы. Мы живем в эпоху технологии. Специалист обязательно должен владеть технологией.

Мы всюду сталкиваемся со всевозможными технологиями: как готовить блюда, как стать женой олигарха, как внедрять инновацию, как сдавать экзамен, как избраться в Думу... Во введении упомянуты примерно два десятка наименований «технологий достижения успеха» для предприятия.

Однако, к сожалению, в этом мире технологий не всегда ставится вопрос — «для чего это делается?» Каковы перспективы применения данной технологии?

Интересными выводами делится Д. Коллинз, автор книги «От хорошего к великому»*. Приведем несколько отрывков из этой книги, исследующей факторы, приносящие успех предприятию.

«Можно составить длинный список компаний, бывших лидерами в технологиях, которым не удалось удержать лидирующие позиции и добиться выдающихся результатов. Это был бы сам по себе интереснейший список, но все примеры просто подчеркивали бы главную истину: технологии не могут превратить хорошее предприятие в великое, как не могут они и предотвратить катастрофу... Если вам когда-нибудь придет в голову, что технология может являться ключом к успеху, вспомните войну во Вьетнаме».

По наблюдениям Д. Коллинза, те, кто добился действительно выдающихся результатов, руководствовались *собственным стремлением созидать* и добиваться совершенства ради самого совершенства. Основными факторами успеха этих компаний являются последовательность и понимание философии всей организацией, отсутствие многоуровневой иерархии и бюрократии.

Выдающиеся компании используют технологии как *акселератор* роста, а не его причину. Ни одна из этих компаний не начинала преобразования с внедрения новой технологии, хотя все они стали пионерами во внедрении какой-то технологии, если она согласовывалась с их концепцией ведения бизнеса.

Великие компании (по терминологии Д. Коллинза), выдержавшие испытание временем, существуют не просто для того, чтобы приносить прибыль акционерам. Для действительно великой компании прибыль и поток денежных средств становятся, как кровь и вода для здорового организма: **они абсолютно необходимы для жизнедеятельности, но они не являются сутью жизни.**

Таким образом, **самое важное для успеха предприятия — система ценностей.** Главное — есть ли у предприятия система ценностей, знают ли ее работники, строят ли они свою деятельность, опираясь на нее, сохраняют ли ее с течением времени.

* Д. Коллинз. От хорошего к великому. Стокгольмская школа экономики в Санкт-Петербурге, 2008. 320 с.

В заключении остановимся на таком инструменте менеджмента как ум менеджера. Очевидно, что без этого инструмента успех предприятия маловероятен.

Мы знаем, что наш ум ограничен. Мы знаем, что такое менталитет. Учимся и разрабатываем различные инструменты для того, чтобы и то, и другое сделать более эффективным. В этой ситуации интересно посмотреть, о чем говорил великий русский ученый И.П. Павлов в знаменитой лекции «О русском уме», в которой, по существу, речь идет о российском менталитете. Лекция прочитана и опубликована в 1918 г., а о её актуальности сегодня читатель может судить сам.

И.П. Павлов установил **восемь свойств ума**, которые и перечисляет в приложении к русскому уму*.

1. Первое свойство ума — это чрезвычайное сосредоточение мысли, стремление мысли держаться на том вопросе, который намечен для разрешения, держаться дни, недели, месяцы, годы, а в иных случаях и всю жизнь.

Возьмите гениальных людей. Ведь они сами говорят, что не видят никакой разницы между собой и другими людьми, кроме одной черты, что **могут сосредоточиваться на определенной мысли** как никто. И тогда ясно, что эта сосредоточенность есть сила, а подвижность, беготня мысли есть слабость.

Очевидно, у нас, в России, определяющими чертами являются не сосредоточенность, а натиск, быстрота, налет.

2. Второй признак ума — это стремление мысли придти в непосредственное общение с действительностью, минуя все перегородки и сигналы, которые стоят между действительностью и познающим умом.

Русский ум не привязан к фактам. Он больше любит слова и ими оперирует. Русская мысль совершенно не применяет критики метода, т.е. несколько не проверяет смысла слов, не идет за кулисы слова, не любит смотреть на подлинную действительность. У каждого есть слабость производить сенсацию, каждый любит что-либо прибавить, но все-таки нужна же когда-нибудь и критика, проверка. Этого у нас не полагается. Мы главным образом интересуемся и оперируем словами, мало заботясь о том, какова действительность.

3. Третье свойство ума это свобода, абсолютная свобода мысли, свобода, доходящая прямо до абсурдных вещей, до того, чтобы сметь отвергнуть то, что установлено в науке, как непреложное. Если я такой смелости, такой свободы не допущу, я нового никогда не увижу.

Есть ли у нас эта свобода? Надо сказать, что нет. Разве наши представители в Государственной Думе не враги друг другу? Они не политические противники, а именно враги. Стоит кому-либо заговорить не так, как думаете вы, сразу же предполагаются какие-то грязные мотивы, подкуп и т.д. Какая же это свобода?

4. Следующее качество ума это привязанность мысли к той идее, на которой вы остановились. Вы должны любить свою идею, чтобы стараться для ее оправдания. Но затем наступает критический момент. Вы родили идею, она ва-

* Текст следующих восьми пунктов целиком принадлежит И.П. Павлову.

ша, она вам дорога, но вы вместе с тем должны быть беспристрастны. И если что-нибудь оказывается противным вашей идее, вы должны ее принести в жертву, должны от нее отказаться.

Привязанность у нас есть. Много таких, которые стоят на определенной идее. Но абсолютного беспристрастия — его нет.

5. Пятая черта — это обстоятельность, детальность мысли. Что такое действительность? Это есть воплощение различных условий, степени, меры, веса, числа.

Как эта черта в русском уме? Очень плохо. Мы оперируем общими положениями, мы не хотим знаться ни с мерой, ни с числом. Мы все достоинство полагаем в том, чтобы гнать до предела. Это наша черта.

6. Следующее свойство ума — это стремление мысли к простоте. Простота и ясность — это идеал познания. Наша гордость в ясности. А неясность, неизвестное — лишь печальная неизбежность.

Я на своих лекциях стою на том, чтобы меня все понимали. Я не могу читать, если знаю, что моя мысль входит не так, как я ее понимаю сам. Поэтому у меня первое условие с моими слушателями, чтобы они меня прерывали хотя бы на полуслове, если им что-нибудь непонятно. Иначе для меня нет никакого интереса читать.

Почему же не пользуются этим правом? Понимают? Нет. И тем не менее молчат, равнодушно относясь к своему непониманию. Нет стремления понять предмет вполне... Русский человек, не знаю почему, не стремится понять то, что он видит... Иностранец никогда не удержится от вопроса. У нашей публики есть какое-то стремление к туманному и темному...

7. Следующее свойство ума — это стремление к истине... Но это стремление распадается на два акта. Во-первых, стремление к приобретению новых истин, любопытство, любознательность. А другое — это стремление постоянно возвращаться к добытой истине, постоянно убеждаться и наслаждаться тем, что то, что ты приобрел, есть действительно истина, а не мираж. Одно без другого теряет смысл. Ученого пленяет не столько то, что это новизна, а что это действительно прочная истина. А что же у нас?

А у нас прежде всего — стремление к новизне, любопытство. Достаточно нам что-либо узнать, и интерес наш этим кончается. («А, это все уже известно»).

8. Человек в конце концов постоянно живет в покорности истине, научается глубокому смирению, ибо он знает, что стоит истина. Так ли у нас?

У нас этого нет, у нас наоборот...

И.П. Павлов завершает статью словами: «Вы спросите, для чего я читал эту лекцию, какой в ней толк. Что, я наслаждаюсь несчастьем русского народа? Нет, здесь есть жизненный расчет. Во-первых, это есть долг нашего достоинства — сознать то, что есть. А другое, вот что.

Всегда полезно знать, кто я такой... Ум животных и человека это есть специальный орган развития... Следовательно, хотя бы у нас и были дефекты, они могут быть изменены. У нас могут быть и надежды, и некоторые шансы. Это научный факт...».

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бриллюен Л. Научная неопределенность и информация. М.: Мир, 1966. 271 с.
2. Григорович В.Г., Юдин С.В., Козлова Н.О., Шильдин В.В. Информационные методы в управлении качеством. М.: РИА «Стандарты и качество», 2001. – 208 с.
3. Шадрин А.Д. Менеджмент качества. От основ к практике. М.: НТК «Трек». 2004. 3-е изд. 2006. – 362 с.
4. Волькенштейн М.В. Энтропия и информация. М.: Наука, 1986. – 190 с.
5. Вентцель Е.С. Теория вероятностей. М.: Наука, 1964. 496 с.
6. Трайбус М. Вирусная теория менеджмента. М.: Стандарты и качество, 1999. 96 с.
7. Драчев О.И., Жилин А.А. Статистические методы управления качеством: Учебное пособие. Тольятти: Тольятт. гос. ун-т, 2006. ?? с.
8. Дрейпер Н., Смит Г. Прикладной регрессионный анализ. – М.: Финансы и статистика, 1986, т. 1. 365 с.
9. Фукунага К. Введение в статистическую теорию распознавания / Пер. с англ.; Под ред. А.А. Дорофеева. - М.: Наука, 1979.- 367 с.
10. Рябинин И.А., Черкесов Г.Н. Логико-вероятностные методы исследования надёжности структурно-сложных систем. - М.: Радио и связь, 1981. - 264 с.
11. Голота Я.Я. Об адекватности логики мировоззренческим принципам // Современная логики: проблемы теории, истории и применения в науке.: Тезисы докладов научной конференции./ СПб.: СПбГУ, 1996.- С.6-10.
12. Заде Л. Понятие лингвистической переменной и его применение к приятию приближённых решений. - М.: Мир, 1976. - 165 с.
13. Тисенко В.Н., Голота Я.Я. Логика антонимов - альтернатива теории Заде. В сб.: Нейронные, реляторные и непрерывнологические сети и модели (труды международной научно-технической конференции), Т.2. Ульяновск, 1998.- С.61-64.
14. Инамори К. Страсть к успеху. Японское чудо / Пер. с англ. / Ростов-на-Дону, Феникс, 1998. - 301 с.; Прикладные нечёткие системы / Тэрано Т., Асаи К., Сугено М. и др. - М.: Мир, 1993. - 235 с.
15. Прикладные нечёткие системы / Тэрано Т., Асаи К., Сугено М. и др. - М.: Мир, 1993. - 235 с.
16. Golota Ya.Ya. On a certain formalization of antonyms logic / Fuzzy Sets and Systems. - 1992.-No 45. - PP.335-340.
17. Соломенцев Ю.М., Митрофанов В.Г., Павлов В.В., Рыбаков А.В. Информационно-вычислительные системы в машиностроении: CALS-технологии. – М.: «Наука», 2003. – 292 с.

18. Моделирование и управление движениями формообразования при механической обработке [Текст] / В.Г. Митрофанов [и др.]; Науч. ред. А.И. Кондаков; Закрытое акционерное об-во "ОНИКС" (Об-ние науч., инженерных и коммерческих структур) - Ирбит: ОНИКС, 2011 – 239 с. - (Серия: Автоматизированное проектирование и автоматизация производственных процессов; Под общ. ред. Ю.М. Соломенцева).
19. Шухгальтер Л.Я. Управление качеством машин. – М.: «Машиностроение», 1977. – 96 с.
20. Соколовский А.П. Жесткость в технологии машиностроения. – М.-Л., 1946. – 207 с.
21. Крагельский И.В., Добычин М.И., Комбалов В.С. Основы расчетов на трение и износ. - М.: «Машиностроение», 1977. - 525 с.
22. Рыжов Э.В. Технологические методы повышения износостойкости деталей машин. - Киев: «Наук. Думка», 1984. - 272 с.
23. Инженерия поверхностей деталей / Колл. авт.; под ред. А.Г. Сулова. - М.: «Машиностроение», 2008. - 320 с.
24. Обеспечение эксплуатационных свойств поверхностей деталей при изготовлении [Текст] / А.Н. Кравцов, Н.В. Кравцов; Науч. ред. О.И. Драчев; Закрытое акционерное об-во "ОНИКС" (Об-ние науч., инженерных и коммерческих структур) - Ирбит: ОНИКС, 2011 – 267 с.
25. Обеспечение эксплуатационных свойств изделий при автоматизированном проектировании [Текст] / О.И. Драчев, А.Н. Кравцов, Н.В. Кравцов; Науч. Ред. В.Г. Митрофанов; Закрытое акционерное об-во "ОНИКС" (Об-ние науч., инженерных и коммерческих структур) - Ирбит: ОНИКС, 2011 – 257 с. - (Серия: Автоматизированное проектирование и автоматизация производственных процессов; Под общ. ред. Ю.М. Соломенцева).
26. Анухин В.И. Допуски и посадки. Выбор и расчет, указание на чертежах: Учеб. пособие. 2-е изд., перераб. и доп. СПб.: Изд-во СПбГТУ, 2001. - 219 с.
27. Якушев А.И. Взаимозаменяемость, стандартизация и технические измерения. 6-е изд. М.: Машиностроение, 1986. - 352 с.
28. Вентцель Е.С., Овчаров Л.А. Теория вероятностей и ее инженерные приложения. Учеб. пособие для втузов. – 2-е изд., стер. – М.: «Высшая школа», 2000. – 480 с.
29. Вадзинский Р.Н. Справочник по вероятностным распределениям. – СПб.: «Наука», 2001. – 295 с.
30. Антимонов А.М. Анализ точности механической обработки методом кривых распределения: методические указания для выполнения контрольных работ. – Екатеринбург: «УГТУ-УПИ», 2008. – 29 с.
31. ГОСТ Р ИСО 12100-2-2007. Безопасность машин. Основные понятия, общие принципы конструирования. Часть 2. Технические принципы. - ФГУП «Стандартинформ», М.: 2007. – 31 с.

32. ГОСТ 26387-84. Система "человек-машина". Термины и определения. - ФГУП «Стандартинформ», М.: 2009.
33. ГОСТ 24346-80 Вибрация. Термины и определения. - М.: Издательство стандартов. – 31 с.
34. ГОСТ 2789-73. Шероховатость поверхности. Параметры и характеристики. ИПК «Издательство стандартов», 2003.
35. ГОСТ 24773-81. Поверхности с регулярным микрорельефом. Классификация, параметры и характеристики. Издательство стандартов, 1988.
36. ГОСТ 24642-81. Основные нормы взаимозаменяемости. Допуски формы и расположение. Основные требования и определения. Издательство стандартов, 1982.
37. ГОСТ 2.308-79. ЕСКД. Указание на чертежах допусков формы и расположения поверхностей. ИПК «Издательство стандартов», 2001.
38. ГОСТ 15467-79. Управление качеством продукции. Основные понятия. Термины и определения. Издательство стандартов, 1979.
39. ДСТУ 2823-94. Износостойкость изделий. Трение, изнашивание и смазка. Термины и определения. Государственный комитет стандартизации метрологии и сертификации Украины, 1996.
40. РД 26-15-88. Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность и герметичность фланцевых соединений. Москва 1990.
41. Р 50-83-88. Рекомендации. Расчеты и испытания на прочность. Расчеты на прочность валов и осей. - М.: Государственный комитет по стандартам СССР. – 1989.
42. ГОСТ 5272-68. Коррозия металлов. Термины. ИПК «Издательство стандартов», 1999.
43. ГОСТ Р 52056-2003. Вяжущие полимерно-битумные дорожные на основе блоксополимеров типа стирол-бутадиен-стирол. Технические условия. ИПК «Издательство стандартов», 2003.
44. ГОСТ ИСО 4378-1-2001. Подшипники скольжения. Термины, определения и классификация. Часть 1. Конструкция, подшипниковые материалы и их свойства. ИПК «Издательство стандартов», 2001.
45. Менеджмент на основе стандартов в машиностроении [Текст] / В.Н. Тисенко, А.Д. Шадрин; Под общ. ред. Ю.М. Соломенцева; Закрытое акционерное об-во "ОНИКС" (Об-ние науч., инженерных и коммерческих структур) - Ирбит: ОНИКС, 2011 – 177 с.: ил., табл.; - (Серия: Автоматизированное проектирование и автоматизация производственных процессов).

Аннотации российских стандартов по статистическим методам

ГОСТ Р 50779.0-95 «Статистические методы. Основные положения»

Данный стандарт устанавливает назначение, состав комплекса стандартов по статистическим методам и правила обозначения относящихся к нему государственных стандартов. В нем определены 6 классификационных групп, аналогичные названиям разделов программы работ по стандартизации статистических методов. Здесь также введена схема обозначения российских стандартов, входящих в комплекс "Статистические методы".

ГОСТ Р 50779.10-2000 (ИСО 3534.1-93) «Статистические методы. Вероятность и основы статистики. Термины и определения»

Данный стандарт разработан на основе ISO 3534.1-93 "Statistics - Vocabulary and symbols-Part 1: Probability and general statistical terms» и действует на территории России взамен межгосударственного стандарта ГОСТ 15895 -77 «Статистические методы управления качеством продукции. Термины и определения». Стандарт содержит термины, используемые в теории вероятностей, такие как вероятность, случайная величина, распределение вероятностей и независимость, математическое ожидание и дисперсия, формулировки различных распределений вероятностей и многие другие. Во втором разделе содержатся общие статистические термины, такие как частота, гистограмма, размах, выборочная медиана и среднее арифметическое и др. Следует отметить, что в этом разделе определения относятся к множеству выборочных наблюдений, в отличие от определений первого раздела, сформулированных на языке свойств генеральной совокупности. Для того, чтобы различать параметры генеральной совокупности и результаты вычислений оценок параметров по выборочным данным, к определениям ряда терминов второго раздела добавлено слово «выборочный» или «эмпирический». Третий раздел содержит термины, относящиеся к наблюдениям и результатам проверок. Это такие термины как измеримая величина, истинное и действительное значения, результат проверки и ошибка результата, случайная и систематическая ошибки, точность и правильность результатов проверки, смещение, прецизионность и повторяемость и т. п. Последний, четвертый раздел, содержит термины, относящиеся к выборочным методам, такие как выборка, объем выборки, расслоение, систематический отбор выборок (проб), многостадийный отбор и т.д.

ГОСТ Р 50779.11-2000 (ИСО 3534.2-93) «Статистические методы. Статистическое управление качеством. Термины и определения»

Данный стандарт разработан на основе ISO 3534.2-93 «Statistics - Vocabulary and symbols-Part 2: Statistical quality control» и действует на территории России взамен межгосударственного стандарта ГОСТ' 15895 -77 «Статистические методы управления качеством продукции. Термины и определения».

Стандарт содержит термины и определения понятий в области статистических методов управления качеством продукции и процессами. Термины относятся к понятиям процесса и качества, операциям контроля, к генеральной со-

вокупности и выборкам, к техническим условиям и результатам наблюдений и испытаний. Второй раздел содержит термины, относящиеся к статистическому приемочному контролю, т.е. к выборочным методам, выборочному контролю и его видам, к схемам и системам контроля, к показателям качества и параметрам кривой оперативной характеристики. Третий раздел содержит термины, относящиеся к характеристикам и показателям процессов, в частности определены показатели возможностей процессов, контрольные карты и их виды, а также элементы контрольных карт. Следует отметить, что приложение А содержит термины и определения к ним в области статистического приемочного контроля по ГОСТ Р 50779.30-95.

ГОСТ Р 50779.21-96 «Статистические методы. Правила определения и методы расчета статистических характеристик по выборочным данным. Часть 1. Нормальное распределение»

Данный стандарт разработан на основе ISO 2854-76 "Statistical interpretation of data - Techniques of estimation and tests relating to means and variances" ("Статистическое представление данных - Методы оценки и проверки гипотез о средних значениях и дисперсиях").

Стандарт устанавливает процедуры и методы решения ряда практических задач статистики в случае, когда наблюдаемые величины являются случайными и распределены по нормальному закону.

В стандарте изложены методы решения следующих задач:

- а) точечного оценивания параметров нормального распределения случайной величины;
- б) точечного оценивания вероятности попадания (доли распределения) случайной величины в заданный интервал и вне его;
- в) интервального (доверительного) оценивания параметров и величин, указанных в подпунктах а и б.

Все приводимые процедуры используют ограниченный ряд статистически независимых наблюдений, полученных в производстве, в лабораторных условиях, при контроле, измерении, оценке и т.п.

ГОСТ Р 50779.30-95 «Статистические методы. Приемочный контроль качества. Общие требования»

Данный стандарт устанавливает общие требования к организации и нормативно-методическому обеспечению статистического приемочного контроля качества совокупностей любой продукции, контролируемых и поставляемых в виде партий, потоков, масс и объемов. Документ распространяется на контроль качества продукции, проводимый поставщиком, изготовителем, потребителем и третьей стороной, в том числе при окончательном контроле, приемке, входном контроле, сертификации, инспекции и надзоре за соблюдением требований стандартов, а также при контроле в случае арбитражного или судебного рассмотрения дел. Стандарт может быть применен и в тех случаях, когда поставщики и потребители не являются юридическими лицами, например представляют подразделения одного предприятия.

Стандарт рассматривает процедуры контроля поставщика, потребителя, третьей стороны как единую систему согласованных планов и схем контроля.

Она практически исключает спорные решения по результатам контроля, возможные из-за статистического характера процедур контроля и различных интересов сторон. Согласованность планов и схем контроля обеспечивается правилами и порядком назначения и согласования

определенных исходных данных, необходимых для выбора конкретных планов и схем. Система устанавливает максимально широкие права каждой из сторон по выбору планов и схем контроля, защищая при этом другие стороны от ошибочных решений.

Требования настоящего стандарта следует учитывать в общетехнических стандартах, содержащих схемы, планы и правила статистического приемочного контроля; в стандартах для групп однородной и конкретных видов продукции; в технических условиях; в стандартах предприятий и других документах, определяющих процедуры статистического приемочного контроля.

Стандарт исходит из того, что в соответствии с Законом РФ "О защите прав потребителей" поставщики (изготовители) обязаны полно и достоверно информировать потребителей и общественность о качестве изготавливаемой продукции, в связи с чем процедуры контроля рассматриваются как средства подтверждения или проверки (в зависимости от того, кто их проводит) верности информации о качестве продукции, предоставляемой поставщиком. На изготовителей (поставщиков) возлагается бремя доказывания методами контроля достоверности сообщаемой информации о качестве. Потребители и третьи стороны имеют право проверки верности этой информации, в том числе и верности результатов контроля изготовителя. Но при этом, в случаях возможности предъявления претензий к изготовителю (поставщику) или придания гласности результатам своего контроля, они должны доказывать неверность информации изготовителя (поставщика) о качестве продукции.

Учитывая, что в силу статистической природы контроля всегда возможны с некоторой вероятностью ошибочные решения, каждая сторона, проводящая контроль, должна защитить другие стороны от ошибочных решений, затрагивающих их интересы. Настоящий стандарт устанавливает требования к достоверности соответствующих решений, принимаемых по результатам контроля, позволяющие количественно реализовать сформулированные выше положения.

При оптовых поставках (закупках) продукции партии или другие совокупности продукции являются предметом правовых отношений между поставщиками, потребителями и третьими сторонами, определенных контрактами и Законодательством. Недоброкачественные партии не должны быть поставлены потребителям, а при нарушении этого условия и обнаружении таких партий потребителем они могут быть, в частности, возвращены поставщику целиком. При этом необходимы четкие представления о том, какие партии являются недоброкачественными,

В стандарте используются групповые показатели качества, такие как, например уровни несоответствий, являющиеся количественными показателями качества совокупностей продукции.

Требования к таким показателям становятся критериями качества партий и других совокупностей продукции, позволяющими построить четкие отношения

между сторонами при оптовых поставках (закупках), в том числе и в части организации статистического приемочного контроля.

Идеология стандарта согласуется с идеологией стандартов ИСО серии 9000 и полностью соответствует принципам стандарта QS-9000 «Требования к системам качества» и ИСО/ТУ 16949 «Системы качества для поставщиков автомобильной промышленности. Особые требования по применению стандарта ИСО 9001-94», так как рассматривает контроль, как целую систему равноправных взаимоотношений "поставщик-потребитель".

В приложении к ГОСТу даны рекомендации по применению ГОСТ 18242 и ГОСТ 20736, основанных на концепции приемочного уровня дефектности (AQL).

ГОСТ Р 50779.40-96 (ИСО 7870-93) «Статистические методы. Контрольные карты. Общее руководство и введение»

Стандарт разработан на основе ISO 7870-93 "Control charts - General guide and introduction".

В стандарте установлены ключевые элементы и основные принципы применения контрольных карт, приведена классификация и характеристика видов контрольных карт, включающих в себя карты, аналогичные картам Шухарта, а также карты приемки и прогноза состояния любого процесса, в том числе технологического. Стандарт содержит не только обзор основных принципов и положений, но и сравнительные примеры применения различных контрольных карт.

ГОСТ Р 50779.41-96 (ИСО 7873-93) «Статистические методы. Контрольные карты для арифметических средних с предупреждающими границами»

Стандарт разработан на основе ISO 7873-93 "Control charts for arithmetic average with warning limits".

Стандарт устанавливает процедуры статистического регулирования процесса при помощи контрольных карт, основанных на вычислении арифметического среднего в выборке и использующих предупреждающие границы.

ГОСТ Р 50779.42-99 (ИСО 8258-91) «Статистические методы. Контрольные карты Шухарта»

Стандарт разработан на основе ISO 8258-91 «Shewhart control charts».

Стандарт является руководством к использованию и пониманию подхода Шухарта к статистическому управлению процессом и устанавливает процедуры построения и применения только карт этого вида.

Контрольные карты Шухарта строят на основе выборочных данных, полученных на основе измерений параметров изделий данного процесса, и взятых в регулярные промежутки времени. Каждая подгруппа (выборка) состоит из элементов одной и той же продукции или услуги, и имеет одинаковые измеряемые параметры и объем. Из каждой подгруппы (выборки) получают одну или более статистических характеристик, например среднее, разброс или стандартное отклонение. Контрольная карта Шухарта является графическим отображением значений данной характеристики подгруппы по отношению к ее номеру. Она включает в себя центральную линию, расположенную в соответствии с уста-

новленным или искомым значением статистической характеристики и двух статистически определяемых контрольных границ, расположенных по обеим сторонам от центральной линии. В стандарте приведены два основных вида контрольных карт Шухарта, а также по количественному с заданным или неизвестным стандартным значением и качественному признакам. В документе представлены последовательные этапы, начиная с основных принципов построения карты, до процедур контроля и интерпретации контрольных карт. Для различных видов карт Шухарта в стандарте приводятся примеры. В приложении А приведены некоторые методы формирования подгрупп.

ГОСТ Р 50779.43-99 (ИСО 7966-93) «Статистические методы. Приемочные контрольные карты»

Стандарт разработан на основе ISO 7966-93 «Acceptance control charts».

В настоящем стандарте установлен графический метод оценки статистически управляемого состояния процесса с учетом вариаций в выборках. С помощью приемочной контрольной карты можно решать двойную задачу оценки состояния процесса: находится ли изменчивость, присущая процессу в стабильном состоянии; можно ли ожидать, что продукция или услуга соответствует требованиям к измеряемой характеристике. В отличие от контрольных карт Шухарта основным предположением для приемочных контрольных карт является то, что процесс может оставаться в состоянии контроля на любом уровне в пределах допустимой зоны.

В данном стандарте для определения приемочной контрольной карты необходимо установить следующие параметры:

- приемлемый уровень процесса (ARL) с α -риском (браковка допустимого процесса);
- неприемлемый уровень процесса (RPL) с β -риском (принятие недопустимого процесса);
- критерий принятия решений или приемочные контрольные границы (ACL);
- объем выборки n .

При задании в технических требованиях двух из этих четырех параметров, оставшиеся два находятся через установленные параметры. В стандарте приводятся рекомендации по построению карт с учетом любой пары из числа указанных.

Описание процедур в документе сопровождается рядом примеров. В приложении А для построения приемочных контрольных карт приводятся номограммы. Приложение В содержит условия, при которых поставщик может согласовать процедуру статистического приемочного контроля на основе NQL с методом приемочных контрольных карт.

ГОСТ Р 50779.50-95 «Статистические методы. Приемочный контроль качества по количественному признаку. Общие требования»

Данный стандарт входит в группу стандартов по статистическому, приемочному контролю в системе согласованных планов и схем контроля поставщика, потребителя и третьей стороны. Данный стандарт устанавливает требования к нормированию качества партий штучной продукции, правила выбора

планов и схем статистического приемочного контроля по количественному признаку и критерии принятия решений о соответствии или несоответствии партий продукции установленным требованиям.

В нем требования к качеству партий продукции заданы в виде нормативного уровня несоответствий по одному или нескольким количественно измеряемым показателям качества.

Условием применения настоящего стандарта является устойчивость производственного процесса изготовления продукции, а также согласование сторонами (поставщиком и потребителем) вида вероятностного распределения значений по каждому контролируемому показателю качества продукции.

Таким образом стандарт применим в случае одновременного выполнения следующих условий:

1) в технических требованиях (технологической документации) на изделие дл; каждого измеряемого показателя качества установлены наибольшее шп; наименьшее предельное значение показателя или оба предельных значения (границы поля допуска);

2) для каждого показателя качества и установленных предельных значений в договоре на поставку (контракте) указан критерий качества партий в виде нормативного уровня несоответствий NQL;

3) процедуру контроля применяют к одиночной партии дискретных изделий или последовательным партиям дискретных изделий, поставляемых одним изготовителем, который использует один производственный процесс;

4) контроль проводят по одному или нескольким количественно измеряемым показателям качества изделий;

5) производство стабильно и значения показателей качества изделий соответствуют признаваемому обеими сторонами вероятностному распределению.

Если имеется несколько поставщиков, то устанавливаемые настоящим стандартом процедуры контроля рекомендуется применять к каждому из них в отдельности. При этом предполагается определенная статистическая устойчивость при переходе от контроля одной партии к другой для каждого поставщика.

ГОСТ Р 50779.51-95 «Статистические методы. Непрерывный приемочный контроль качества по альтернативному признаку»

Данный стандарт входит в группу стандартов по статистическому приемочному контролю в системе согласованных планов и схем контроля поставщика, потребителя и третьей стороны. Данный стандарт устанавливает требования к нормированию качества потоков штучной продукции и правила выбора планов непрерывного статистического приемочного контроля (НСПК) по альтернативному признаку на основе каталога планов контроля.

НСПК является одним из средств обеспечения уверенности потребителя в качестве поставляемой поставщиком продукции, а также средством подтверждения способности поставщика обеспечить требуемое качество поставок продукции, формирование которой в партии технически невозможно или экономически нецелесообразно.

Требования данного стандарта подлежат применению в тех случаях, когда поставщик в одностороннем порядке или поставщик и потребитель устанавливают критерии качества потоков продукции в виде нормативного уровня несоответствий NQL.

ГОСТ Р 50779.52-95 «Статистические методы. Приемочный контроль качества по альтернативному признаку»

Данный стандарт входит в группу стандартов по статистическому приемочному контролю в системе согласованных планов и схем контроля поставщика, потребителя и третьей стороны. Данный стандарт устанавливает требования к нормированию качества партий штучной продукции, порядок применения и правила выбора планов и схем статистического приемочного контроля по альтернативному признаку на основе каталога планов и схем контроля,

Стандарт включает в себя каталог одноступенчатых и двухступенчатых планов и схем СПК. на основе которого для установленных и (или) согласованных исходных данных

1) в технических требованиях (технологической документации) на изделие для каждого измеряемого показателя качества установлены наибольшее или наименьшее предельное значение показателя или оба предельных значения (границы поля допуска);

2) для каждого показателя качества и установленных предельных значений в договоре на поставку (контракте) указан критерий качества партий в виде нормативного уровня несоответствий NQL;

3) процедуру контроля применяют к одиночной партии дискретных изделий или последовательным партиям дискретных изделий, поставляемых одним изготовителем, который использует один производственный процесс;

4) контроль проводят по одному или нескольким количественно измеряемым показателям качества изделий;

5) производство стабильно и значения показателей качества изделий соответствуют признаваемому обеими сторонами вероятностному распределению.

Если имеется несколько поставщиков, то устанавливаемые настоящим стандартом процедуры контроля рекомендуется применять к каждому из них в отдельности. При этом предполагается определенная статистическая устойчивость при переходе от контроля одной партии к другой для каждого поставщика.

ГОСТ Р 50779.53-98 «Статистические методы. Приемочный контроль качества по количественному признаку для нормального закона распределения. Часть 1. Стандартное отклонение известно»

Данный стандарт входит в группу стандартов по статистическому приемочному контролю в системе согласованных планов и схем контроля поставщика, потребителя и третьей стороны. Устанавливаемые стандартом процедуры полностью соответствуют основным положениям ГОСТ Р 50779.50, обеспечивая корректные взаимоотношения между поставщиком, потребителем и третьей стороной в части качества поставок совокупностей продукции. В данном проекте требования к качеству партий продукции заданы в виде нормативного уровня несоответствия по количественно измеряемому показателю качества.

Условиями же применения стандарта является устойчивость производственного процесса изготовления продукции, а также согласование сторонами (поставщиком и потребителем) нормального закона распределения значений по каждому контролируемому показателю качества продукции.

ГОСТ Р 50779.70-99 (ИСО 2859.0-95) «Статистические методы. Процедуры выборочного контроля по альтернативному признаку».

Часть 0. Введение в систему выборочного контроля по альтернативному признаку на основе приемлемого уровня качества AQL»

Стандарт разработан на основе ISO 2859.0 «Statistical methods. Sampling procedures for inspection by attributes. Part 0. Introduction to the ISO 2859 attribute sampling system using an acceptable quality level AQL».

Настоящий стандарт устанавливает основы выборочного контроля по альтернативному признаку на основе приемлемого уровня качества AQL, дает краткую характеристику процедурам выборочного контроля, применяемых при контроле отдельных партий на основе предельного качества LQ (ГОСТ Р 50779.72); процедурам с пропуском партий, применяемым в случае, когда качество процесса значительно лучше AQL в течение определенного продолжительного периода поставки или наблюдения (ГОСТ Р 50779.73); а также процедурам выбора последовательных планов, по альтернативному признаку (ГОСТ Р 50779.75).

Данный стандарт распространяется на контроль непрерывных серий партий, поступающих из одного источника.

ГОСТ Р 50779.70 состоит из двух основных разделов. В разделе 2 «Введение в статистический приемочный контроль» приведены трактовка терминов, практические рекомендации по применению выборочного контроля по альтернативному признаку, а также некоторые сопутствующие концепции. В разделе 3 «Система ГОСТ Р 50779.71» даны подробные комментарии и примеры применения процедур контроля выбора планов по таблицам, приведенным в ГОСТ Р 50779.71.

Приложение поясняет взаимосвязь процедур статистического приемочного контроля на основе AQL и NQL (по ГОСТ Р 50779.30 и ГОСТ Р 50779.52).

ГОСТ Р 50779.71-99 (ИСО 2859.1-89) «Статистические методы. Процедуры выборочного контроля по альтернативному признаку».

Часть 1. Планы выборочного контроля последовательных партий на основе приемочного уровня качества AQL»

Стандарт разработан на основе ISO 2859.1-89 «Statistical methods. Sampling procedures for inspection by attributes. Part 1. Sampling plans indexed by acceptable quality level (AQL) for lot-by-lot inspection».

Настоящий стандарт устанавливает систему выборочного контроля по альтернативному признаку на основе объема партии, уровней контроля и приемлемого уровня качества AQL, а также планы и схемы контроля для партий штучной продукции, поступающих на контроль непрерывными сериями от одного источника.

Цель стандарта - способствовать влиянию на поставщика экономически и психологически путем возможного отклонения партий, а также способствовать

поддержанию среднего уровня качества процесса на установленном приемлемом уровне AQL, обеспечивая одновременно выбранную верхнюю границу риска потребителя (риска приемки партий с низким качеством).

Стандарт содержит одно-, двух- и многоступенчатые планы выборочного контроля на основе процента несоответствующих единиц продукции или числа несоответствий на 100 единиц.

Данные планы выборочного контроля предназначены для контроля последовательности партий с применением правил переключения, при необходимости, на нормальный, ослабленный или усиленный контроль.

Эти планы обеспечивают:

- автоматическую защиту потребителя в случаях обнаружения снижения качества через переключение на усиленный контроль или прекращение контроля;
- снижение затрат на контроль при достижении стабильного уровня качества и переключении на ослабленный контроль.

Выборочные планы применимы не только для контроля готовой продукции, но и комплектующих, материалов, операций обслуживания, данных или записей, административных процедур и т.д.

Приложение поясняет взаимосвязь процедур статистического приемочного контроля на основе AQL и NQL (по ГОСТ Р 50779.30 и ГОСТ Р 50779.52).

ГОСТ Р 50779.72-99 (ИСО 2859.2-85) «Статистические методы. Процедуры выборочного контроля по альтернативному признаку.

Часть 2. Планы выборочного контроля отдельных партий на основе предельного качества LQ»

Стандарт разработан на основе ISO 2859.2-85 «Statistical methods. Sampling procedures for inspection by attributes. Part 2. Sampling plans indexed by limiting quality LQ for isolated lot inspection».

Настоящий стандарт устанавливает выборочные планы и процедуры на основе предельного качества LQ для контроля по альтернативному признаку, которые можно использовать там, где не действуют правила переключения ГОСТ Р 50779.71, Применение выборочного приемочного контроля предполагает четкое определение критериев качества, используемых для единиц штучной продукции, составляющих партию, уровня качества продукции, планируемого для процесса изготовления, пересмотр планов и последующих процедур, если партия отклонена. Кроме того, рекомендуется строить схему выборочного контроля таким образом, чтобы ее можно было оговорить при заключении контракта на поставку. Настоящий стандарт максимально учитывает действующие планы ГОСТ Р 50779.71 и предлагает рациональную серию планов, построенных на основе предельного качества LQ.

Планы контроля в основном рассчитаны для одиночных партий (процедура А) или для контроля отдельных партий (процедура В), где использование правил переключения затруднено. Процедуру А применяют в случае, если и поставщик, и потребитель рассматривают партию как отдельную. Процедуру В применяют в случае, когда изготовитель рассматривает партию как часть непрерывной серии, а потребитель - как отдельную. В этих процедурах предель-

ное качество является индикатором реального процента несоответствующих единиц продукции в предъявляемых партиях.

Планы контроля, установленные в стандарте, позволяют изготовителю поддерживать соответствующие процедуры контроля независимо от того, получает ли потребитель отдельные партии или партии из последовательной серии. Изготовитель связан со всеми аспектами производства, в то время как отдельный потребитель - конкретно с поступающей партией. Для процедуры А планы определяются объемом партии и предельным качеством; для процедуры В - объемом партии, предельным качеством и уровнем контроля. При процедуре А применяют планы с приемочным числом равным 0, в то время как процедура В такое число не допускает. Двух- и многоступенчатые планы контроля используют в качестве альтернатив одноступенчатым планам выборочного контроля при процедуре В, и планам с ненулевым значением приемочного числа при процедуре А.

Приложение поясняет взаимосвязь процедур статистического приемочного контроля на основе AQL и NQL (по ГОСТ Р 50779.30 и ГОСТ Р 50779.52).

ГОСТ Р 50779.73-99 (ИСО 2859.3-91) «Статистические методы. Процедуры выборочного контроля по альтернативному признаку. Часть 3. Процедуры выборочного контроля с пропуском партий»

Стандарт разработан на основе ISO 2859.3-91 «Statistical methods. Sampling procedures for inspection by attributes. Part 3. Skip-lot sampling procedures».

Положения стандарта являются частью общей системы выборочного контроля, которая изложена в ГОСТ Р 50779.70 и ГОСТ Р 50779.71. В стандарте приведена процедура сокращения объемов контроля продукции, поставляемой производителем, который продемонстрировал свою способность стабильно и эффективно изготавливать качественную продукцию и овладел эффективными методами управления качеством. Тем не менее эту процедуру не применяют при контроле характеристик продукции, касающихся безопасности персонала. Процедура контроля с пропуском партий учитывает планы контроля ГОСТ Р 50779.71 и предназначена исключительно для непрерывной серии партий и абсолютно неприменима для отдельных партий. Ожидается, что все партии из серии будут одинакового качества, и у потребителя нет оснований для сомнений относительно того, что непроконтролированные партии будут худшего качества по сравнению с партиями, прошедшими контроль. При контроле с пропуском партий некоторые партии из серии могут приниматься без контроля при условии, что результаты контроля для указанного числа партий в настоящий момент отвечают заданным требованиям. Партии выбираются случайным образом и поступают с заданной частотой,

называемой «частотой контроля с пропуском партий». Сокращение затрат на контроль достигается путем отбора из предъявляемых на контроль партий по случайному признаку с заданной вероятностью партий, которые пройдут с контролем или без него.

Контроль проводят у поставщика или потребителя, или на стыке между операциями производственного процесса. Процедуры с "пропуском партий

предназначены для использования совместно с планами для последовательных партий по ГОСТ Р 50779.71.

Приложение поясняет взаимосвязь процедур статистического приемочного контроля на основе AQL и NQL (по ГОСТ Р 50779.30 и ГОСТ Р 50779.52).

ГОСТ Р 50779.74-99 (ИСО 3951-89) «Статистические методы. Процедуры выборочного контроля и карты контроля по количественному признаку для процента несоответствующих единиц продукции»

Стандарт разработан на основе ISO 3951-89 «Statistical methods. Sampling procedures and charts for inspection by variables for percent nonconforming».

Настоящий устанавливает систему выборочного контроля, включающую объем партии, уровень контроля, AQL. Он дополняет ГОСТ Р 50779.71. Оба этих стандарта имеют общую философию и назначение. ГОСТ Р 50779.74 применяют для контроля показателей качества продукции, измеряемых в непрерывной шкале и имеющих нормальное распределение или близкое к нему. Партия считается неприемлемой, если для распределения показателя качества продукции оценки среднего и изменчивости (дисперсии) не отвечают критериям приемки с заданными предельными значениями с отдельными уровнями качества или с общим уровнем качества. В стандарте приводится числовой и графический критерий приемки. Процедуры рассчитаны для случая с известным и неизвестным стандартным отклонением. В стандарте содержатся рекомендации по применению данных процедур в сочетании с выборочным контролем по альтернативному признаку, при котором наиболее важные параметры продукции контролируются по количественному признаку.

Данный стандарт в основном рассчитан на контроль непрерывной серии партий, поступающих из одного источника, и достаточно большой для возможности применения правил переключения.

Приложения к стандарту содержат процедуры получения s и a ; теоретическое обоснование процедур контроля по количественному признаку; планы контроля для R-метода; графическую бумагу для s-метода; взаимосвязь положений стандарта на основе приемлемого уровня качества AQL с ГОСТ Р 50779.30, ГОСТ Р 50779.50, ГОСТ Р 50779.52.

ГОСТ Р 50779.75-99 (ИСО 8422-91) «Статистические методы. Последовательные планы выборочного контроля по альтернативному признаку»

Стандарт разработан на основе ISO 8422-91 «Statistical methods. Sequential sampling plans for inspection by attributes».

Настоящий стандарт содержит планы последовательного приемочного выборочного контроля партии по альтернативному признаку. Изделия выбирают и представляют на контроль последовательно один за другим. По мере того, как каждое отдельное изделие проконтролировано, принимается решение о необходимости продолжения контроля, принятии или забраковании партии. Как правило, применение плана последовательного контроля приводит к тому, что средний объем выборки уменьшается по сравнению с

одноступенчатыми планами контроля с одной и той же оперативной характеристикой. Но в некоторых конкретных случаях необходимый для контроля объем выборки может в значительной мере и превосходить объем выборки для

плана одноступенчатого контроля. В стандарте приводится общий метод построения планов последовательного контроля с заданными рисками потребителя и изготовителя, а также содержатся таблицы планов выборочного контроля с заданным риском изготовителя, равным 5%, и риском потребителя, равным 10%. В приложении А приведены планы последовательного выборочного контроля, которые соответствуют аналогичным планам ГОСТ Р 50779.71. Определение значений параметров выборочных планов и расчет оперативных характеристик и средних объемов выборки -- в приложениях В, С соответственно. Приложение D содержит рекомендации по выбору планов с учетом требований ГОСТ Р 50779.30.

ГОСТ Р 50779.76-99 (ИСО 8423-91) «Статистические методы. Последовательные планы выборочного контроля по количественному признаку для процента несоответствующих единиц продукции (стандартное отклонение известно)»

Стандарт разработан на основе ISO 8423-91 «Statistical methods. Sequential sampling plans for inspection by variables for percent nonconforming (known standard deviation)».

Целью настоящего стандарта является построение планов последовательного приемочного выборочного контроля партий для процента несоответствий по количественному признаку для случаев с известным стандартным отклонением.

В данном стандарте процедура выборочного контроля рассматривается как последовательная, если изделия выбираются и проходят контроль одно за другим. По результатам контроля каждого отдельного изделия принимается решение о принятии или забраковании партии. Обычно применение планов последовательного выборочного контроля ведет к уменьшению средних объемов выборки в отличие от одноступенчатого контроля с одной и той же оперативной характеристикой. Но в отдельных случаях необходимый объем выборки может устанавливаться значительно выше, чем при одноступенчатом контроле. В стандарте предлагается общий метод построения планов последовательного выборочного контроля с заданными рисками потребителя и изготовителя, а также содержатся таблицы планов выборочного контроля с заданным риском изготовителя, равным 5%, и риском потребителя, равным 10%. В приложении А приведены планы последовательного выборочного контроля, которые , соответствуют аналогичным планам ГОСТ Р 50779.74. Определение значений параметров выборочных планов и расчет оперативных характеристик и средних объемов выборки - в приложениях В, С соответственно. Приложение D содержит рекомендации по выбору планов с учетом требований ГОСТ Р 50779.30.

ГОСТ Р 50779.77-99 «Статистические методы. Планы и процедуры статистического приемочного контроля нештучной продукции»

Стандарт разработан на основе проекта ISO/DIS 10725 «Statistical methods. Acceptance sampling plans and procedures for the inspection of bulk materials».

Стандарт устанавливает планы статистического приемочного контроля по количественному признаку, а также критерии приемлемости партий при разумных затратах на контроль нештучной продукции, такой как химические промышленные продукты в виде порошков, гранул, сельскохозяйственных продук-

тов. Методы контроля, установленные стандартом, могут быть применены (при соблюдении определенных

условий) и к таким материалам как газы, жидкости, твердые вещества, эмульсии и суспензии. Результаты контроля и экономические факторы побуждают поставщика поставлять на рынок партии нештучной продукции, обеспечивающие высокую вероятность приемки. Потребитель при этом защищен низкой вероятностью принятия партий с неудовлетворительным качеством.

В стандарте рассмотрены процедуры приемки и для некоторых особых случаев, таких как приемка жидкостей при больших стандартных отклонениях.

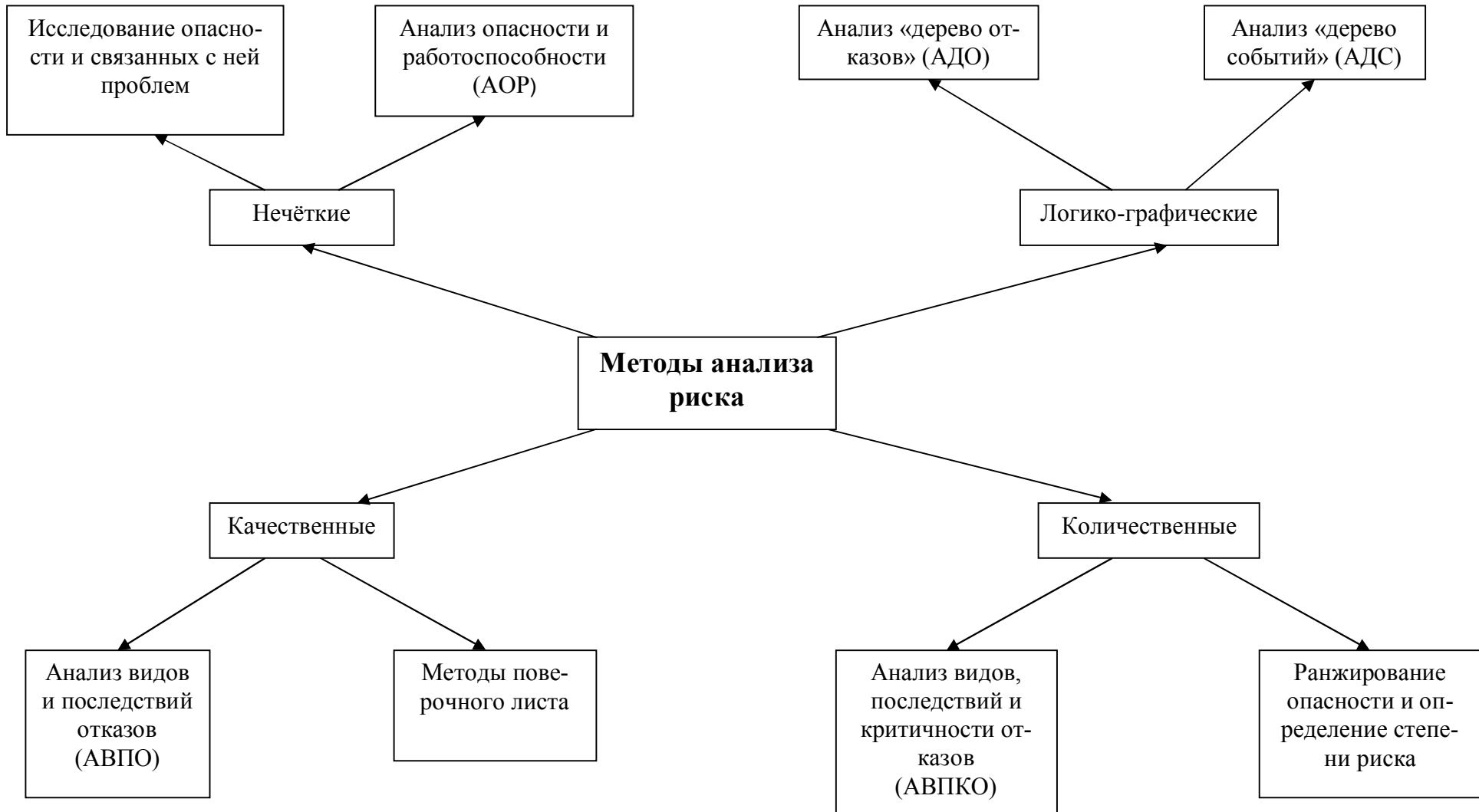
Настоящий стандарт применим при соблюдении следующих условий:

- выборочное среднее партии (для одной характеристики качества продукции) является главным фактором в определении приемлемости партии;
- известно точное или приближенное значение стандартного отклонения каждой характеристики качества;
- продукция поступает на контроль непрерывными сериями партий.

Приложение А содержит альтернативные планы статистического приемочного контроля и процедуры приемки, когда стандартное отклонение измерений является основной характеристикой при выборе планов контроля; приложение В - специальные процедуры для случая многих характеристик качества; приложение С - теоретическое обоснование; приложение D - оперативные характеристики.

В приложении Е указана взаимосвязь настоящего стандарта с действующей нормативной документацией. В приложении F приведены примеры применения положений настоящего стандарта.

Классификация методов анализа отказов и риска



ПРИЛОЖЕНИЕ 3.А.

Пример работы 4-х фазной модели РФК для проекта «Автомобильная дверь»

1 - Матрица планирования продукта - автомобильная дверь

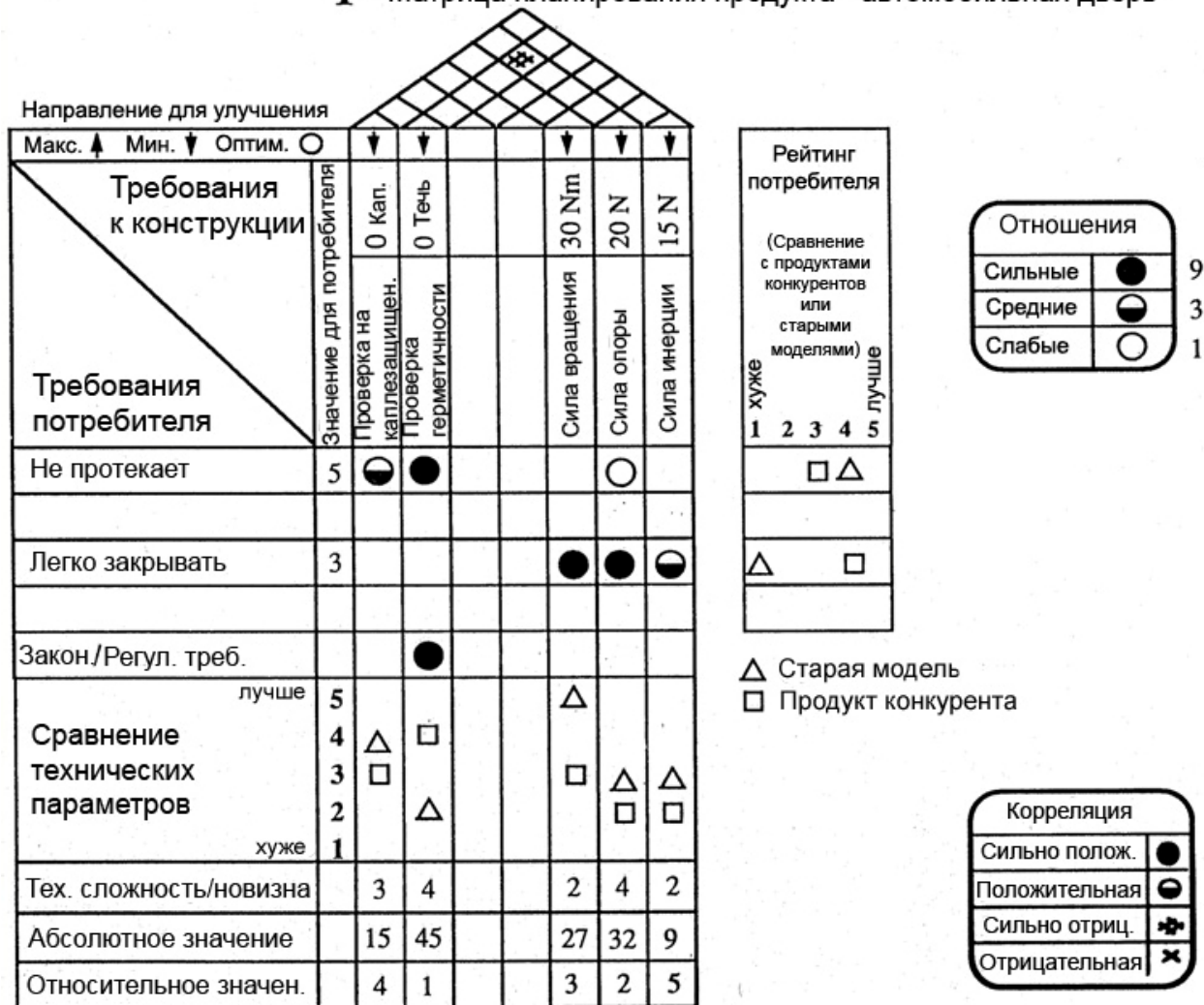


Рисунок А.1 Матрица «Дом качества» для проекта «Автомобильная дверь»

2 - Матрица развертки части - автомобильная дверь

Характеристики части		Знач. для потребит.		20 Nm		10 N		50 squ. mm	
				Проект. специф.				Спецификация	
				Замок		Изоляция		Петля	
				Сила для закрытия		Поперечное сечение	Усилие на дверь	Несущая поверхность	Смазка
Требования к конструкции									
0 Течь	Проверка герметичности	5		◐	●				
20 N	Сила опоры	2	○		●				
30 Nm	Сила вращения	1					●	◐	
Техн. сложность / новизна		3		2	3		4	3	
Абсолютное значение		2		15	63		9	3	
Относительное значение		5		2	1		3	4	

Рисунок А.2 Матрица развертки части для проекта «Автомобильная дверь»

3 - Матрица планирования процесса -автомобильная дверь

Ключевые операции процесса		Значения критического параметра	коэф.	°C		Pa	°C		°C		
				Уплотнение двери							
				Элементы процесса		Смесь	Нагрев	Прессов.		Послед. вулканиз.	
				Параметры критического процесса		Состав смеси	Температура	Давление		Температура	Температура
Характеристики составной части		Значимость	Состав смеси	Температура		Давление		Температура	Температура		
Проект. спец.	Уплотнение двери		1			●	◐		○		
		Попер. сечение									
10 N		Усилие на дверь	5	●	◐	●	○		○		
Проблема в характеристиках процесса				●		●					
Абсолютное значение				45	15		54	8		6	
Относительное значение				2	3		1	4		5	

Рисунок А.3 Матрица планирования производства для проекта «Автомобильная дверь»

4 - Матрица планирования производства

Ключевые операции процесса			Проблема в характ. проц.	Значимость	Частота	Серьезность	Неспособность к определению	Общая оценка	Карты статист. контроля	Планир. профилакт. обслуж.	Защита от ошибок	Тренинг и обучение	
Значения критич. парамет.	Элементы процесса		Параметры критического процесса										
Коэф.	Уплотнение двери	Смешивание	Состав смеси	●	4	1	3	3	9	●	●	●	●
°C		Нагрев	Температура		1	2	2	1	4				
Pa	Уплотнение двери	Пресс.	Давление	●	5	1	3	1	3		●		●

Оценка оператора
Требования к планированию

Рисунок А.4 Матрица планирования процесса для проекта «Автомобильная дверь»

ПРИЛОЖЕНИЕ 3.Б.

Пример выполнения шагов нового метода РФК

В рамках данного примера показано использование «нового» метода РФК после того, как выполнены шаги (в данном примере выполнение данных шагов не приводится) по установлению целей проекта, определению потребительских сегментов, изучению контекста, в котором существуют ключевые потребительские сегменты (в том числе и посещение объекта применения продукта).

Первой наиболее важной задачей при выполнении метода Новый РФК является фиксирование всей имеющейся информации о потребителе в специальной таблице, называемой таблицей «голоса клиента» (табл. Б.1). Данная

таблица используется для определения потребностей на основе имеющихся наблюдений и утверждений потребителя.

В левой части таблицы записывается информация, относящаяся непосредственно к потребителю, то есть имеющиеся проблемы, возможности, которые он хочет реализовать и его характеристики.

Таблица Б.1

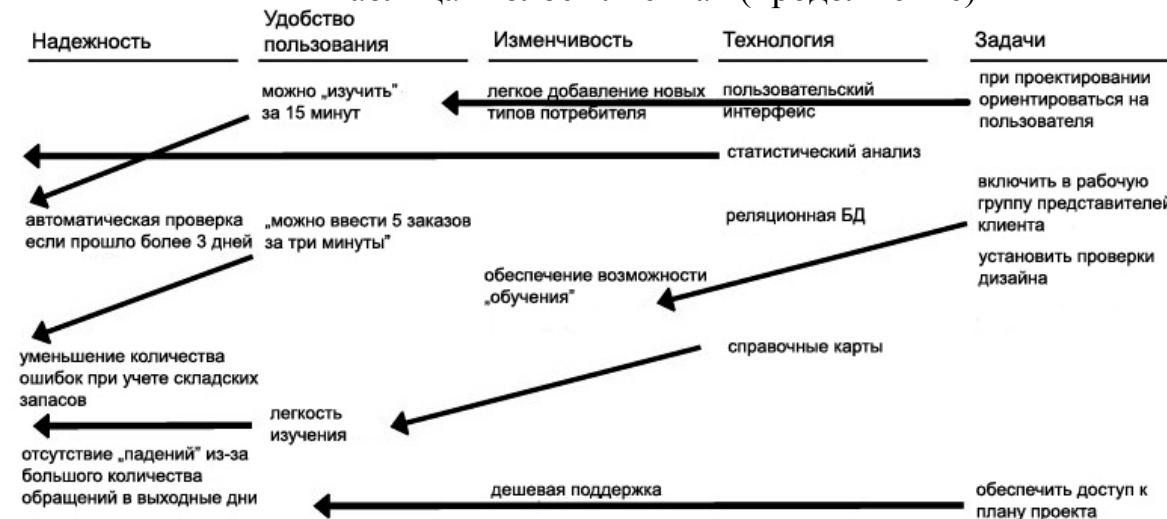
Таблица «голос клиента»



В левой части таблицы фиксируется информация, относящаяся к различным аспектам проекта, такая как высказывания, наблюдения или аналитические заключения по части функциональных и нефункциональных требований к разрабатываемому продукту (табл. Б.2).

Таблица Б.2

Таблица «голос клиента» (продолжение)



После того, как обе части таблицы «голос клиента» заполнены, определяются потребности, фиксируемые в соответствующей графе таблицы.

После установления первоначального набора потребностей клиента определяется его структура. Для этого используется Группировочная диаграмма (См. Рисунок Б.1). Первым шагом создания данной диаграммы является определение главной потребности клиента экспертным путем. После того, как главная потребность клиента установлена, выбираются потребности второго уровня важности. Формулировки данных потребностей соответствуют названиям групп, по которым затем распределяются все остальные потребности, зафиксированные в таблице «голос клиента». Если одну и ту же потребность нельзя однозначно отнести к какой-либо группе, то допускается её включение в состав нескольких групп (См. Рисунок Б.1).

В деятельности по созданию группировочной диаграммы важно участие представителя потребителя.

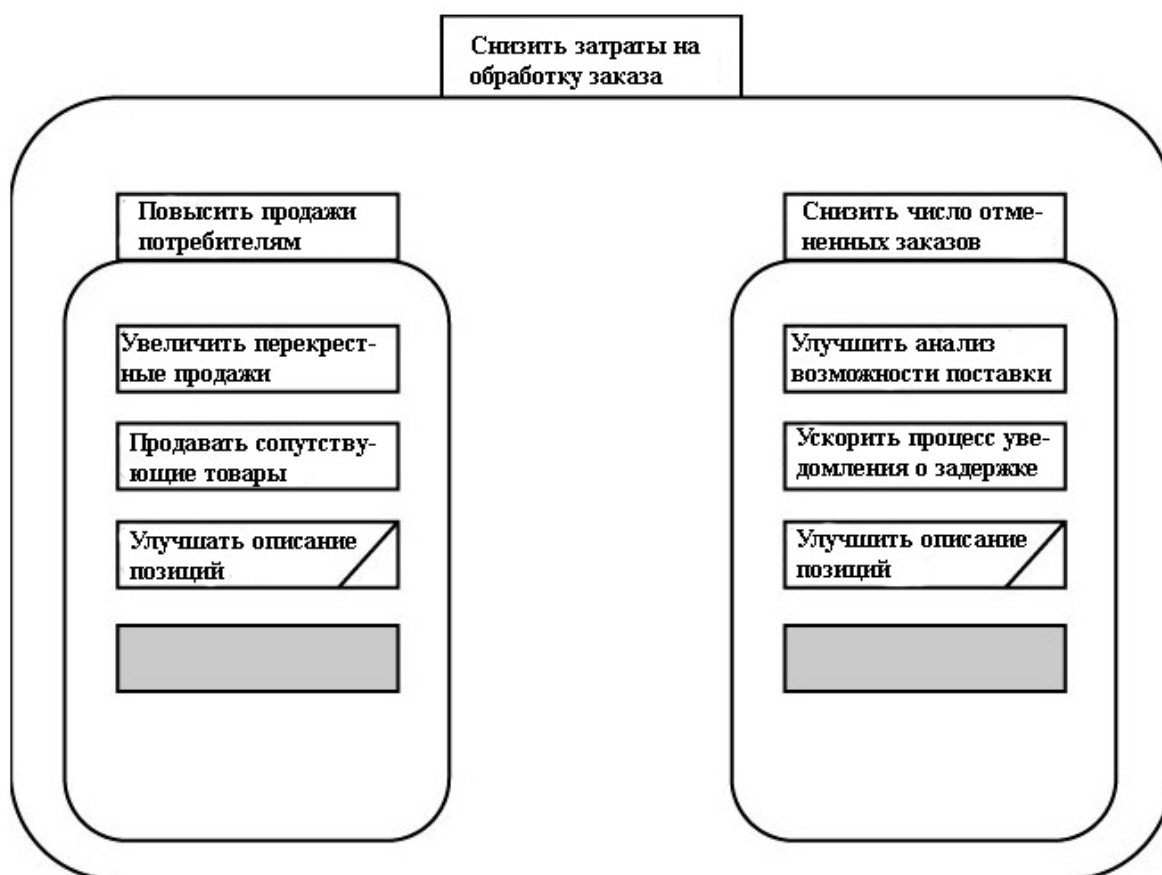


Рисунок Б.1. Группировочная диаграмма

Так определяется структура потребностей клиента, необходимая для дальнейшего их анализа.

После определения и согласования с потребителем или его представителем структуры потребностей можно провести анализ для выявления пропущенных и неучтенных потребностей, удовлетворение которых может существенным образом оказать влияние на успех проекта. Для проведения такого анализа можно использовать диаграмму иерархии.

После проведения анализа с использованием диаграммы иерархии получается полный набор потребностей клиента (См. Рисунок Б.2).

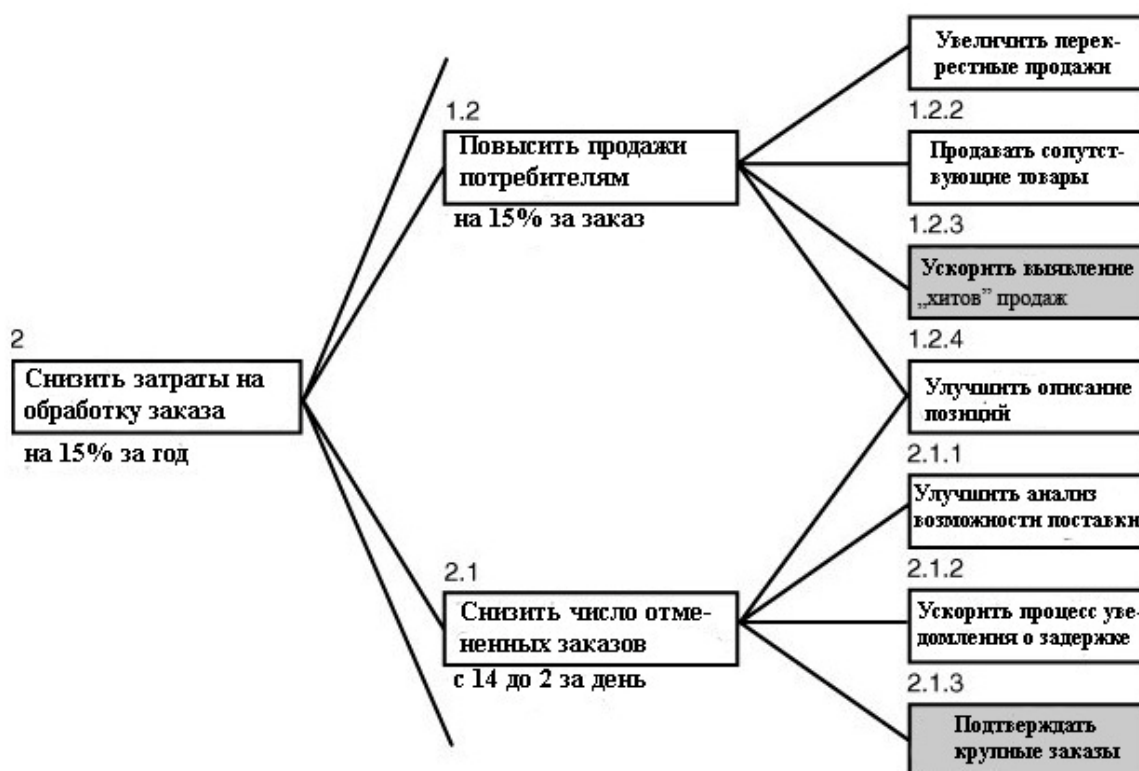


Рисунок Б.2. Диаграмма иерархии

Когда все потребности клиента установлены, необходимо определить те из них, которые оказывают наибольшее влияние на удовлетворенность потребителя в целом. Для этого, с помощью матрицы парного сравнения, определяется глобальный и локальный приоритет каждой потребности (табл. Б.3).

Таблица Б.3.

Парное сравнение значимости потребностей

Потребности покупателей	1	2	3	4	нормализованные показатели				о б щ е	с р е д н е
	увеличить перекрестные продажи	Продавать сопутствующие товары	Ускорить выявление хитов продаж	Улучшить описание позиций	1	2	3	4		
1 Увеличить перекрестные продажи	1	2	3	9	0.51	0.58	0.42	0.36	1.87	0.468
2 Продавать сопутствующие товары	1/2	1	3	8	0.26	0.29	0.42	0.32	1.29	0.322
3 Ускорить выявление хитов продаж	1/3	1/3	1	7	0.17	0.10	0.14	0.28	0.69	0.172
4 Улучшить описание позиций	1/9	1/8	1/7	1	0.06	0.04	0.02	0.04	0.15	0.038
итого	1.9	3.5	7.1	25.0	1.0	1.0	1.0	1.0	4.0	1.0

Полученные результаты фиксируются на диаграмме иерархии в графе локальные приоритеты. Далее вычисляются глобальные приоритеты путем вычисления того, какой вклад вносит выполнение того или иного требования в выполнение требования самого высокого уровня. После того, как глобальные приоритеты вычислены, происходит ранжирование потребностей, определяются наиболее значимые из них, менее значимые потребности отбрасываются, как не первостепенные для выполнения. Далее выполняется их ренормализация и фиксирование результатов в соответствующей графе диаграммы иерархии (См. Рисунок Б.3.)

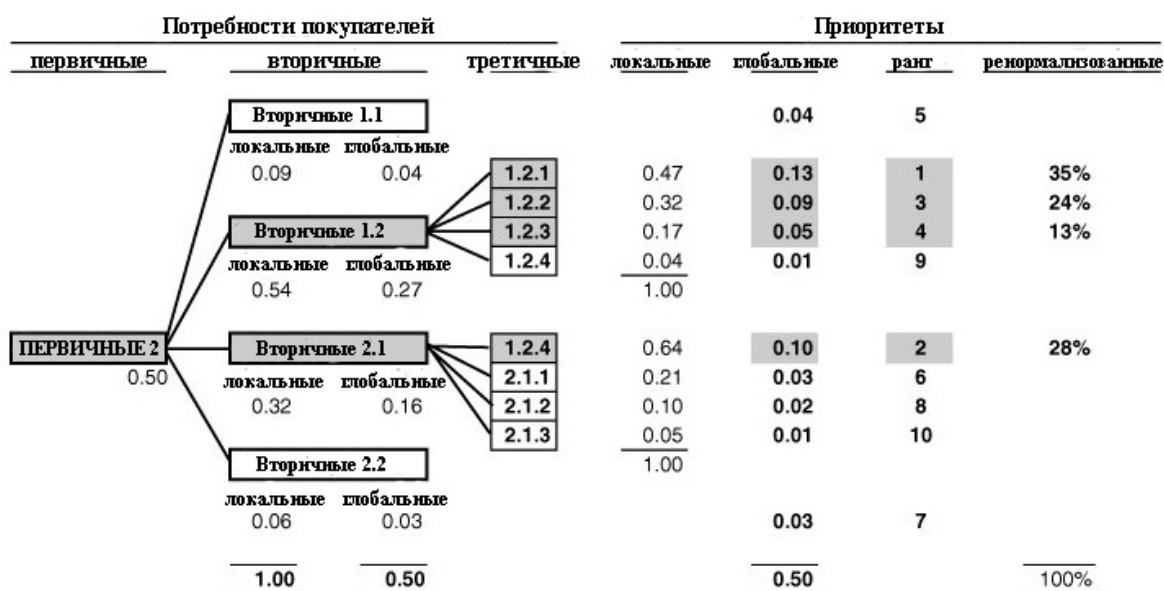


Рисунок Б.3. Диаграмма иерархии (продолжение)

Далее следует зафиксировать наиболее важные потребности, установленные с помощью диаграммы иерархии, в левой части таблицы максимальной

ценности (табл. Б.4.). Затем следует провести анализ связи данных потребностей с различными измерениями проекта с целью определения задач, являющихся первостепенными для выполнения, которые записываются в правой части таблицы максимальной ценности (табл. Б.5.).

Таблица Б.4.

Таблица максимальной ценности (начало)

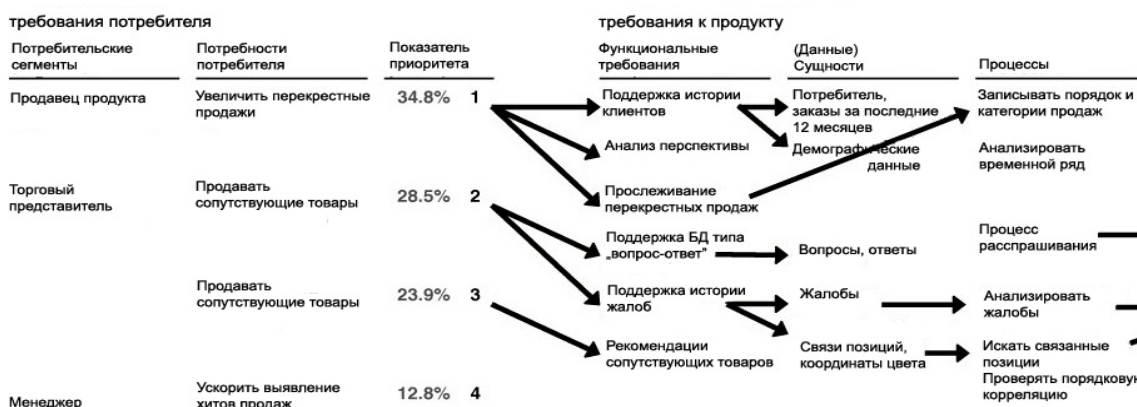
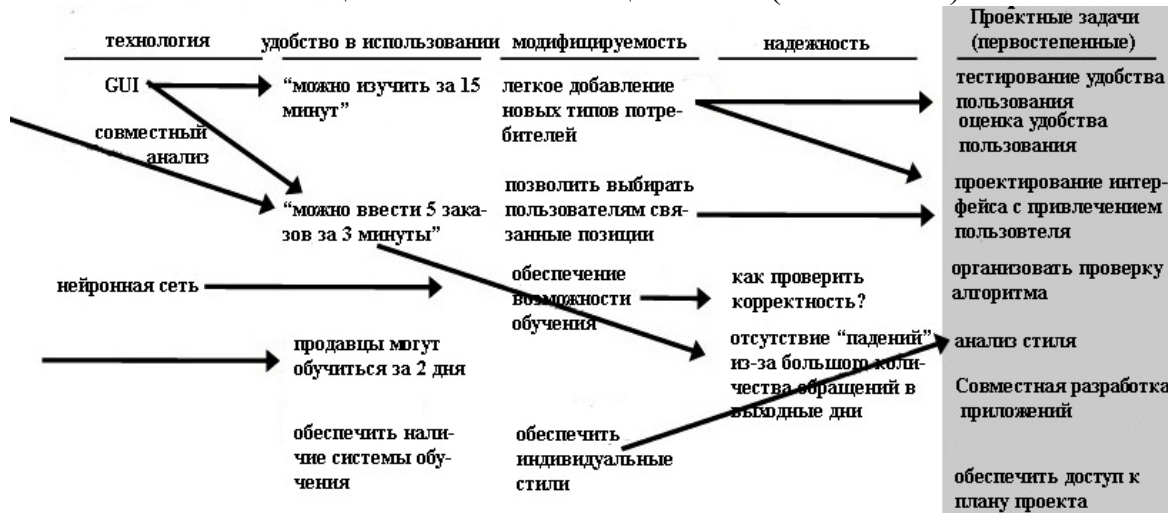


Таблица Б.5.

Таблица максимальной ценности (окончание)



Научно-техническое издание

Тисенко Виктор Николаевич
Шадрин Александр Давыдович
Драчев Олег Иванович
Илюшин Илья Андреевич
Кравцов Алексей Николаевич
Кравцов Николай Владимирович

ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ СРЕДСТВА МЕНЕДЖМЕНТА

ISBN 978-5-9903090-2-9



Компьютерная верстка, техн. и худ. ред.: авторская.

Подписано в печать 21.11.2011 г.	Формат 60x84 1/16
Бумага писчая	Печать плоская
Научн.-техн. изд.	Тираж 600 экз.
	Усл. печ. л. 13,56
	Заказ № 567.2

ЗАО «ОНИКС» г. Ирбит
623850, г. Ирбит, Свердловской обл., ул. Первомайская, д.12,
<http://www.irbit.nm.ru>, <http://www.oniks.hut2.ru>
ООО «Типография «Форум»»
445621, г. Тольятти, Самарская обл., ул. М. Горького, д. 96