

*В.А. БАРВИНОК, В.Е. ГОДЛЕВСКИЙ,
Е.А. СТРЕЛЬНИКОВ*

**МЕНЕДЖМЕНТ КАЧЕСТВА
В МАШИНОСТРОЕНИИ**

**Часть 3. МЕТОДЫ И ИНСТРУМЕНТЫ
МЕНЕДЖМЕНТА КАЧЕСТВА**

2007



САМАРА

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ
ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САМАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АЭРОКОСМИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ имени академика С.П. КОРОЛЕВА»

В.А. БАРВИНОК, В.Е. ГОДЛЕВСКИЙ, Е.А. СТРЕЛЬНИКОВ

МЕНЕДЖМЕНТ КАЧЕСТВА В МАШИНОСТРОЕНИИ

Часть 3. МЕТОДЫ И ИНСТРУМЕНТЫ МЕНЕДЖМЕНТА КАЧЕСТВА

Под общей редакцией член-корреспондента РАН,
доктора технических наук, профессора,
президента Поволжского отделения Академии проблем качества РФ
В.А. Барвинка

*Утверждено Редакционно-издательским советом университета
в качестве учебного пособия*

САМАРА
Издательство СГАУ
2007

УДК 658.562
ББК 65.290
Б 218



**Инновационная образовательная программа
"Развитие центра компетенции и подготовка
специалистов мирового уровня в области аэро-
космических и геоинформационных технологий"**

Рецензенты: докт. техн. наук, профессор В.А. Васильев,
канд. техн. наук, доцент Г.Е. Беляшевский

Барвинок В.А.

Б 218 **Менеджмент качества в машиностроении. Ч.3. Методы и инструменты менеджмента качества: учеб. пособие / В.А. Барвинок, В.Е. Годлевский, Е.А. Стрельников.** – Самара: Изд-во Самар. гос. аэрокосм. ун-та, 2007. – 80 с. : ил.

ISBN 978-5-7883-0604-9

Представлено краткое описание методов менеджмента качества, применяемых на машиностроительных предприятиях. Пособие состоит из трех частей. В третьей части рассматриваются семь основных и семь новых инструментов менеджмента качества, нашедших широкое применение в японской промышленности, освещены методы статистического управления процессами и методы анализа измерительных и контрольных процессов, а также даны основы оригинальных методов менеджмента качества, широко применяющихся за рубежом при массовом производстве.

Учебное пособие предназначено для студентов, обучающихся по специальностям: «Самолето- и вертолетостроение», «Ракетостроение»; «Космические летательные аппараты и разгонные блоки», «Динамика и прочность машин», «Обработка металлов давлением», «Технология и оборудование обработки металлов давлением», «Двигатели внутреннего сгорания», «Авиационные двигатели и энергетические установки», «Стандартизация и сертификация», «Управление качеством» и др.

УДК 658.562
ББК 65.290

ISBN 978-5-7883-0604-9

© Барвинок В.А., Годлевский В.Е.,
Стрельников Е.А., 2007
© Самарский государственный
аэрокосмический университет, 2007

ОГЛАВЛЕНИЕ

ОГЛАВЛЕНИЕ	3
1. ОСНОВНЫЕ ИНСТРУМЕНТЫ МЕНЕДЖМЕНТА КАЧЕСТВА	4
1.1. Контрольный листок	5
1.2. Гистограммы	7
1.3. Расслоение	8
1.4. Диаграмма Парето	10
1.5. Диаграмма Исикавы	11
1.6. Диаграммы рассеивания	13
1.7. Контрольные карты	15
1.8. Семь новых инструментов менеджмента качества	16
2. МЕТОДЫ СТАТИСТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССАМИ	23
2.1. Применение контрольных карт	24
2.2. Контрольные карты для количественного признака	27
2.3. Контрольные карты для альтернативного признака	34
2.4. Оценка возможностей и пригодности процесса	40
2.5. Компьютерные средства поддержки процедуры SPC	42
3. МЕТОДЫ АНАЛИЗА ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ И КОНТРОЛЬНЫХ ПРОЦЕССОВ (MSA)	45
3.1. Методы анализа измерительного процесса	45
3.2. Методы анализа контрольного процесса	53
3.3. Компьютерные средства поддержки процедуры MSA	58
4. МЕТОДЫ МЕНЕДЖМЕНТА КАЧЕСТВА ПРИ МАССОВОМ ПРОИЗВОДСТВЕ	62
4.1. Перспективное планирование качества продукции (APQP)	62
4.2. Развёртывание функций качества (QFD)	65
4.3. Система определения ключевых параметров (СОКП)	67
4.4. Анализ видов и последствий потенциальных дефектов (FMEA)	68
4.5. Одобрение производства поставщика (PPAP)	71
4.6. Аудит и оценивание системы менеджмента качества (QSA)	73
4.7. Решение проблем качества продукции (8D)	74
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	78
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	79

1. ОСНОВНЫЕ ИНСТРУМЕНТЫ МЕНЕДЖМЕНТА КАЧЕСТВА

Все принимаемые менеджментом решения должны опираться на факты, а не только на интуицию. Обычно в основе интуиции лежит обобщение некоторого предыдущего опыта. Но выводы, сделанные на основе одного или двух наблюдений, могут оказаться ошибочны. Поэтому прежде, чем принимать решение, надо сначала собрать все имеющиеся данные (то есть набрать статистический материал), затем проанализировать их и только потом предпринимать те или иные действия.

Однако сам по себе статистический материал без обработки и анализа не дает возможности решить проблему и не может служить основой для принятия решений. Измеряя какой-либо показатель качества (длину или диаметр детали, количество бракованных изделий в партии и т.п.), мы получаем просто ворох чисел. Нужны какие-то способы, дающие возможность сравнивать полученные данные и сделать вывод [3].

Один из разделов математики – математическая статистика – как раз и занимается методами обработки и анализа статистического материала. Обычно используют две числовые характеристики рассматриваемого параметра (в математике говорят «случайной величины»), которые показывают среднее значение, принимаемое этой случайной величиной, и ее разброс (рассеивание) относительно среднего значения.

Современный подход к управлению качеством рассматривает все виды деятельности организации как совокупность процессов. На результаты любого процесса оказывают влияние множество случайных и неслучайных факторов. Поэтому всякий процесс обладает изменчивостью (вариабельностью).

Случайные факторы называются случайными причинами изменчивости, неслучайные факторы – особыми причинами.

Если на процесс воздействуют только случайные факторы, то говорят, что он *статистически управляем*, если есть неслучайные факторы (особые причины), говорят, что процесс *неуправляем*.

Если на случайную величину воздействуют много случайных факторов, то ее распределение близко к нормальному закону Гаусса, то есть графически представляется в виде нормальной кривой (рис. 1.1). При этом 68,3% ее значений попадают в интервал длиной 2σ (где σ – стандартное отклонение), 95,4% значений попадают в интервал длиной 4σ , 99,73% значений попадают в интервал длиной 6σ .

Для успешного достижения качества необходимо, чтобы процессы были стабильны и управляемы. К простейшим методам оценки и управления качеством процессов можно отнести также и общеизвестные методы расче-

та индексов воспроизводимости или индексов надежности, настроенности процесса – в литературе встречаются различные названия для C_p и C_{pk} .

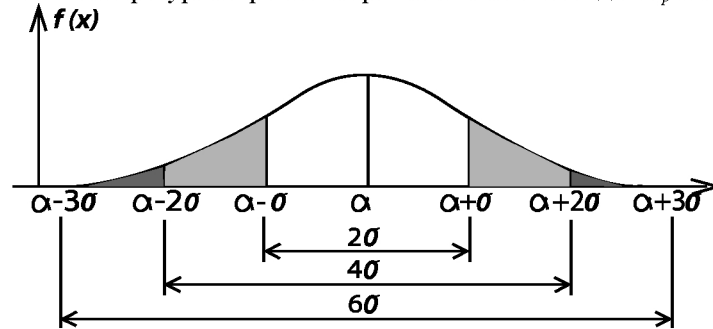


Рис. 1.1. Нормальная (гауссовская) кривая

Стремясь наиболее эффективно использовать статистические методы управления качеством, японские специалисты разработали такие процедуры, которые достаточно просты для применения, то есть не требуют специальных знаний, но в то же время дают результаты, позволяющие профессионалам оперативно анализировать и совершенствовать производственный процесс.

Совокупность используемых методов, получивших название «семь простых методов контроля качества», включает приемы сбора информации, а также способы ее обработки и анализа. К ним относятся [10]:

- контрольные листки;
- гистограмма;
- расслоение (стратификация);
- диаграмма Парето;
- диаграмма Исикавы (причинно-следственная диаграмма);
- диаграмма рассеивания;
- контрольные карты.

Рассмотрим каждый из этих методов [14].

1.1. Контрольный листок

Анализ любого вида деятельности возможен только на основании имеющейся информации, поэтому применение каждого из методов контроля качества должно начинаться со сбора необходимых данных. От того, насколько разумно организован сбор данных, зависит полнота, достоверность и пригодность полученных результатов, правильность сделанных выводов, эффективность принятых на основе анализа фактов управленческих решений и корректирующих действий.

Прежде всего, необходимо четко сформулировать цель сбора интересующих нас сведений (контроль и регулирование производственного про-

цесса; анализ отклонений от установленных требований; контроль продукции и т.д.). После установки целей продумывают: какие типы данных нужно собрать, их характер, частоту, способы измерения, надежность получаемых результатов и т.п. Так как для анализа данных используются различные статистические методы, то в процессе сбора информации следует позаботиться об упорядочении получаемых результатов, чтобы облегчить их последующую обработку. Основным инструментом для сбора и автоматического упорядочивания данных являются контрольные листки.

Контрольный листок - это бумажный бланк для первичного сбора и упорядочивания информации.

Основные требования, предъявляемые к контрольному листку:

- простота фиксации результатов наблюдений;
- наглядность полученных результатов;
- полнота данных.

Для достижения этих требований необходимо заранее продумать форму контрольных листков и постоянно совершенствовать эту форму с учетом замечаний и пожеланий тех, кто заполняет контрольные листки. Следует стремиться к тому, чтобы при фиксации результатов требовалось производить минимум записей, например, просто делать отметки в нужных графах. Хорошо, когда в результате автоматически получается гистограмма или диаграмма рассеивания. Но при этом контрольный листок должен содержать максимум исходной информации (не просто диаметр валика, а станок, на котором изготавливалась деталь, смена, время, обрабатываемая партия и т.п.).

Так как полученная информация необходима для последующего анализа причин дефектов, связанных как с несовершенством технологического процесса, так и с различными другими факторами, то следует требовать очень тщательного заполнения всех граф контрольного листка. Пренебрежение какими-либо данными, например, о номере партии или времени измерения исследуемого параметра, может потребовать последующего дополнительного сбора информации, что усложнит работу.

На рис. 1.2 показан контрольный листок для регистрации видов дефектов, используемый при приемочном контроле некоторой детали. Здесь фиксируются определенные несоответствия, выявляемые контролером, и в конце рабочего дня можно быстро подсчитать число и разновидности обнаруженных несоответствий. Такой контрольный листок удобен для последующего построения диаграммы Парето, но он не дает возможности расчленения данных, то есть разбивки их на группы, например, по времени или месту изготовления детали. Для выявления причин несоответствий бывает удобно не просто фиксировать количество и виды несоответствий, но и отслеживать место их локализации. В результате анализа такого контрольного листка проще выявлять возможные причины возникновения исследуемого дефекта.

Контрольный листок		
Наименование изделия:		Дата:
Производственная операция: приемочный контроль		Участок:
Тип дефекта: царапина, пропуск операции, трещина, неправильная обработка		Фамилия контролера:
Общее число проконтролированных изделий: 1525		Номер партии:
Примечания: по всем изделиям		Номер заказа:

Тип дефекта	Результат контроля	Итоги по типам дефектов
Поверхностные царапины	/// /// /// //	17
Трещины	/// /// /	11
Пропуск операции	/// /// /// /// /// /	26
Неправильное исполнение операции	///	3
Другие	///	5
	Итого:	62
Общее число забракованных деталей	/// /// /// /// /// /// /// /// //	42

Рис. 1.2. Контрольный листок видов дефектов

1.2. Гистограммы

Очень удобно оценивать поведение процесса с помощью графиков распределения контролируемого параметра. На практике по результатам измерений обычно строят не кривую распределения, а гистограмму, которая тоже дает представление о характере распределения.

Гистограмма – это столбиковая диаграмма, служащая для графического представления распределения частот количественного показателя.

Обычно, при построении гистограммы весь диапазон измеренных значений случайной величины разбивают на некоторое число интервалов и для каждого интервала подсчитывают количество значений, попавших на данный интервал (частоту n_i). Далее строят прямоугольники, площади которых пропорциональны соответствующим частотам. В результате получают ступенчатую фигуру, верхний контур которой приблизительно соответствует графику плотности распределения исследуемой величины (рис. 1.3). Гистограммы достаточно удобны для визуальной оценки качества процесса. При этом обычно на шкале значений наблюдаемого параметра отмечают нижнюю и верхнюю границы поля допуска (НГД и ВГД) и через эти точки проводят две прямые, параллельные столбцам гистограммы. Если вся гистограмма оказывается внутри границ поля допуска (рис. 1.3 а), то процесс статистически устойчив и не требует никакого вмешательства.

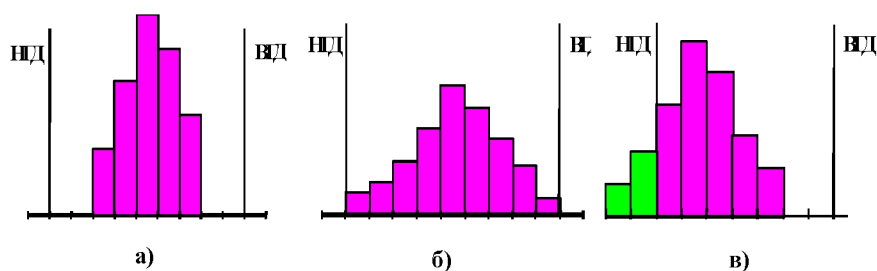


Рис. 1.3. Применение гистограмм для оценки качества процесса

Если левая и правая границы гистограммы совпадают с границами поля допуска (рис. 1.3 б), то желательно уменьшить разброс процесса, так как любое воздействие может привести к появлению изделий, не удовлетворяющих допуску. Если часть столбцов гистограммы оказывается за границами поля допуска, то необходимо провести регулировку процесса так, чтобы сместить среднее ближе к центру поля допуска (рис. 1.3 в).

Если по характеру гистограммы можно предполагать, что исследуемый показатель подчиняется нормальному закону распределения, то для оценки качества процесса пользуются понятием *воспроизводимость*. Так как 99,7% значений нормальной случайной величины попадает в интервал $(-3\sigma; 3\sigma)$, то доля несоответствующих изделий тесно связана с взаимным расположением этого интервала и поля допуска. Коэффициенты, характеризующие это расположение, называются индексами воспроизводимости и будут рассмотрены подробно в разделе 2.4.

1.3. Расслоение

При анализе состояния процесса с помощью контрольных карт или гистограмм может оказаться, что требуются какие-либо управляющие воздействия с целью устранения причин статистической неустойчивости процесса. Однако, если на процесс оказывают влияние несколько различных факторов, то бывает полезно рассмотреть действие каждого из этих факторов отдельно. Например, если сборка изделия производится на нескольких поточных линиях, то имеет смысл сгруппировать данные по соответствующим линиям и строить контрольные карты (или гистограммы) для каждой группы данных отдельно.

Расслоение - это разделение и группировка исследуемых данных в соответствии с различными факторами.

Обычно при исследовании производственной проблемы производят группировку данных по следующим пяти признакам:

- исполнители: квалификация, стаж работы, пол и т.д.;
- оборудование: фирма-производитель, конструкция, марка, продолжительность эксплуатации и т.д.;

- материал: место производства, состав, номер партии, поставщик сырья и т.п.;
- способ производства: технологические приемы, температура, скорость обработки, место производства и т.д.;
- методы измерений: тип измерительных средств, их точность, метод измерения и фиксации результатов и т.п.

При проведении расслоения стремятся добиться того, чтобы разброс данных (стандартное отклонение S) внутри одного слоя был меньше, чем разброс в исходной (нерасслоенной) совокупности, а средние значения ($\bar{X}$) для разных групп (слоев) данных существенно отличались.

Пример. Обработка валков происходит на двух шлифовальных станках. Технологический процесс должен быть настроен на диаметр $8,8 - 0,6$ (мм). По результатам контрольных замеров валков после шлифовки была получена гистограмма, изображенная на рис. 1.4 а.

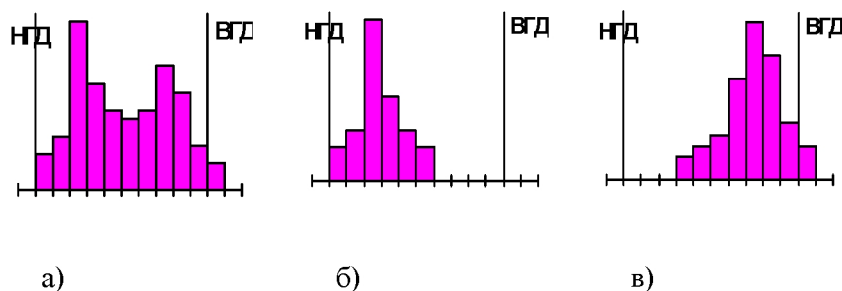


Рис. 1.4. Различные виды гистограмм:

- а) общая гистограмма: $n = 100$; $\bar{X} = 8.51$; $s = 0.134$;
 б) гистограмма для I станка: $n = 50$; $\bar{X} = 8.39$; $s = 0.065$;
 в) гистограмма для II станка: $n = 50$; $\bar{X} = 8.61$; $s = 0.081$

Так как эта гистограмма имеет явно выраженный двухпиковый тип, было проведено расслоение, то есть рассмотрение данных по каждому станку отдельно. В результате получены гистограммы, представленные на рис. 1.4 б, 1.4 в. Таким образом было обнаружено, что на первом станке среднее значение и разброс меньше, чем на втором. Из рисунков видно, что на втором станке необходима переналадка, так как процесс вышел за правую границу поля допуска. Здесь нужно провести настройку на центр поля спецификации и постараться уменьшить разброс. На первом станке результаты удовлетворительные, но при настройке желательно сместить среднее ближе к центру поля допуска.

Мы рассмотрели инструменты, которые направлены на контроль качества процесса. Однако есть и другие инструменты, которые позволяют выявить узкие места и наиболее насущные проблемы и наметить пути их устранения, то есть осуществлять управление качеством.

1.4. Диаграмма Парето

В 1897 г. итальянский экономист В. Парето предложил формулу распределения благ в обществе. Он показал, что в большинстве случаев наибольшая доля доходов или благ принадлежит небольшому числу людей.

Доктор Д. Джуран применил это рассуждение в сфере контроля качества, назвав его *анализом Парето*. Он разделял проблемы качества на немногочисленные, но существенно важные, и многочисленные, но несущественные. Джуран утверждал, что в большинстве случаев подавляющее число дефектов и связанных с ним потерь возникают из-за относительно небольшого числа причин, и иллюстрировал этот тезис с помощью диаграммы, которую назвал *диаграммой Парето*.

Диаграмма Парето - это графическое представление степени важности причин или факторов, влияющих на исследуемую проблему.

Диаграммы Парето бывают двух видов:

1) *Диаграмма Парето по результатам деятельности* помогает выявить главную проблему и отражает нежелательные результаты деятельности:

- в сфере качества (дефекты, отказы, рекламации, ремонты);
- в сфере себестоимости (объем потерь, затраты);
- в сфере поставок (нехватка запасов, ошибки в составлении счетов, срывы сроков поставок);
- в сфере безопасности (несчастные случаи, аварии).

2) *Диаграмма Парето по причинам* отражает причины проблем, возникающих в ходе производства, и помогает выявить главную:

- по кадрам (смена, бригада, возраст, опыт работы, квалификация, индивидуальные характеристики работника);
- по оборудованию (станки, агрегаты, инструментальная оснастка, модели, штампы, технология);
- по сырью (вид сырья, поставщик, партия);
- по методам работы (условия производства, приемы работы, последовательность операций).

Построение диаграммы Парето начинают с классификации возникающих проблем по отдельным факторам (проблемы, относящиеся к браку, или к работе оборудования, или к сырью и т.д.). Затем производят сбор статистического материала по каждому фактору и сводят данные в общую таблицу, располагая их по степени убывания зарегистрированной частоты появления. Далее строят столбиковую диаграмму, в которой столбики расположены в порядке убывания (высота каждого столбика пропорциональна частоте появления фактора). Последний столбик отражает группу «прочих» факторов, поэтому он может оказаться немного выше соседнего. Однако следует стремиться к тому, чтобы частота этой группы была не слишком большой.

Высоты столбиков суммируют и строят кумулятивную (накопленную) ломаную, которую называют *кривой Парето* (рис. 1.5). Таким образом, на диаграмме Парето высоты столбцов указывают степень влияния каждого фактора на всю проблему в целом, а кривая Парето позволяет оценить изменение результата при устранении нескольких наиболее существенных факторов. После выявления проблемы путем составления диаграммы Парето по результатам полезно составить диаграмму Парето по причинам. Тогда появляется возможность определить причины возникновения проблемы и, следовательно, наметить пути устранения выявленной главной причины. Это позволяет найти наиболее эффективный способ решения проблемы.

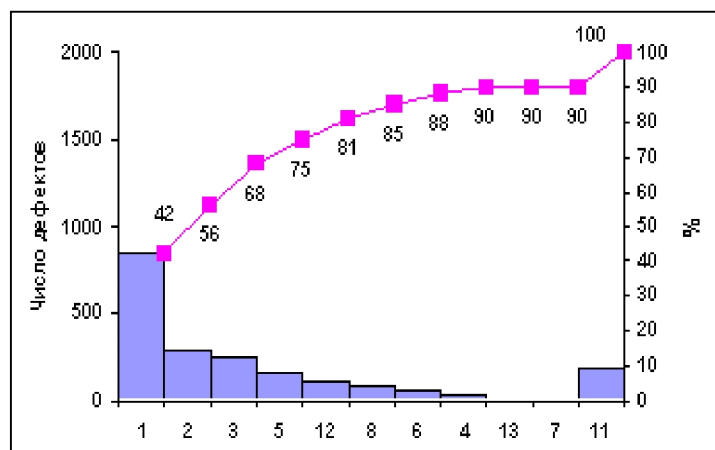


Рис. 1.5. Диаграмма Парето

Следует заметить, однако, что если какой-либо нежелательный фактор можно устранить сразу с помощью простого решения, это надо сделать немедленно (каким бы незначительным этот фактор ни был). При этом из рассмотрения исключается несущественный фактор, который просто перестает воздействовать. Если группа «прочие» факторы составляет большой процент, то надо попытаться использовать какой-либо другой способ классификации (группировки) признаков. При этом может возникнуть необходимость в дополнительных исследованиях. Этого не следует бояться. Вообще для выявления сути проблемы имеет смысл строить много различных диаграмм Парето, исследуя самые разные факторы и способы их взаимодействия. Только в этом случае становится понятно, какие из факторов наиболее существенны и каковы возможные пути их преобразования.

1.5. Диаграмма Исикавы

Как уже было отмечено, результат процесса зависит от многочисленных факторов, причем некоторые из них могут влиять на другие, то есть

быть связанными отношениями «причина – результат (следствие)». Знание структуры этих отношений, то есть выявление цепочки причин и результатов, позволяет успешно решать проблемы управления, в том числе и проблемы управления качеством. Для удобства анализа структуры причин и результатов используют диаграммы Исикавы – причинно-следственные диаграммы.

В области контроля качества *диаграмма Исикавы* - это диаграмма, которая показывает отношение между показателем качества и воздействующими на него факторами.

В 1953 г. Исикава, профессор Токийского университета, обсуждая проблему качества с инженерами одного из заводов, суммировал их мнение в форме такой диаграммы. Затем эту диаграмму стали широко применять во многих японских компаниях, и даже включили в японский промышленный стандарт (JIS) на терминологию в области контроля качества.

В настоящее время причинно-следственная диаграмма используется во всем мире применительно не только к показателям качества продукции, но и к другим областям.

Диаграмму причин и результатов иногда называют диаграммой «рыбий скелет» в силу ее специфического вида (рис. 1.6). Исследуя определенный показатель качества, стремятся сформулировать главные факторы, влияющие на этот показатель. Факторы, подлежащие рассмотрению, обычно включают: оборудование, инструмент, материал, метод измерений, способ производства, персонал. Начиная строить диаграмму, проводят горизонтальную линию, упирающуюся справа в показатель качества (результат). Главные виды причин (факторы первого уровня) располагают вдоль этой линии, соединяя с ней стрелками-«притоками». Затем выделяют вторичные факторы, и помещают их в виде «притоков» к соответствующим главным стрелкам; далее отмечают более мелкие факторы и т. д.

Таким образом, для составления диаграммы Исикавы надо установить структуру взаимовлияний факторов и проранжировать их по значимости. Чтобы диаграмма была пригодна для дальнейшего использования, на ней необходимо указать всю сопутствующую информацию (название, наименование изделия, процесса, участников процесса и т. п.).

После того, как все факторы, влияющие на данный показатель качества, оказались отраженными на диаграмме, нетрудно установить степень их важности. Наиболее значимые, оказывающие самое сильное воздействие, следует отметить, чтобы именно им уделить наибольшее внимание при последующей работе.

Часто диаграммы Исикавы используют для систематизации списка причин. В этом случае при исследовании определенного показателя качества стараются найти максимальное число причин, влияющих на этот показатель, а уже затем располагают их в диаграмму причин-результатов, связывая все факторы в единую иерархическую структуру. Для поиска причин

иногда применяют активное обсуждение методом «мозгового штурма», придуманным в США А.Ф. Осборном.

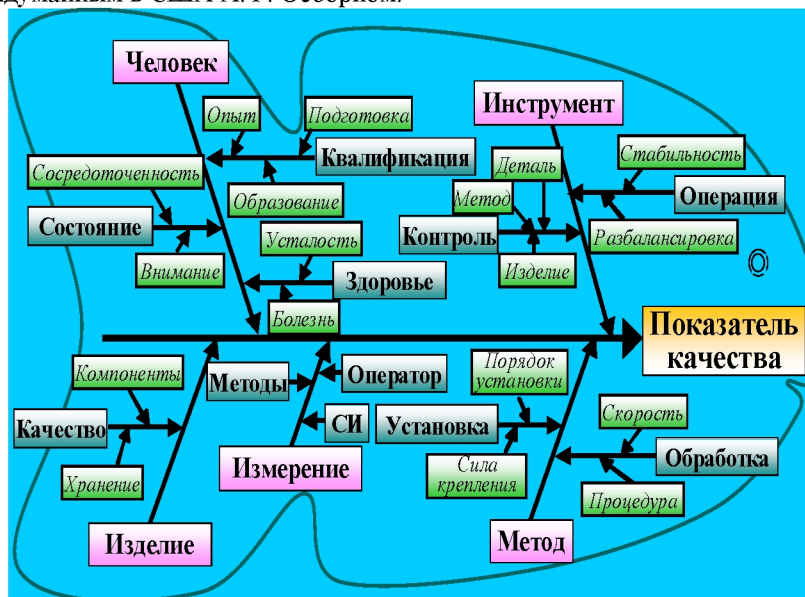


Рис. 1.6. Диаграмма Исикавы (причинно-следственная диаграмма)

При построении диаграммы Исикавы важно как можно точнее сформулировать показатель, тогда диаграмма будет более конкретной. Чтобы силу связей причина-результат можно было оценить объективно, желательно формулировать показатель качества и влияющие на него факторы так, чтобы их можно было измерить, то есть оценить численно. В некоторых случаях для этого приходится вводить числовые параметры, характеризующие исследуемый показатель. Например, качество окраски будет характеризоваться количеством непрокрашенных мест, либо толщиной красочного слоя, либо сорностью.

После выявления наиболее важных причин надо постараться найти те факторы, по которым можно принять меры. Если по обнаруженной причине нельзя предпринять никаких действий, проблема неразрешима, и поэтому следует попытаться разбить ее на подпричины. Использование диаграммы помогает обнаружить элементы, которые нужно проверить, устранить или модифицировать, а также те элементы, которые надо добавить. Если стремиться усовершенствовать диаграмму, то можно не только лучше разобраться в исследуемом процессе, но и найти пути улучшения технологии изготовления изделия.

1.6. Диаграммы рассеивания

Часто приходится выяснять, существует ли зависимость между двумя различными параметрами процесса. Например, зависят ли изменения в диаметре отверстия от изменений скорости вращения сверла.

Исследуемые параметры могут относиться к:

- характеристике качества и влияющему на нее фактору;
- двум различным характеристикам качества;
- двум факторам, влияющим на одну характеристику качества.

Для изучения подобных зависимостей используют диаграммы рассеивания.

Диаграмма рассеивания (поле корреляции) - это графическое представление пар исследуемых данных в виде множества точек на координатной плоскости.

При построении диаграммы рассеивания сначала собирают парные данные об изучаемых величинах, а затем полученные пары значений отмечают на координатной плоскости. Обязательно указывают также все поясняющие атрибуты (название данных, время проведения наблюдений, единицы измерения, составитель и т.п.).

Диаграмма рассеивания дает возможность выдвинуть гипотезу о наличии или отсутствии корреляционной связи (т.е. зависимости) между двумя случайными величинами, а также о характере и тесноте этой зависимости. Анализируя диаграмму разброса, можно визуально оценить связь между исследуемыми параметрами, а также с помощью специальных расчетов выявить имеющиеся зависимости (рассчитать коэффициент корреляции, уравнения линий регрессии и т.д.).

В зависимости от расположения точек делают следующие выводы.

Если на диаграмме рассеивания есть далеко отстоящие точки (выбросы), необходимо исследовать причины их появления (ошибки измерения или записи данных, либо изменения в условиях работы). При этом можно получить неожиданную, но иногда весьма полезную информацию, однако из последующего корреляционного анализа эти точки обычно исключают.

Если точки расположены хаотично (рис. 1.7 а), то полагают, что между рассматриваемыми случайными величинами нет корреляции (взаимосвязи).

Если точки группируются таким образом, что явно выражена некоторая тенденция их расположения, то говорят о положительной (рис. 1.7 б) или отрицательной (рис. 1.7 в) линейной корреляции.

Если точки расположены так, что можно предположить нелинейную зависимость, то бывает полезно осуществить *расслоение* (стратификацию) данных, то есть разделение данных по какому-либо дополнительному признаку. (Например, при исследовании зависимости равномерности окраски от марки применяемого красителя можно отдельно учесть степень загрузки резервуара для краски).

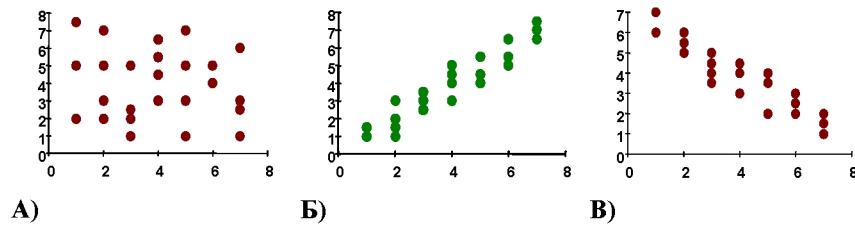


Рис. 1.7. Диаграммы рассеивания: а) нет корреляции;
б) положительная корреляция; в) отрицательная корреляция

Так как всегда может оказаться, что требуется провести расслоение или осуществить группировку собранных данных каким-либо иным способом, то необходимо очень тщательно подходить к исходной информации. Кроме того, становится понятным требование полноты поясняющих надписей на диаграмме рассеивания. Любые выводы, сделанные на основании диаграммы рассеивания, должны сопровождаться подробным перечислением условий сбора данных и составления этой диаграммы.

1.7. Контрольные карты

Гистограммы дают возможность зафиксировать состояние процесса в определенный момент времени. Однако всякий процесс обладает изменчивостью. Если в различные моменты времени собрать данные о результатах процесса и изобразить их графически, то мы получим контрольную карту, позволяющую отслеживать состояние процесса во времени и воздействовать на процесс до того, как он выйдет из-под контроля.

Контрольная карта – это графическое представление поведения параметра процесса в динамике, позволяющее оценить степень статистической управляемости процесса (рис. 1.8). Она состоит из центральной линии, контрольных границ и значений параметра.

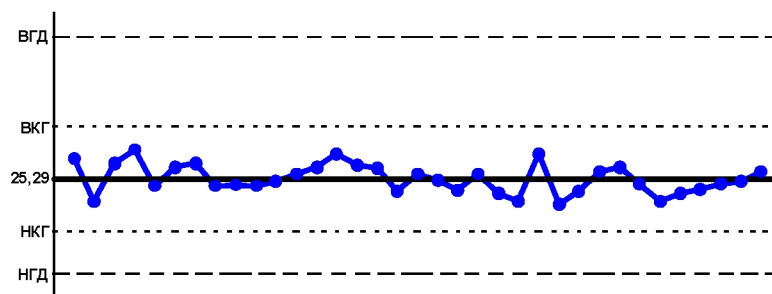


Рис. 1.8. Пример контрольной карты

Центральная линия указывает на положение среднего значения контролируемого параметра, верхняя и нижняя контрольные границы указывают допустимые пределы изменения значений параметра. Если процесс находится в управляемом состоянии, то все точки, соответствующие отдельным значениям параметра (или группам этих значений), оказываются внутри границ.

В зависимости от сферы применения выделяют три основных вида контрольных карт:

- контрольные карты Шухарта и аналогичные им, позволяющие оценить, находится ли процесс в статистически управляемом состоянии;
- приемочные контрольные карты, предназначенные для определения критерия приемки процесса;
- адаптивные контрольные карты, с помощью которых регулируют процесс посредством планирования его тренда и проведения упреждающей корректировки на основании прогнозов.

Данные для контрольных карт разделяют на «количественные» и «альтернативные».

Количественные данные – это результаты наблюдений, проводимых с помощью измерения и записи числовых значений данного показателя (при этом используется непрерывная шкала значений).

Примером количественных данных могут служить размеры, масса, электрические и механические параметры.

Альтернативные (качественные) данные - это результаты наблюдений наличия (или отсутствия) определенного признака или атрибута и подсчета числа единиц выборки, имеющих (или не имеющих) данный признак. Иногда подсчитывают число таких признаков, имеющих в определенном объеме, либо в некоторой выборке.

Альтернативные данные применяют, когда рассматривают такие параметры, как: годен – не годен, соответствует – не соответствует, есть дефект – нет дефекта и т.п. Подробно контрольные карты Шухарта будут рассмотрены ниже в разд.2.

1.8. Семь новых инструментов менеджмента качества

Если семь инструментов качества, рассмотренные выше, используют в основном для анализа числовых (количественных) данных, то семь новых инструментов качества применяют для систематизации и анализа информации нечислового (словесного) характера. Эти инструменты служат для облегчения деятельности по определению и постановке проблем, выявлению связей между отдельными фактами, выбору оптимальных управленческих решений. К семи новым инструментам управления качеством относятся:

- диаграмма сродства;

- диаграмма (граф) связей;
- диаграмма /структура иерархическая (дерево);
- диаграмма стрелочная;
- диаграмма (блок-схема) процесса выполнения программы;
- диаграмма матричная;
- матрица приоритетов (анализ матричных данных).

Обычно применению этих инструментов предшествует так называемый «мозговой штурм», во время которого собираются все необходимые данные (факты). Участники «мозгового штурма» должны иметь непосредственное отношение к изучаемой проблеме, взаимодействовать друг с другом, быть заинтересованы в достижении поставленной цели [14].

Диаграмма сродства – способ организации информации на основании объединения «родственных» устных данных. При этом учитываются не столько логические связи, сколько ассоциации.

Обычно диаграмма сродства применяется для упорядочивания в виде некоей иерархической структуры большого количества идей, мнений, пожеланий и т.п., группируя схожие по смыслу (родственные) данные. Сбор данных для диаграммы сродства удобно проводить во время «мозгового штурма», а группировку желательно осуществлять по разным направлениям, варьируя признаки сродства. Диаграмма сродства помогает осознать различные подходы, условия влияния отдельных элементов, ведущие направления деятельности.

Например, формулируются возможные причины выявленного дефекта, связанные с недостатками средств труда. Каждая причина записывается на отдельную карточку (рис. 1.9), а затем карточки родственной тематики группируют. В результате получают следующую таблицу (табл. 1.1).



Рис. 1.9. Произвольное расположение карточек

Таблица 1.1

Сгруппированная информация

Недостатки средств труда	Неисправность оборудования	Не работает конкретный узел Не работают контрольно-измерительные приборы Подтекает смазка, масло Физический износ оборудования Моральный износ оборудования
	Несоблюдение условий эксплуатации	Не выдержаны режимы обработки Не выдержано заданное давление
	Несоблюдение порядка техобслуживания	Не проведена своевременная замена прибора Не аттестована в срок оснастка Неправильная настройка Не обеспечена точность работы станка
	Отсутствие требуемой оснастки, инструмента	Не получен инструмент со склада Оснастка не соответствует документу

Диаграмма (граф) связей – это графическое изображение логических связей между отдельными факторами, проблемами, данными.

В отличие от диаграммы сродства диаграмма связей отражает причинно-следственные связи, но не имеет жестко заданной структуры, как диаграмма Исикавы. Диаграмма связей используется для уточнения взаимоотношений в сложной (из-за многих взаимозависимых факторов) ситуации. Примером может служить схема, приведенная на рис. 1.10.

Диаграмма иерархическая – это древовидная структура, используемая для представления многочисленных элементов, связанных между собой отношениями соподчинения. Схема иерархической (древовидной) диаграммы приведена на рис. 1.11. Возможные области применения деревьев:

- анализ причинных цепочек, приведших к выявленному нарушению;
- определение сводных технических условий сложного продукта;
- определение мер для обеспечения и совершенствования качества;
- представление и структурирование политики предприятия;
- детальная разработка плана подразделения предприятия;
- функциональный анализ стоимости продукта.

Наиболее известные примеры: дерево целей и дерево отказов.

Стрелочная диаграмма – это японское название для системы PERT (метод оценки и пересмотра программ) и метода поиска критического пути. Она использует сетевой график видов деятельности, требуемых для реализации определенного плана.

На стрелочной диаграмме (сетевом графике) указывают порядок и сроки проведения отдельных видов (этапов) работ, что дает возможность наглядно представлять последовательность действий, рассчитывать оптимальное время их реализации и контролировать выполнение намеченного плана.

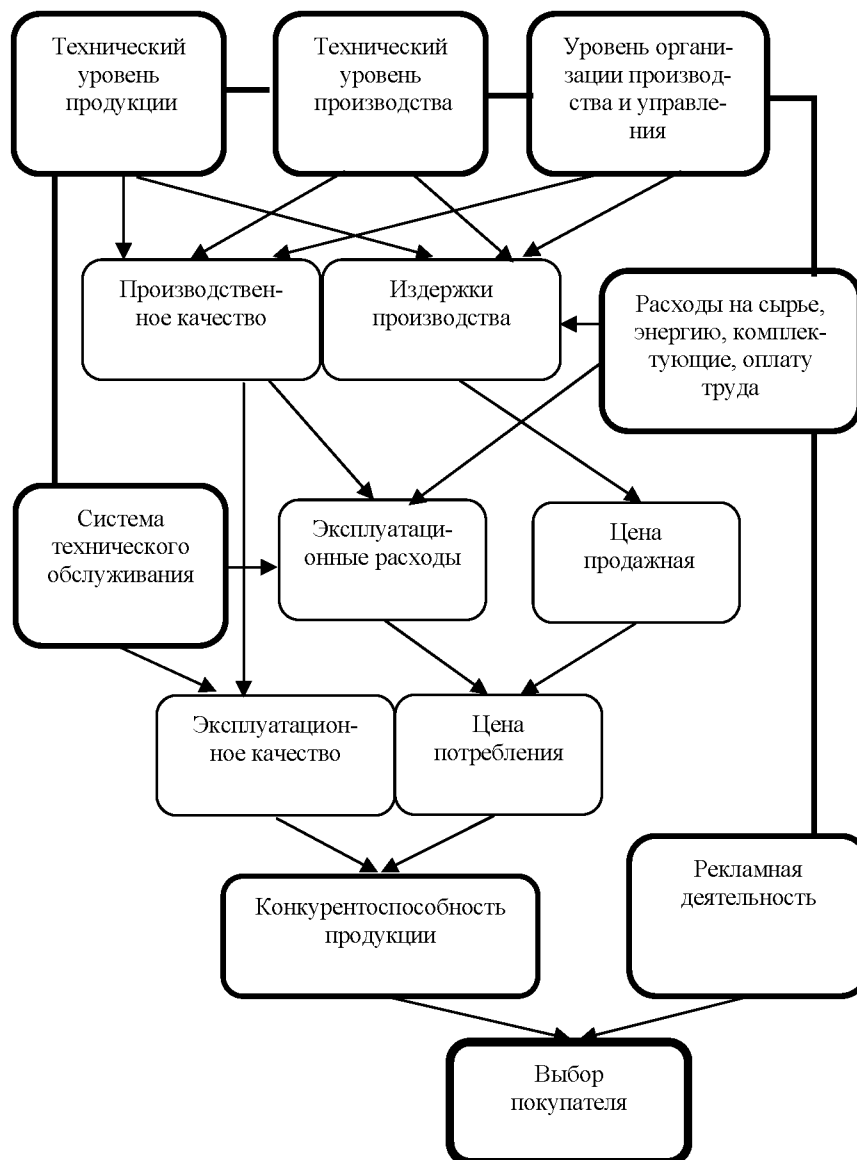
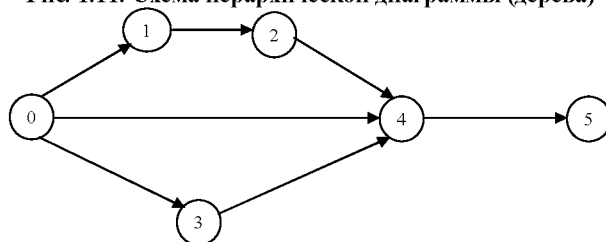


Рис. 1.10. Факторы, определяющие конкурентоспособность продукции
 Особенно широко сетевые графики применяют при разработке различных проектов и планировании производства. Пример стрелочной диаграммы приведен на рис. 1.12.



Рис. 1.11. Схема иерархической диаграммы (дерева)



0 – начало строительства, 1 – вырыт котлован, 2 – смонтирован фундамент,
3 – установлен подъемный кран, 4 – завезены металлоконструкции,
5 – закончен монтаж каркаса здания

Рис. 1.12. Стрелочная диаграмма (сетевой график)

Диаграмма процесса выполнения программы (PDPC – Process Decision Program Chart) – это графическое представление логической последовательности действий при решении конкретной задачи. В стандарте ИСО 9004 -4 эта диаграмма называется «карта технологического процесса». Диаграмма процесса выполнения аналогична блок-схемам алгоритмов компьютерных программ и применяется для анализа сроков и целесообразности проведения работ, представленных на стрелочной диаграмме.

Составление и анализ диаграммы PDPC позволяет прогнозировать различные результаты запланированных действий, в том числе и нежелательные ситуации. Это дает возможность заранее провести соответствующие корректировки, а также предусмотреть различные варианты развития событий. Наиболее эффективна при разработке новых направлений развития кампании, при планировании крупных заказов, составлении перспективных программ и т.п. Пример диаграммы процесса выполнения программы приведен на рис. 1.13.

Матричная диаграмма – это способ представления данных в виде двумерных или многомерных таблиц (матриц), в клетках которых располагаются взаимосвязи и оценки проблем. Различаются несколько типов матричных диаграмм в зависимости от метода, назначения и сложности проблемы.

Матричная диаграмма, отражающая наличие и силу связи между различными факторами, называется также матрицей связей. На рис. 1.14 показана матрица связей между компонентами объектов А (a_1, a_2, a_3, a_4) и В (b_1, b_2, b_3), в которой теснота связи оценивается численно: 0 – связь отсутствует, 1 – связь слабая, 3 – связь сильная, 2 – связь средней степени.

Матрица приоритетов (анализ матричных данных) – это инструмент, позволяющий из всех полученных при построении матричных диаграмм данных выделить наиболее значимые (приоритетные).

Анализ матричных данных применяется, чаще всего, для более наглядного представления большого количества информации, представленной в матричных диаграммах. В нем используются методы статистического анализа многовариантных данных.

Обычно для анализа матричных данных строят матрицы корреляции между отдельными группами данных, а также рассчитывают характеристические значения исследуемых факторов. На основании полученных количественных результатов делаются выводы о целесообразности тех или иных корректирующих действий.

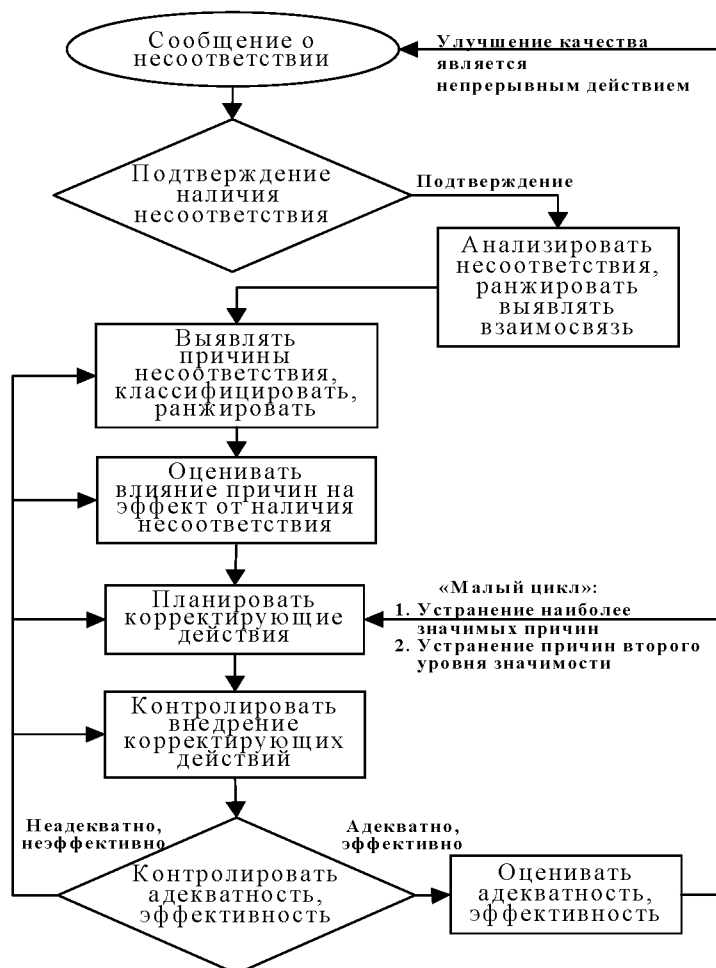


Рис. 1.13. Пример диаграммы процесса проведения корректирующих действий

		Объект В		
		b1	b2	b3
Объект А	a ₁	1	0	2
	a ₂	2	3	3
	a ₃	0	1	2
	a ₄	3	1	0

Рис. 1.14. Матрица связей

2. МЕТОДЫ СТАТИСТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССАМИ

Методы статистического управления процессами уже достаточно давно являются неотъемлемой составной частью менеджмента качества массового производства, к процессам которого предъявляются требования высокой воспроизводимости и стабильности. Ниже изложены методы и приемы статистического анализа процессов с помощью контрольных карт и числовых индексов воспроизводимости [3, 6, 10]. Следует отметить, что американские производители автомобилей давно издали руководство Statistical Process Control (SPC) по методам статистического управления процессами, аналогичный стандарт принят в России: ГОСТ Р 51814.3-2001 Системы качества в автомобилестроении. Методы статистического управления процессами.

Для правильного применения статистических методов необходимо владеть основными статистическими понятиями, такими как изменчивость и стабильность (управляемость) процесса.

Изменчивость – неодинаковость условий выполнения и конечных результатов деятельности. Проявляется в неизбежных различиях отдельных результатов измерений.

Как правило, выделяют два источника изменчивости:

- **обычные причины** изменчивости – постоянно действующая система случайных причин, формирующая «собственную», присущую процессу предсказуемую изменчивость;
- **особые причины** изменчивости – неслучайные причины, действующие на процесс непостоянно, часто непредсказуемые.

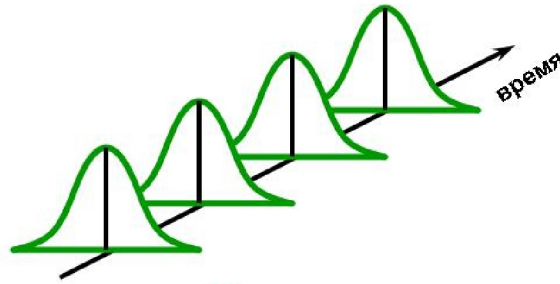
Распознавание и устранение **особых** причин обычно требует **локальных действий** и является обязанностью тех, кто непосредственно связан с работой процесса (оператор, мастер, контролер и т.п.). Для снижения собственной изменчивости процесса необходимо сконцентрироваться на снижении влияния **обычных** причин, которые требуют более детального анализа, а их устранение – **действий над системой (процессом)**. Опыт показывает, что только 15% чрезмерной изменчивости устранимо на местах, большинство (около 85%) исправляется только действиями над самой системой.

Статистически стабильным (управляемым) (рис. 2.1) называют процесс, из которого устранены все особые причины изменчивости.

Результаты и изменчивость такого процесса предсказуемы (могут быть описаны предсказуемым распределением) и объясняются постоянным действием системы обычных причин. Следует также отметить, что воспроизводимость процесса рассчитывается только после подтверждения его ста-

статистической стабильности. Процесс, находящийся в статистически стабильном состоянии, может быть улучшен посредством снижения изменчивости от обычных причин.

**Управляемый
(стабильный)
процесс**



**Неуправляемый
(нестабильный)
процесс**

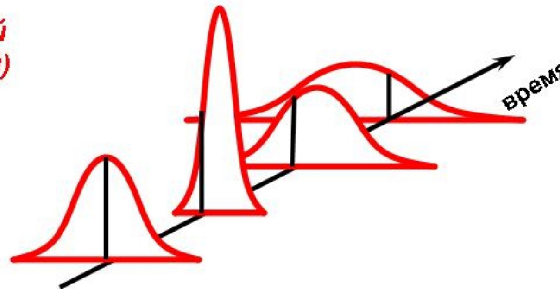


Рис. 2.1. Управляемые и неуправляемые процессы

2.1. Применение контрольных карт

Контрольные карты (КК) предназначены для того, чтобы отличить управляемую изменчивость рассматриваемого параметра от неуправляемой, т.е. определить, под воздействием каких факторов (обычных или особых) он находится. Таким образом, контрольные карты помогают определить, какие действия требуются для решения проблемы (устранения причины чрезмерной изменчивости параметра): исполнительские или системные. Для построения контрольной карты необходимо собрать данные об изменении параметра. Массив данных должен содержать несколько (для достоверного заключения о стабильности не менее 25) подгрупп результатов измерений параметра (X_{ij} - результат j -го измерения в i -ой подгруппе, n_i – объемы подгрупп, k – число подгрупп, $k \geq 1$). С увеличением объема выборки и количества выборок увеличивается достоверность проводимого анализа. В зависимости от природы данных и способа их использования применяется контрольная карта одного из типов, представленных на рис. 2.2.

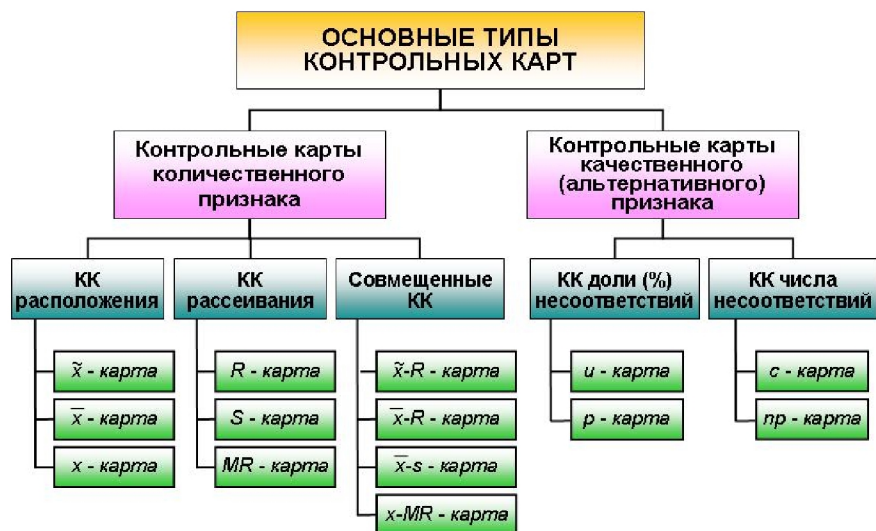


Рис. 2.2. Основные типы контрольных карт

Каждая контрольная карта (рис. 2.3) является совокупностью следующих элементов:

- графика **характеристики параметра** (например, средних значений, размахов, среднеквадратических отклонений (СКО) в подгруппе);
- средней линии;
- верхней и нижней **контрольных границ** (КГ);
- для оценивания возможностей иногда полезно нанести на карту **границы поля допуска** на анализируемый параметр.



Рис. 2.3. Элементы контрольной карты

Критерием воздействия на процесс особых причин (нестабильности процесса) является положение точек, соответствующих значениям характеристики параметра, по отношению к:

- предыдущим точкам;
- средней линии;
- заранее рассчитанным контрольным границам.

При анализе стабильности процесса при помощи совмещенной контрольной карты (когда одновременно рассматриваются две количественные карты: расположения и рассеивания) сначала анализируется карта рассеивания (карта размахов, СКО и т.п.), а затем - карта расположения (карта индивидуальных значений, медиан, средних).

Следует отметить, что абсолютная стабильность процесса не достижима. Поэтому для практических целей стабильным считается не тот процесс, контрольная карта которого никогда не показывает признаки нестабильного состояния. В реальном процессе необходимо добиться разумного (согласованного с потребителем) и экономичного стабильного состояния. Если процесс на контрольной карте всегда демонстрирует стабильность, то стоит задуматься над целесообразностью его анализа при помощи контрольных карт.

Только после подтверждения стабильности процесса могут проводиться другие виды анализа процесса (например, анализ возможностей процесса), т.к. нет смысла говорить о свойствах процесса, непредсказуемо изменяющегося во времени.

Процесс, находящийся в статистически стабильном состоянии, может быть дополнительно улучшен посредством снижения влияния обычных причин (полностью влияние обычных причин устранено быть не может).

Признаками нестабильности процесса – основными сочетаниями точек на контрольной карте (не зависимо от ее типа), которые могут свидетельствовать о действии на процесс особой причины, являются следующие (рис. 2.4):

- наличие точек за пределами контрольных границ;
- из трех последовательных точек две лежат выше или ниже средней линии более чем на два стандартных отклонения (СКО);
- из пяти последовательных точек четыре лежат выше или ниже средней линии более, чем на одно СКО;
- семь последовательных точек лежат выше или ниже средней линии;
- шесть последовательных точек монотонно возрастают или убывают;
- из десяти последовательных точек существует подгруппа из восьми точек, которая образует монотонно возрастающую или убывающую последовательность;
- из двух последовательных точек вторая лежит, по крайней мере, на четыре стандартных отклонения выше (ниже) первой;

- наличие циклов (периодически повторяющихся последовательностей точек).

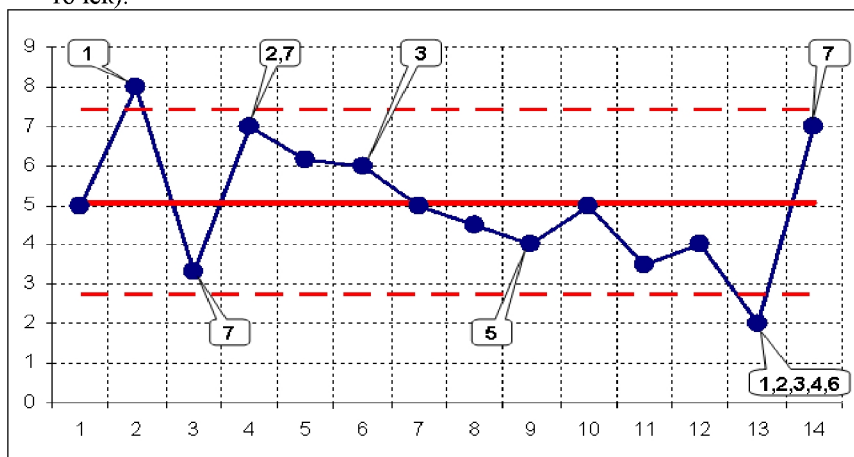


Рис. 2.4. Признаки нестабильности процесса

Каждая точка, в которой наблюдается один из признаков нестабильности процесса, должна быть подвергнута анализу на наличие особой причины. Если такая причина обнаружена, необходимо определить, запланировать и провести корректирующие действия для ее устранения или снижения ее влияния. Если особая причина является желательной (приближает процесс к целевому значению или приводит к снижению изменчивости), необходимо сделать ее частью процесса (обычной причиной).

Контрольные карты для количественного признака более чувствительны к изменениям в измеряемых величинах и потому больше подходят для текущего предупредительного контроля.

Контрольные карты для альтернативного признака больше удобны для приемочного контроля. Кроме того, для альтернативных карт легче всего собирать данные, они дешевле в применении и чаще не требуют специализированных средств для сбора данных.

2.2. Контрольные карты для количественного признака

При построении контрольных карт по количественному признаку исходят из предположения о том, что контролируемый параметр имеет нормальное распределение. Нормальная случайная величина полностью определяется двумя параметрами: положением центра рассеивания (средним значением) μ и величиной стандартного отклонения σ . В связи с этим контрольные карты строят:

- для параметров, характеризующих положение центра рассеивания случайной величины – КК расположения;

- для параметров, характеризующих рассеивание случайной величины – КК рассеивания.

Положение центра рассеивания случайной величины можно оценить индивидуальным значением случайной величины X , когда объем выборки ограничивается одним измерением, выборочной медианой $\tilde{X}$ – средняя точка выборки, и выборочным средним $\bar{X}$, определяемым по известной формуле:

$$\bar{X} = \frac{X_1 + X_2 + \dots + X_n}{n}; \quad (2.1)$$

где $X_1, X_2, \dots, X_n$ – индивидуальные значения в выборке;

n – объем выборки.

Очевидно, что наиболее точную оценку математического ожидания α нормально распределенной случайной величины дает выборочное среднее, однако оно требует и больших вычислений.

Рассеивание нормально распределенной случайной величины, характеризуемой параметром σ , можно оценить либо выборочным размахом R :

$$R = X_{\text{наиб.}} - X_{\text{наим.}}, \quad (2.2)$$

либо выборочным стандартным отклонением S :

$$s = \sqrt{\frac{\sum (X_i - \bar{X})^2}{n - 1}}, \quad (2.3)$$

либо, когда объем выборки ограничивается одним измерением, скользящим размахом MR – размах выборки из двух или более последовательных измерений.

Очевидно, что наиболее точную оценку дает выборочное стандартное отклонение S , однако оно требует и больших вычислений.

Контроль одного из параметров положения X , $\bar{X}$ или $\tilde{X}$ с одновременным контролем одного из параметров рассеивания R , S или MR позволяет получить полную картину возможного изменения во времени распределения контролируемого параметра процесса.

Когда необходимо строить технологический контроль на индивидуальных показаниях, а не на основе последовательных выборок, то применяются контрольные карты индивидуальных значений и скользящих размахов (X - MR карты). В этих случаях для оценки положения центра настройки используются непосредственно сами результаты индивидуальных замеров, а для оценки рассеивания процесса – размах двух и более последовательных значений.

Когда технологический контроль строят на основе последовательных выборок, возможно применение четырех типов совмещенных контрольных карт по количественному признаку (контрольные карты Шухарта). Но наибольшее распространение получили карты средних и размахов – $\bar{X}$ - R -

карты; карты средних и стандартных отклонений – $\bar{X}$ - S -карты; карты медиан и размахов – $\tilde{X}$ - R -карты. Очевидно, что последние – наиболее простые и требуют минимума вычислений, $\bar{X}$ - S -карты – наиболее точные, но требуют расчета среднего значения $\bar{X}$ и выборочного стандартного отклонения S .

Контрольные карты средних и размахов $\bar{X}$ - R карты строят по измерениям конкретного параметра процесса на выходе. Данные собирают небольшими выборками постоянного объема (от двух до двадцати последовательных измерений) с периодическим отбором выборок (например, каждые 15 минут, дважды за смену и т.д.) по 20 – 25 выборок на контрольную карту. Традиционно карты строят одну над другой: $\bar{X}$ -карта над R -картой и ниже приводят таблицу данных - каждого индивидуального результата измерений. Значения $\bar{X}$ и R откладывают на вертикальных осях. Номера выборки откладывают по горизонтальной оси. Карты средних арифметических и размахов являются наиболее распространенными видом контрольных карт для отслеживания и выявления причин отклонений. Наносимые на карту характеристики – средние выборок $\bar{X}$ и размахи выборок R для каждой подгруппы показывают поведение среднего для всего процесса и его рассеивание соответственно.

Для каждой подгруппы вычисляют $\bar{X}$ по формуле (2.1) и R – по (2.2). Затем наносят значения средних и размахов на соответствующие карты и соединяют точки сплошными линиями, чтобы были более наглядны ход изменений и тренды. Если некоторые точки значительно выше или ниже других, необходимо проверить правильность вычислений и нанесения точек.

Необходимо, чтобы все контрольные карты имели контрольные границы. Только карты, используемые для первоначальной оценки стабильности процесса или после проведения усовершенствования, могут быть разрешены к применению без нанесенных контрольных границ. Контрольные границы вначале определяют для карты размахов, а затем – для карты средних. Для начального периода обследования и вычисления контрольных границ находят среднее размахов $\bar{R}$ и среднее процесса $\bar{\bar{X}}$ по формулам:

$$\bar{R} = \frac{R_1 + R_2 + \dots + R_k}{k}; \quad \bar{\bar{X}} = \frac{\bar{X}_1 + \bar{X}_2 + \dots + \bar{X}_k}{k}, \quad (2.4)$$

где k – число выборок (20 – 25),

R_1 и $\bar{X}_1$ – размах и среднее первой подгруппы,

R_2 и $\bar{X}_2$ – размах и среднее второй подгруппы и т.д.

Контрольные границы рассчитывают для того, чтобы определить, насколько средние и размахи подгрупп изменяются под действием только обычных причин. Они основаны на объеме подгрупп и величине изменчи-

вости внутри подгруппы, отражаемой размахами. Верхнюю и нижнюю контрольные границы для размахов и средних вычисляют по формулам:

$$\text{ВКГ}_R = \text{UCL}_R = D_4 \bar{R}; \quad \text{НКГ}_R = \text{LCL}_R = D_3 \bar{R}; \quad (2.5)$$

$$\text{ВКГ}_X = \text{UCL}_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}} + A_2 \bar{R}; \quad \text{НКГ}_X = \text{LCL}_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}} - A_2 \bar{R}, \quad (2.6)$$

где D_4 , D_3 и A_2 – коэффициенты, зависящие от объема выборки n .

На практике полагают значение $D_3 = 0$ при $n \leq 6$. Это объясняется тем, что принятый метод вычислений дает отрицательный результат, т.е. НКГ_R совпадает с горизонтальной осью координат. Вид $\bar{X}-R$ карты приведен на рис. 2.5.

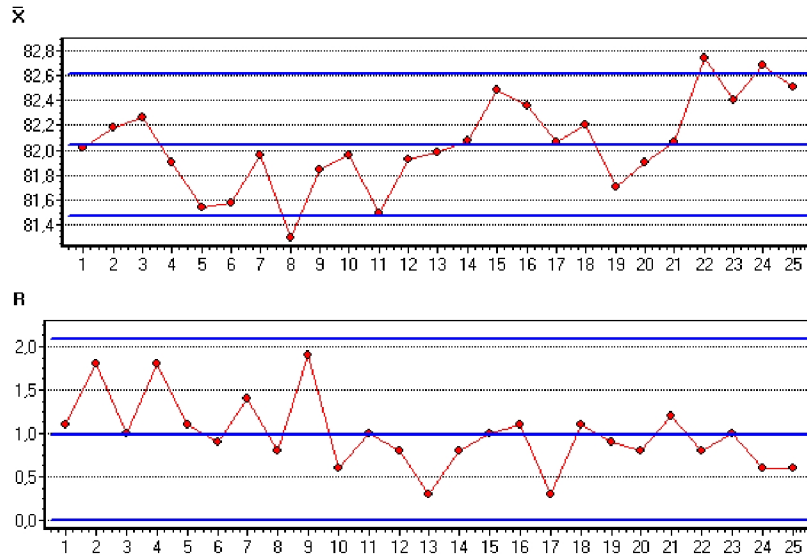


Рис. 2.5. Контрольная карта средних и размахов ($\bar{X}-R$ карта)

Контрольные карты средних и стандартных отклонений $\bar{X}-S$ карты, как и карты средних и размахов, строят по измеренным (количественным) данным, полученным на выходе процесса. Выборочное стандартное отклонение S – более эффективный показатель изменчивости процесса, особенно при больших объемах выборки. Единственным недостатком $\bar{X}-S$ -карт является: большой объем вычислений, необходимых при ее построении. Обычно S -карты применяют вместо R -карт, когда выполняют следующие условия:

- данные оперативно обрабатывают компьютером;
- для вычисления S применяют калькуляторы, что удобно в повседневной работе;

- используют большие объемы выборок.

Сбор данных осуществляют как и при построении $\bar{X}$ - R карт. Выборочное стандартное отклонение для каждой подгруппы вычисляют по формуле (2.3).

Отличия в определении контрольных границ заключаются только в значениях коэффициентов:

$$\text{ВКГ}_S = \text{UCL}_S = B_4 \bar{s}; \quad \text{НКГ}_S = \text{LCL}_S = B_3 \bar{s}; \quad (2.7)$$

$$\text{ВКГ}_{\bar{X}} = \text{UCL}_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}} + A_3 \bar{s}; \quad \text{НКГ}_{\bar{X}} = \text{LCL}_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}} - A_3 \bar{s}, \quad (2.8)$$

где $\bar{s}$ – среднее выборочных стандартных отклонений S отдельных выборок;

B_4 , B_3 и A_3 – коэффициенты, зависящие от объема выборки n .

Пример построения $\bar{X}$ - S карты приведен на рис. 2.6.

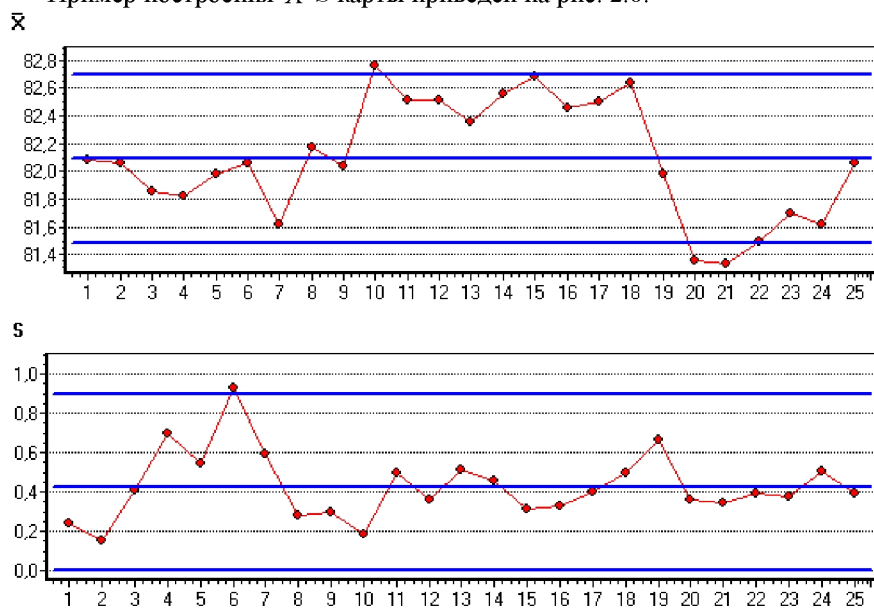


Рис. 2.6. Контрольная карта средних и стандартных отклонений ($\bar{X}$ - S карты)

Оценку стандартного отклонения $\hat{\sigma}$ рассчитывают по формуле:

$$\hat{\sigma} = \bar{s} / c_4, \quad (2.9)$$

где $\bar{s}$ – среднее выборочных стандартных отклонений (для периодов стабильности);

c_4 – делитель, зависящий от объема выборки n .

Методика вычисления коэффициентов A_3, B_3, B_4, C_4 основывается на свойствах распределения выборочного стандартного отклонения. Если процесс имеет нормальное распределение, то оценку стандартного отклонения $\hat{\sigma}$ применяют для оценки возможностей процесса, когда выборочные средние и стандартные отклонения статистически управляемы.

Контрольные карты медиан и размахов аналогичны $\bar{X}$ - R картам при управлении процессами с измеряемыми (количественными) данными. Несмотря на то, что медианы статистически не столь эффективны, как средние, карта медиан приводит к аналогичным решениям и имеет некоторые преимущества:

- карта медиан проста в применении, она не требует большого числа вычислений, что может расширить ее применение в производстве;
- карта медиан показывает разброс результатов процесса и дает текущую картину изменчивости процесса, поскольку наряду со значениями медиан на карту наносят крайние индивидуальные значения в пробе (в отечественной литературе можно встретить ее другое название «карта медиан и крайних значений»);
- карту медиан можно использовать для сравнения результатов нескольких процессов или одного процесса на последовательных стадиях, поскольку одна карта показывает как медиану, так и размах.

В контрольной карте медиан и размахов ($\tilde{X}$ - R карте) для оценки положения центра настройки служит медиана – среднее по порядку значение в случае когда данные упорядочены по возрастанию. Карта медиан позволяет делать выводы, сходные с $\bar{X}$ - R картой, но она проще в применении. Обычно карты медиан используются при выборках, насчитывающих не более 10 элементов.

Контрольные границы для выборочного размаха определяются также, как и при построении $\bar{X}$ - R карт. Контрольные границы для выборочной медианы $\tilde{X}$ определяются аналогично, с учетом различия в статистической эффективности выборочной медианы и выборочного среднего:

$$ВКГ_R = UCL_R = D_4 \bar{R}; \quad НКГ_R = LCL_R = D_3 \bar{R}; \quad (2.10)$$

$$ВКГ_{\tilde{X}} = UCL_{\tilde{X}} = \bar{\tilde{X}} + A_4 \bar{R}; \quad НКГ_{\tilde{X}} = LCL_{\tilde{X}} = \bar{\tilde{X}} - A_4 \bar{R}, \quad (2.11)$$

При оценке управляемости процесса необходимо оценить стандартное отклонение процесса $\hat{\sigma}$, которое рассчитывают по формуле:

$$\hat{\sigma} = \bar{R} / d_2, \quad (2.12)$$

где $\bar{R}$ – средний размах подгрупп (для периодов с размахами процесса в управляемом состоянии);

d_2 – коэффициент, представляющий собой среднее значение размаха выборки из нормальной совокупности, нормированного на параметр σ исходного распределения.

Внешний вид $\bar{X}$ - R карты выглядит аналогично $\bar{X}$ - R и $\bar{X}$ - S карте.

Контрольные карты индивидуальных значений и скользящих размахов. В некоторых случаях для управления процессом необходимо исходить из количественных индивидуальных значений, например, когда измерения дорогостоящие (разрушающее испытание) или когда результат процесса в любой момент времени относительно однороден (например, результат анализа химического раствора). В таких случаях размах внутри выборки фактически равен нулю. В этих случаях строят контрольные карты для индивидуальных значений. Следует обратить внимание на следующие особенности:

- карты индивидуальных значений менее чувствительны при обнаружении изменений процесса, чем $\bar{X}$ - и R -карты;
- если распределение несимметрично, нужно проявлять осторожность при интерпретации таких карт;
- карты индивидуальных значений не отражают мгновенного рассеивания процесса (воспроизводимость от единицы к единице). Поэтому во многих случаях рекомендуют использовать обычные $\bar{X}$ - и R -карты с малыми объемами выборок (от 2 до 4), даже если это требует большего интервала между выборками.

Рекомендуется записывать значения разности между каждой последовательной парой измерений (например, между первым и вторым, вторым и третьим измерением и т.д.). Всего значений будет на одно меньше, чем измерений (25 измерений дают 24 значения MR).

В некоторых случаях значение MR может быть рассчитано на основе трех-четырех измерений или на подгруппе большего объема.

Контрольные границы для X - MR карт определяются аналогично:

$$ВКГ_{MR} = UCL_{MR} = D_4 \bar{R}; \quad НКГ_{MR} = LCL_{MR} = D_3 \bar{R}; \quad (2.13)$$

$$ВКГ_X = UCL_X = \bar{X} + E_2 \bar{R}; \quad НКГ_X = LCL_X = \bar{X} - E_2 \bar{R}, \quad (2.14)$$

где $\bar{R}$ – средний скользящий размах,

$\bar{X}$ – среднее процесса.

Основным недостатком X - MR -карт является то, что последовательные скользящие размахи коррелированы, поскольку они имеют, по крайней мере, одну общую точку. Представляет интерес рассмотрение фактических значений последовательных разностей ($x_{i+1} - x_i$). У стабильного процесса последовательные разности должны группироваться симметрично около нуля. Диаграмма последовательных разностей может быть использована для оценки значимости тренда процесса, однако данный метод, по видимо-

му, нуждается в некотором теоретическом уточнении и пока не нашел отражения в действующих стандартах по статистическому контролю.

2.3. Контрольные карты для альтернативного признака

Альтернативные данные имеют только два значения типа «да–нет» (соответствует/не соответствует, проходит/не проходит). Результаты контроля для измеряемых характеристик также можно записать в форме «да–нет», такие как соответствие диаметра штифта проходному калибру. Контрольные карты для альтернативных признаков применяют в случаях, когда альтернативные данные можно получить в результате работы любого технического и административного процесса. Получение контрольных карт для альтернативных данных не требует дополнительных затрат, необходимо только нанести эти данные на контрольную карту.

Основным преимуществом альтернативных контрольных карт является оперативность, простота и небольшие затраты при сборе данных, например, с использованием простых калибров, что не требует специального обучения персонала. Отчеты для руководства содержат альтернативные данные. Например, процент изделий, принятых с первого предъявления, объем брака, число отклонений при проверке качества изделий и материалов. Контрольные карты могут быть полезны при анализе этих отчетов, благодаря возможности различать изменчивость от обычных и особых причин.

Применение контрольных карт для альтернативных признаков по основным показателям качества продукции может указать на необходимость использования конкретных карт для количественного признака.

Существуют следующие контрольные карты для альтернативных признаков:

1) Контрольная карта числа дефектных единиц (*np*-карта) представляет собой физическое количество дефектных изделий в выборке. Для *np*-карт обязательна постоянная величина выборки, при этом число дефектных изделий будет пропорционально объему выборки.

2) Контрольная карта доли дефектных единиц в выборке (*p*-карта). Показатель дефектности представляет собой отношение дефектных изделий к общему количеству изделий, подвергшихся контролю, и его значение не зависит от объема выборки, поэтому размеры выборок необязательно имеют одинаковую величину.

3) Контрольная карта числа несоответствий в выборке (*c*-карта) применяется в случае, когда изделие может иметь более одного несоответствия. Каждая из точек на графике представляет количество несоответствий в выборке. Число изделий в выборке для построения *c*-карты должно быть постоянным. Эти карты особенно удобны, когда велика вероятность того, что изделие имеет много несоответствий.

4) Контрольная карта числа несоответствий на единицу продукции (*u*-карта) применяется в случае, когда объем выборки переменный (аналогично *p*-карте). Отличие состоит в том, что доля дефектных изделий *p*-карты всегда не больше единицы, а число несоответствий на единицу продукции (*u*-карта) может быть как больше, так и меньше единицы.

Контрольная карта числа дефектных единиц (*np*-карта) отражает число дефектных изделий в контролируемой выборке. Это может быть выборка определенного объема, отбираемая каждую смену, час, при переналадке оборудования или смене сырья и т.д. Необходимо, чтобы каждое изделие после проверки можно было записать как соответствующее или дефектное (даже если изделие имело несколько несоответствий), а результаты контроля можно было сгруппировать в соответствии с определенными критериями.

Контрольные карты для альтернативных признаков требуют больших объемов подгрупп (например от 50 до 200 или больше), чтобы была возможность обнаружения умеренных сдвигов процесса и наличия нескольких дефектных изделий в выборке, например $np > 5$. Отсюда следует и применимость альтернативных признаков: при уровне дефектности $p = 0,01\%$ объем выборки должен составлять $n = 50\,000$, что вряд ли целесообразно. Большой объем выборки может быть недостатком также и потому, что при её получении требуется длительный период работы процесса, в течение которого условия протекания процесса могут меняться.

Частота формирования выборок должна быть сопоставимой с периодами производства, чтобы помогать проведению анализа и устранению найденных причин. Короткие интервалы времени позволяют ускорить обратную связь, но в тоже время период сбора данных должен быть достаточно большим, чтобы уловить все вероятные источники изменчивости, воздействующие на процесс. Обычно он должен включать 25 или более выборок, чтобы провести анализ стабильности, и если процесс стабилен, дать надежную оценку возможности процесса.

При сборе данных для построения контрольной карты числа дефектных единиц должны быть зафиксированы:

- объем выборки n_i , причем объемы выборок должны быть примерно одинаковы. Период их отбора должен быть сопоставим с периодами производства и системами обратной связи. Выборки должны быть достаточно большими, чтобы в ней можно было обнаружить несколько дефектных единиц;
- число дефектных единиц (np) в каждой выборке.

Эти данные должны быть записаны ниже контрольной карты в блоке данных как основа для начального изучения процесса. Прошлые данные могут быть использованы для ускорения этапа изучения процесса.

Карта, на которую наносят данные, должна иметь вертикальную шкалу для числа дефектных единиц и горизонтальную шкалу – для обозначения

выборки (час, день и т.п.). Вертикальная шкала должна содержать интервал от нуля до наибольшего значения числа дефектных единиц, отмеченного в исходных данных, умноженного на коэффициент 1,5-2.

На контрольную карту наносят в виде точек значения np для каждой выборки, соединяют эти точки сплошными линиями для обнаружения неслучайного поведения и тренда.

Необходимо на карте в блоке «Описание события» записывать все изменения процесса или предпринятые действия, которые могут повлиять на процесс.

Для расчета контрольных границ необходимо вычислить среднее число дефектных единиц для процесса np по формуле:

$$\bar{np} = \frac{np_1 + np_2 + \dots + np_k}{k}, \quad (2.15)$$

где $np_1 + np_2 + \dots + np_k$ – число дефектных единиц в каждой из выборок n_i ;

k – число выборок.

При построении np - и p - контрольных карт исходят из того, что число дефектных единиц подчиняется биномиальному распределению. В этом случае величина $\bar{p}$ является точечной оценкой параметра распределения, а стандартное отклонение частоты (относительной доли несоответствующих единиц) связано с $\bar{p}$ соотношением:

$$\sigma_p = \sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{n_i}}. \quad (2.16)$$

Тогда верхняя и нижняя контрольные границы вычисляются по формулам:

$$\begin{aligned} UCL_{np} &= \bar{np} + 3\sqrt{\bar{np}\left(1 - \frac{\bar{np}}{n}\right)} = \bar{np} + 3\sqrt{\bar{np}(1-\bar{p})} \\ LCL_{np} &= \bar{np} - 3\sqrt{\bar{np}\left(1 - \frac{\bar{np}}{n}\right)} = \bar{np} - 3\sqrt{\bar{np}(1-\bar{p})} \end{aligned} \quad (2.17)$$

где n – постоянный объем выборки.

При отрицательном результате вычисления НКГ ее следует положить равной нулю, как и при определении контрольных границ для R и S .

Применение контрольных карт числа дефектных единиц (np -карт) более целесообразно, когда штучная продукция расфасована на партии «стандартного» объема. Пример построения np -карты приведен на рис. 2.7.

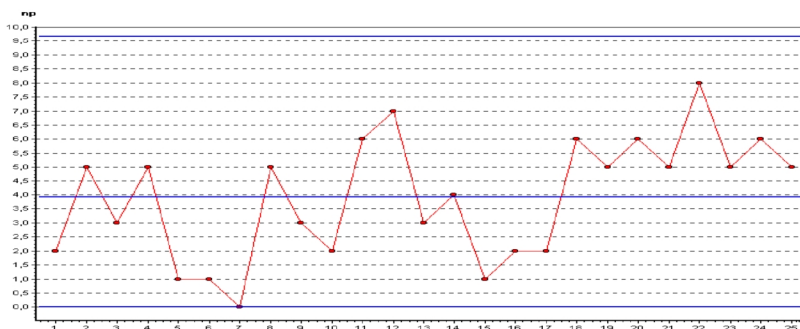


Рис. 2.7. Пример построения *np*-карты

Контрольная карта доли дефектных единиц (*p*-карта) отражает долю дефектных изделий в контролируемой выборке. Рекомендуется, чтобы объемы выборки были постоянны или менялись не более чем на $\pm 25\%$. Остальные условия формирования выборки и построения контрольных карт аналогичны сформулированным при описании построения контрольных карт числа дефектных единиц. Отличие состоит только в том, что вертикальная шкала на контрольной карте должна содержать интервал от нуля до наибольшего значения не числа, а доли дефектных единиц, отмеченной в исходных данных, умноженной на коэффициент 1,5-2.

Для вычисления контрольных границ необходимо рассчитать среднюю долю несоответствующих единиц для периода начального изучения k подгрупп по формуле:

$$\bar{p} = \frac{n_1 p_1 + n_2 p_2 + \dots + n_k p_k}{n_1 + n_2 + \dots + n_k} \quad (2.18)$$

где $n_1 p_1, n_2 p_2, \dots, n_k p_k$ – число дефектных единиц в каждой выборке;

$n_1, n_2, \dots$ – число проконтролированных единиц в каждой выборке;

k – число выборок.

Для периода начального изучения верхнюю и нижнюю границы соответственно вычисляют по формулам:

$$UCL_p = \bar{p} + 3\sqrt{\bar{p}(1-\bar{p})/\sqrt{n_i}}, \quad LCL_p = \bar{p} - 3\sqrt{\bar{p}(1-\bar{p})/\sqrt{n_i}}, \quad (2.19)$$

где n_i – объем выборки.

При отрицательном результате вычисления НКГ ее следует положить равной нулю, как и при определении контрольных границ для R и S .

Формулы для вычисления контрольных границ, приведенные выше, подходят для одинаковых объемов выборок. При изменении объема выборки меняются и контрольные границы, поэтому отдельные их значения должны быть вычислены для каждой выборки. Однако для практических

целей контрольные границы, вычисленные по среднему объему выборки, приемлемы, когда объем отдельных выборок отличается от среднего не более чем на $\pm 25\%$ (что характерно для реального производства при относительно стабильных условиях). В этом случае под n_i в (2.19) следует понимать среднее число изделий в выборке.

Когда объемы выборок изменяются более чем на 25%, необходимы отдельные контрольные границы для периодов с очень малыми или большими выборками. Целесообразна следующая процедура (которая должна быть документирована в блоке «Описания события» карты):

- рассчитывают размах объемов выборки, определяющий изменение объемов от среднего на $\pm 25\%$, и отмечают все выборки с объемами вне этого размаха;
- пересчитывают по (2.19) точные границы для этих выборок;
- наносят новые верхнюю и нижнюю контрольные границы на карту для изменяющихся выборок и используют их как основу для идентификации особых причин.

Для простоты работы с контрольной картой рекомендуется подготовить план сбора данных, так чтобы применять постоянные объемы выборок. Пример построения p -карты представлен на рис. 2.8.

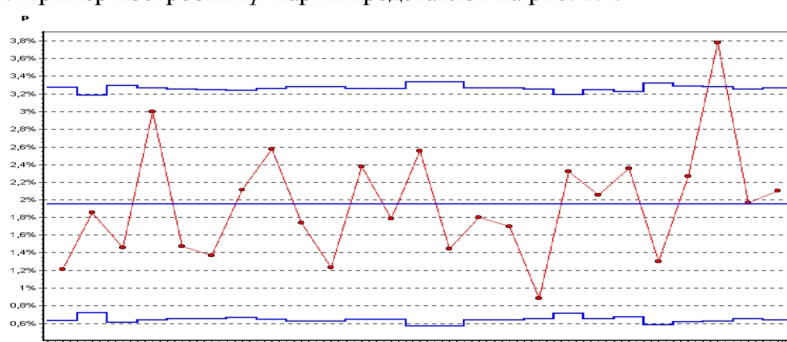


Рис. 2.8. Пример построения p -карты

Контрольная карта числа несоответствий (с-карта) отражает число несоответствий в контролируемой партии (в отличие от числа дефектных единиц для np -карты). Такую карту строят для постоянного объема выборки или материала. Она применима в случаях, когда:

- несоответствия могут быть найдены в одной контролируемой единице (например, каждое отдельное изделие может иметь одно или несколько несоответствий большой номенклатуры);
- несоответствия могут быть разбросаны по поверхности или объему продукции (например, трещины на болте, пузыри в стекле или точки

тонкой изоляции провода) и когда может быть вычислена средняя доля несоответствий (например, число несоответствий окраски на единице поверхности).

Сбор данных и порядок построения аналогичны у всех альтернативных контрольных карт. Кроме того, должно быть учтено следующее:

- объемы контролируемых выборок (число единиц, площадь материала, длина провода и т.д.) должны быть равными, чтобы число несоответствий c отражало изменения по качеству (частоту появления несоответствий), а не изменение объема выборок n . Необходимо записать объем выборок в блок данных на карте;
- на карту наносят число несоответствий c в каждой выборке.

Для построения контрольных карт необходимо рассчитать контрольные границы, при этом необходимо вычислить среднее число несоответствий для процесса по формуле:

$$\bar{c} = \frac{c_1 + c_2 + \dots + c_k}{k}, \quad (2.20)$$

где c_1, c_2, c_k – числа несоответствий в каждой из выборок.

Затем вычисляют контрольные границы:

$$UCL_c = \bar{c} + 3\sqrt{\bar{c}}, \quad LCL_c = \bar{c} - 3\sqrt{\bar{c}}. \quad (2.21)$$

При этом исходят из того, что c имеет распределение Пуассона и, следовательно, величина $\bar{c}$ является точечной оценкой параметра распределения, равного одновременно среднему значению и дисперсии числа несоответствий. Относительно нижней контрольной границы справедливо ранее сделанное замечание. Пример построения c -карты представлен на рис. 2.9.

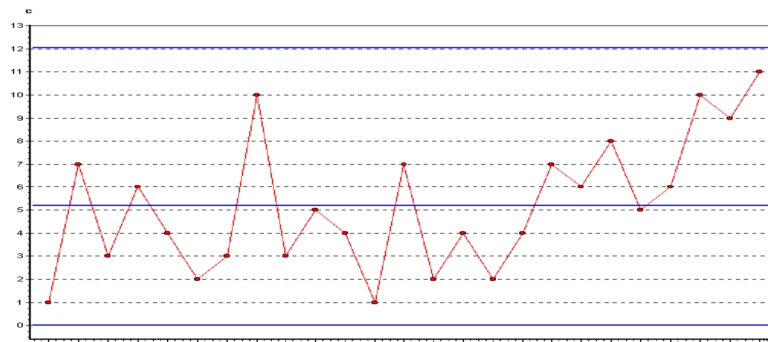


Рис. 2.9. Пример построения c -карты

Контрольная карта числа несоответствий на единицу продукции (u -карта) отражает число несоответствий на учетную контролируемую единицу в выборках, которые могут иметь различные объемы. Такая карта по-

добна c -карте, но число несоответствий пересчитывают на единицу продукции, поэтому u -карту можно применять при переменном объеме выборки. Поддержание объема выборок в пределах 25% выше или ниже среднего упрощает вычисление контрольных границ. На карту наносят число несоответствий на единицу продукции в каждой выборке:

$$u = \frac{c_i}{n_i}, \quad (2.22)$$

где c_i – число несоответствий;
 n_i – объем выборки.

Для построения контрольных границ необходимо вычислить среднее число несоответствий на единицу $\bar{u}$ по формуле:

$$\bar{u} = \frac{c_1 + c_2 + \dots + c_k}{n_1 + n_2 + \dots + n_k}, \quad (2.23)$$

где c_1, c_2, c_k – число несоответствий в выборке;

n_1, n_2, n_k – объем каждой выборки;

k – число выборок.

Сами контрольные границы вычисляются следующим образом:

$$UCL_u = \bar{u} + 3\sqrt{\bar{u}/\sqrt{n}} = \bar{u} + 3\sqrt{\frac{\bar{u}}{n}}, \quad LCL_u = \bar{u} - 3\sqrt{\bar{u}/\sqrt{n}} = \bar{u} - 3\sqrt{\frac{\bar{u}}{n}}, \quad (2.24)$$

где $\bar{n}$ – средний объем подгрупп.

В остальном порядок построения и анализа u -карт аналогичен c -картам.

2.4. Оценка возможностей и пригодности процесса

Возможность процесса – способность процесса обеспечивать соответствие требованиям. Предполагается, что установленные требования (допуски на параметры) основаны на требованиях потребителя. Возможность процесса (рис. 2.10) может быть охарактеризована:

- вероятным (фактическим) **уровнем брака** – долей изделий несоответствующих требованиям (за границами допуска);

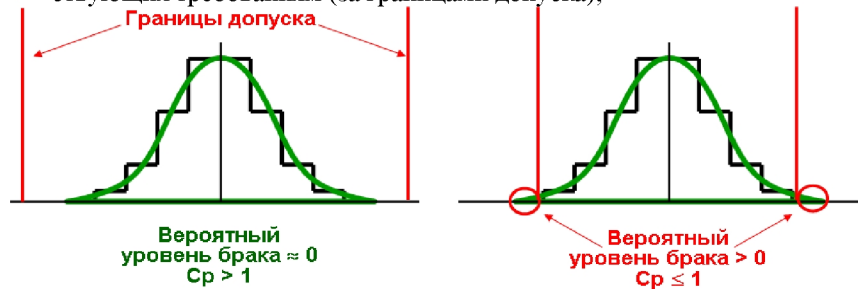


Рис. 2.10. Возможности процесса

- **индексами воспроизводимости (пригодности)** – C_p и C_{pk} (P_p и P_{pk}).

Для процессов, анализируемых при помощи **количественных данных**, возможно вычисление как индексов воспроизводимости, так и уровня брака. У процессов, оцениваемых по **альтернативным данным**, возможно оценить только уровень брака. Связь значений индексов и уровней брака показана в таблице 2.1.

Таблица 2.1.

C_p (C_{pk})	Уровень брака			
	при одностороннем допуске		при двустороннем допуске	
	%	PPM	%	PPM
0,167	30,854	308 538	61,708	617 075
0,333	15,866	158 655	31,731	317 311
0,500	6,681	66 807	13,361	133 614
0,667	2,275	22 750	4,550	45 500
0,833	0,621	6 210	1,242	12 419
1,000	0,135	1 350	0,270	2 700
1,167	0,023	233	0,047	465
1,333	0,003	31,7	0,006	63,4
1,500	0,000	3,40	0,001	6,80
1,667	0,000	0,287	0,000	0,574
1,833	0,000	0,019	0,000	0,038
2,000	0,000	0,001	0,000	0,002

Индексы воспроизводимости оценивают изменчивость процесса, вызываемую обычными причинами. Используются только для оценивания возможностей статистически стабильного процесса.

Индекс воспроизводимости (без учета настроенности процесса на центр поля допуска) C_p рассчитывается по формуле:

$$C_p = \frac{UCL - LCL}{6\bar{\sigma}}, \quad (2.25)$$

где UCL и LCL - верхняя и нижняя границы допуска, $\bar{\sigma}$ - средняя изменчивость процесса, определяемая по одной из формул (2.9) или (2.12).

Индекс воспроизводимости (с учетом настроенности процесса на центр поля допуска) C_{pk} рассчитывается по формуле:

$$C_{pk} = \frac{\min(UCL - \bar{X}, \bar{X} - LCL)}{3\bar{\sigma}}. \quad (2.26)$$

Рекомендуется стремиться к состоянию $C_{pk} > 1$, $C_{pk} \approx C_p$, т.е. $|C_{pk} - C_p| < 0,1C_p$. В общем случае значения индексов должны быть согласованы с потребителем.

Индексы пригодности оценивают полную изменчивость процесса. Они могут использоваться для предварительного оценивания возможностей процесса, не находящегося в статистически стабильном состоянии.

Индекс пригодности (без учета настроенности процесса на центр поля допуска) Pp рассчитывается по формуле, аналогичной (2.25):

$$Pp = \frac{UCL - LCL}{6\sigma}, \quad (2.27)$$

но σ - полная изменчивость процесса, определяется по формуле:

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{nk-1} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k (X_{ij} - \bar{X})^2}. \quad (2.28)$$

Индекс пригодности (с учетом настроенности процесса на центр поля допуска) Ppk рассчитывается по формуле, аналогичной (2.26), в которой, как и в (2.27), используется полная изменчивость процесса, определяемая (2.28). Расчет индексов воспроизводимости и пригодности вручную весьма трудоемок, поэтому рекомендуется использовать средства автоматизации.

2.5. Компьютерные средства поддержки процедуры SPC

Для автоматизации процедуры статистического управления процессами разработана программа «SPC 2000».

Программа «SPC 2000» – мощное и в то же время простое средство, позволяющее осуществлять статистическое управление процессами. «SPC 2000» поддерживает основные методы SPC, необходимые для анализа управляемости и воспроизводимости технологических процессов. Программа «SPC 2000» позволяет:

- систематизировать вводимую информацию по деталям, поставщикам и измеряемым параметрам;
- хранить информацию в локальной базе данных;
- строить контрольные карты (карта индивидуальных значений, $\bar{X}$ - R карта, $\bar{X}$ - S карта, карты альтернативного признака p , np , c , u);
- вычислять основные статистические характеристики (среднее, СКО, коэффициент вариации) одновременно с вводом данных;
- провести анализ распределения случайной величины (подбор теоретического закона распределения и вычисление его параметров);
- обрабатывать и анализировать данные, подготовленные в MS Excel.

Основным преимуществом программы является простой и удобный графический интерфейс, не требующий специальных навыков работы.

Программа позволяет хранить всю информацию в локальной базе данных. Для систематизации внесенной информации и контроля за вводом данных используются справочники. Справочники содержат общую нормативную информацию, на которую опираются данные основных документов. Операции со справочниками выполняются по мере необходимости для поддержания данных в актуальном состоянии.

Разработка, корректировка, распространение и хранение документов SPC осуществляется в электронном виде. Данные вводятся в стандартной форме, а вся отчетная документация SPC формируется автоматически.

Карта индивидуальных значений (рис. 2.11) является основной формой программы.

Несомненным достоинством «SPC 2000» является возможность вводить данные в контрольные карты как вручную, так и загружать их из файла или импортировать из MS Excel. Построение контрольной карты и вычисление основных статистических характеристик осуществляется одновременно с вводом данных.

В программе «SPC 2000» предусмотрена возможность построения контрольных карт (рис. 2.12) и диаграммы распределения (рис. 2.13) на основе данных карты индивидуальных значений.

В программе предусмотрен режим показа всей необходимой информации о выбранном законе распределения: его формула, параметры, результат проверки критерия Пирсона (о соответствии теоретического закона распределения эмпирическому распределению данных) и вероятная доля брака, которая рассчитывается на основе введенных границ допуска и выбранного закона распределения.

К преимуществу программы можно отнести также возможность анализа управляемости процесса. Для этого в программе предусмотрена автоматическая проверка одного из семи правил нахождения процесса в управляемом состоянии. В программе «SPC 2000» предусмотрен механизм экспорта / импорта данных и имеется встроенная справочная система, помогающая при работе с программой.

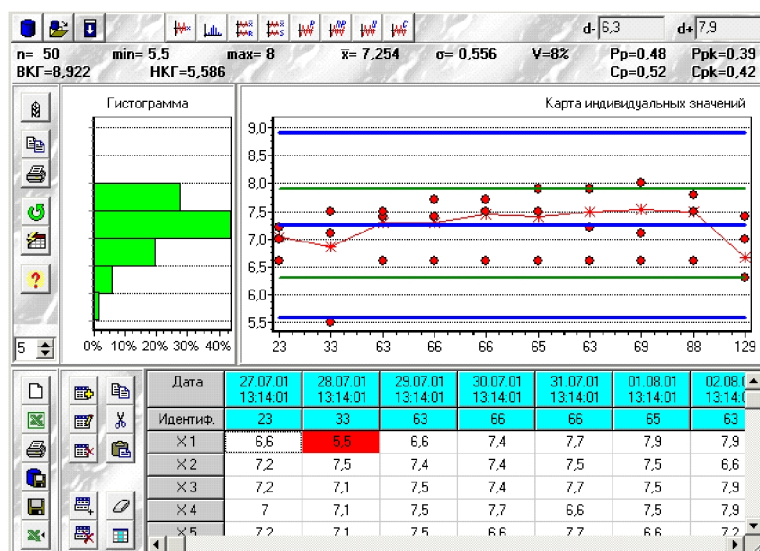


Рис. 2.11. Карта индивидуальных значений

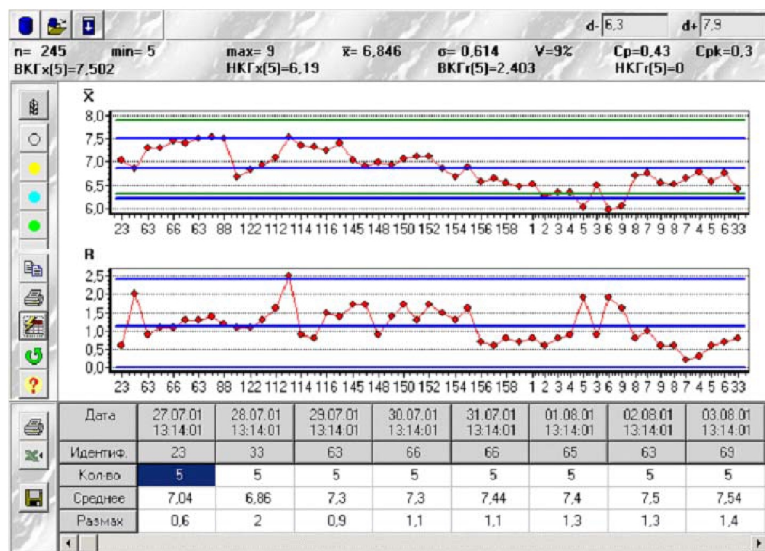


Рис. 2.12. Контрольная карта X-R

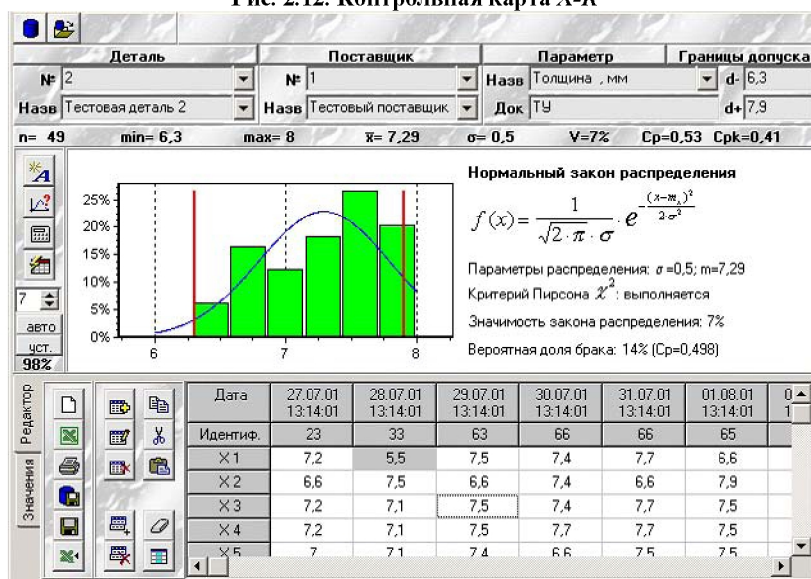


Рис. 2.13. Диаграмма распределения

3. МЕТОДЫ АНАЛИЗА ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ И КОНТРОЛЬНЫХ ПРОЦЕССОВ (MSA)

Для успешного ведения бизнеса руководители всех уровней организации всегда должны принимать решения, адекватные сложившейся обстановке. Чтобы принимать такие решения, необходимо обладать достоверной информацией о ситуации (предварительно убедившись, что источники информации верны). Часто в качестве информации для принятия решений используются результаты измерений или контроля параметров процессов или продукции. Для получения заключения о достоверности такой информации проводится анализ используемых измерительных или контрольных процессов – Measurement systems analysis (MSA) [2, 11].

3.1. Методы анализа измерительного процесса

Измерительный процесс (ИП) – совокупность операций, процедур, приборов и другого оборудования, программного обеспечения и персонала, применяемая для присваивания чисел (количественных значений) измеряемым параметрам; полный процесс, используемый для получения результата измерения.

Не стоит путать этот термин с прямым переводом термина «measurement system» - «измерительная система», т.к. в отечественной метрологии под «измерительной системой» понимается только совокупность средств измерительной техники, необходимая для получения результата измерения. Для определения объекта MSA было введено понятие измерительного процесса – процесса, преобразующего значения измеряемого параметра в результат измерений посредством использования ресурсов (средств измерительной техники и другого оборудования, оператора, окружающей среды и т.д.), регулируемого методикой выполнения измерений. Из этого определения следует, что измерительный процесс может рассматриваться (рис. 3.1) как процесс, на входе которого находится измеряемый параметр, а на выходе - результат измерения (количественное значение, число).

Рассмотрение процедуры получения результатов измерений как процесса (по аналогии с технологическими процессами, процессами управления и др.) позволяет применять при исследовании измерительного процесса статистические методы, в частности методы статистического управления процессами.

На результат измерения может повлиять множество факторов таких как (рис. 3.2):

- состояние средств измерительной техники;

- состояние окружающей среды при проведении измерения;
- применяемый метод (методика) измерения;
- персонал, осуществляющий измерения;
- собственная изменчивость измеряемого параметра.

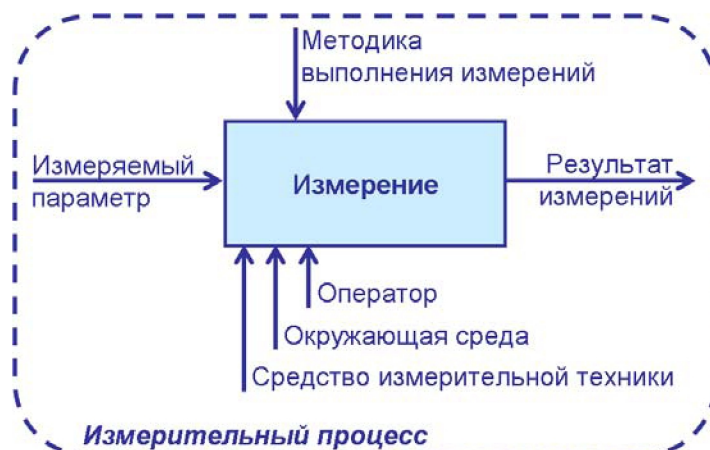


Рис. 3.1. Измерительный процесс

Набор факторов, которые влияют или могут повлиять на результат измерения, определяется группой специалистов, имеющих большой опыт использования результатов измерений, полученных при помощи анализируемого измерительного процесса. Определение степени влияния этих факторов в совокупности, а также некоторых в отдельности является предметом анализа измерительного процесса.



Рис. 3.2. Группы причин изменчивости измерительного процесса

Качество измерительного процесса полностью определяется статистическими характеристиками производимых им данных, т.е. качеством результатов измерений. На выходе «идеального» измерительного процесса

всегда были бы только «качественные» результаты, т.е. результаты измерений такого процесса всегда были бы равны истинному значению измеряемого параметра. Однако реальные измерительные процессы в лучшем случае дают результаты, близкие друг к другу и к истинному значению измеряемого параметра. Со временем (в связи с изменением одного или нескольких влияющих факторов) «качество» результатов измерений также может изменяться, зачастую непредсказуемо.

Основными свойствами измерительного процесса являются **смещение** (степень близости результатов измерений к истинному значению) и **изменчивость** (степень близости результатов измерения друг к другу) (рис. 3.3).

Эти свойства должны быть постоянны (сохраняться) во времени, т.е. измерительный процесс должен быть стабилен (статистически управляем).



Рис. 3.3. Свойства измерительного процесса

Целью анализа измерительного процесса является получение заключения о его приемлемости для целей измерений. Статистический анализ измерительного процесса проводится на основании данных специально проводимого эксперимента, заключающегося в многократном измерении образцов деталей различными операторами. Полученная по результатам эксперимента оценка изменчивости ИП - сходимости и воспроизводимости (СиВ) – сравнивается с общей изменчивостью результатов измерений. Объем исследования (полное или сокращенное исследование) определяется исходя из специфики процесса и целей анализа. Полное исследование измерительного процесса проводится в следующих случаях:

- первоначальное MSA на этапе «Валидация продукции и процессов» при разработке новой продукции (APQP);
- замены или модернизации средств измерительной техники, входящей в измерительный процесс;
- изменения технологического процесса;
- увеличения количества несоответствий измеряемого параметра.

Алгоритм полного (первоначального) исследования измерительного процесса приведен на рис. 3.4. При сокращенном (периодическом) анализе ИП проводится только исследование СиВ измерительного процесса.

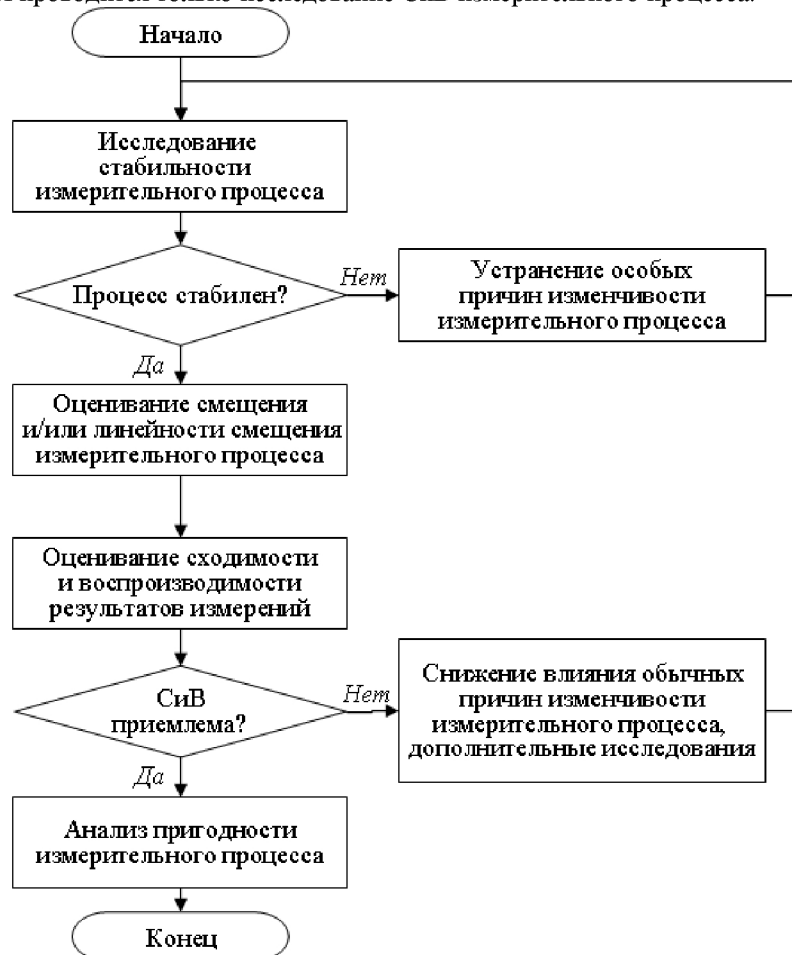


Рис. 3.4. Схема полного (первоначального) исследования измерительных процессов

При подготовке к проведению анализа **отобранные образцы** должны наиболее полно представлять весь диапазон изменчивости измеряемого параметра. При **выборе операторов**, осуществляющих сбор данных об ИП, следует привлекать как операторов, имеющих большой стаж работы, так и новых операторов, чтобы при исследованиях получить наибольшую изменчивость результатов измерений операторами. Все **средства измерительной техники**, входящие в состав ИП, должны иметь свидетельство о поверке / калибровке. **Разрешающая способность** средств измерительной техники должна быть не менее одной десятой ожидаемой изменчивости измеряемого параметра или ширины поля допуска на него. Под разрешающей способностью понимается наименьшая разность между показаниями прибора, которая может быть значимо различима.

Для **исследования стабильности** ИП проводится несколько циклов экспериментов. Каждый цикл заключается в измерении параметра одного отобранного образца одним оператором определенное количество раз. Периодичность, количество циклов (рекомендуется не менее 25) и количество замеров в цикле (рекомендуется 3-5) устанавливаются при планировании эксперимента. По полученным в ходе эксперимента данным строится $\bar{X} - R$ -карта (рис. 3.5).

Анализ стабильности ИП проводится по принципам, описанным в ГОСТ Р 51814.3. В случае нестабильности процесса необходимо определить «особые» точки и причины, спланировать и провести мероприятия для устранения таких причин, по их завершению повторно исследовать стабильность ИП (см. рис. 3.4).

Смещение измерительного процесса (рис. 3.6) оценивается как отклонение среднего арифметического результатов многократных измерений параметра от истинного значения измеряемого параметра.

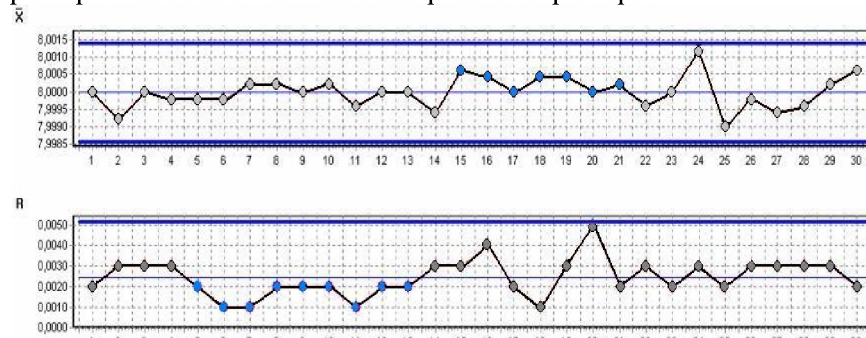


Рис. 3.5. Исследование стабильности измерительного процесса

Так как истинное значение измеряемого параметра неизвестно, можно воспользоваться его аналогом - **предполагаемым истинным значением** (значением параметра образца, полученным экспериментальным путем при

помощи средства измерения более высокого класса точности и настолько близкое к истинному значению, что в целях анализа свойств ИП может быть использовано в качестве истинного значения).

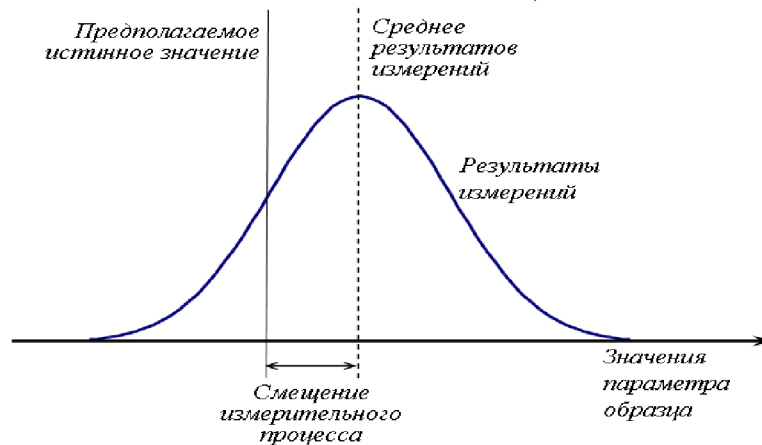


Рис. 3.6. Смещение измерительного процесса

Под **линейностью смещения** ИП понимается изменение его смещения в пределах рабочего диапазона. Для этого оценивается смещение в нескольких точках (желательно равномерно распределенных в пределах рабочего диапазона ИП) и изучается зависимость изменения смещения от предполагаемого истинного значения образца. Если эта зависимость хорошо описывается прямой линией, то говорят о линейности смещения (рис. 3.7).

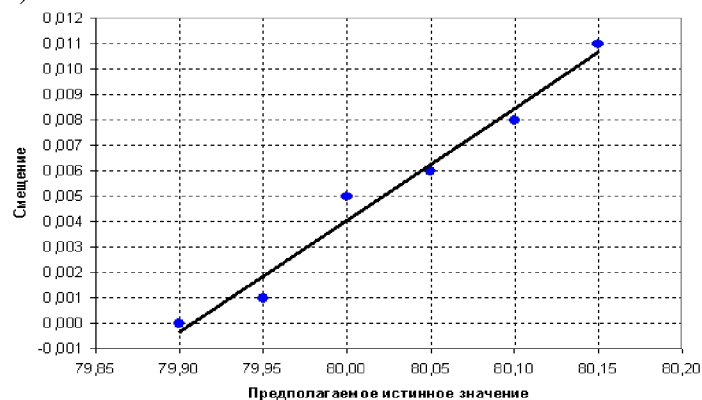


Рис. 3.7. Линейность смещения измерительного процесса

Смещение и линейность смещения не являются критериями приемлемости ИП процесса, их следует учитывать при дальнейших измерениях при помощи анализируемого ИП.

Для анализа приемлемости измерительного процесса по **сходимости и воспроизводимости** используется один из трех методов:

- метод размахов;
- метод средних и размахов;
- метод дисперсий (ANOVA).

Общая схема проведения экспериментов (рис. 3.8) не зависит от метода анализа.



Рис. 3.8. Общая схема проведения эксперимента

Метод размахов является наиболее простым как с точки зрения проведения эксперимента, так и с точки зрения обработки результатов. Обычно в эксперименте принимают участие специалист (по проведению MSA), два оператора и пять образцов. При этом каждый из операторов измеряет каждый из образцов только один раз. Данный метод позволяет получить только совместную оценку сходимости и воспроизводимости (СиВ) и сделать общие выводы о приемлемости процесса, но не дает возможности разделить изменчивость измерительного процесса на составляющие и, следовательно, определить источники высокой изменчивости и пути улучшения ИП. Рекомендуется использовать метод размахов в условиях жесткого ограничения всех видов используемых ресурсов.

Метод средних и размахов является наиболее распространенным методом, т.к. является достаточно простым как с точки зрения проведения эксперимента, так и обработки результатов. Как правило, в эксперименте принимают участие специалист, три оператора и 10 образцов. При этом каждый из операторов измеряет каждый из образцов не менее трех раз. При измерении образцы должны отбираться в случайном порядке и их номера не должны быть известны операторам. Метод средних и размахов позволяет разделить изменчивость измерительного процесса на сходимость и воспроизводимость, сделать выводы о приемлемости измерительного процесса. Для определения источников высокой изменчивости необходимо сравнить оценки сходимости и воспроизводимости: если значение сходимости превышает значение воспроизводимости, то причины высокой изменчивости результатов измерений надо искать в методе измерения или средстве измерительной техники, в противном случае – причины высокой изменчивости следует искать в операторах, производящих измерения.

Метод дисперсий (ANOVA) является наиболее точным и информативным, однако, наиболее сложным как для проведения эксперимента, так и обработки результатов (рекомендуется автоматизировать расчеты). В эксперименте принимают участие специалист, три оператора и 10 образцов. При этом каждой из операторов измеряет каждый из образцов не менее трех раз (как в методе средних и размахов). При измерении должны отбираться в случайном порядке не только образцы (номера образцов не должны быть известны операторам), но и операторы. Метод дисперсий позволяет оценить наибольшее количество составляющих изменчивости измерительного процесса и их взаимосвязи, сделать выводы о приемлемости измерительного процесса и определить источники высокой изменчивости результатов измерений.

Для оценивания сходимости и воспроизводимости проводится серия экспериментов (в соответствии с выбранным методом). Количество операторов, образцов и повторных замеров одного устанавливается при планировании эксперимента. По полученным в результате эксперимента данным вычисляются составляющие **полной изменчивости результатов измерений**:

- **сходимость** – обусловлена изменчивостью средства измерения и метода измерений;
- **воспроизводимость** – обусловлена различиями в измерениях операторов;
- **сходимость и воспроизводимость** – совокупность двух предыдущих составляющих, является основной характеристикой изменчивости измерительного процесса;
- **изменчивость параметра образца** – не зависит от свойств измерительного процесса, чем больше эта величина, тем лучше измерительный процесс;

- **взаимодействие оператора и образца** – дополнительная характеристика измерительного процесса, может быть оценена только методом дисперсий.

Решение о приемлемости измерительного процесса принимается исходя из значения относительной сходимости и воспроизводимости. Сходимость и воспроизводимость оценивается относительно допуска, если исследуемый процесс используется для оценки соответствия измеряемого параметра допуску (как в рассматриваемом случае). В противном случае критерием приемлемости измерительного процесса является отношение сходимости и воспроизводимости к общей изменчивости измерительного процесса. Рекомендации по оцениванию приемлемости процесса по относительной сходимости и воспроизводимости приведены в таблице 3.1.

Таблица 3.1.

Значение относительной сходимости и воспроизводимости	Результат анализа, выводы, рекомендации
Менее 10%	Измерительный процесс приемлем
От 10 до 30%	Измерительный процесс может быть приемлем в зависимости от важности параметра, стоимости прибора и т.п.
Более 30%	Измерительный процесс не приемлем и нуждается в улучшении. Найдите и устраните причины высокой изменчивости

Во всех случаях, если значение относительной сходимости и воспроизводимости более 10%, проводится анализ отдельных составляющих измерительного процесса для поиска причин высокой изменчивости. Когда причины найдены, их необходимо устранить и провести повторный анализ приемлемости измерительного процесса.

3.2. Методы анализа контрольного процесса

Контрольный процесс (КП) - процесс проверки соответствия параметров объекта установленным техническим требованиям, результатом которого являются данные, полученные по альтернативному признаку.

Альтернативные данные могут принимать только два значения – соответствует или не соответствует. Таким образом, контрольный процесс дает лишь заключение о соответствии анализируемого образца (детали, изделия) допуску, определенному критерию или набору критериев (свойств). При этом собственно значение измеряемого параметра зачастую остается неизвестным.

Контрольный процесс (КП) должен давать стабильно одинаковые результаты (заключения о соответствии образца по анализируемому параметру). Следовательно, основными свойствами контрольного процесса является **стабильность** (статистическая управляемость), **смещение** и **сходимость**

(составляющая изменчивости). Основной характеристикой контрольного процесса является **кривая пригодности** – линия, показывающая вероятность принятия образца при помощи анализируемого контрольного процесса в зависимости от предполагаемого истинного значения его параметра. «Идеальный» контрольный процесс имеет кривую пригодности такую, что вероятность принятия образца в допуске всегда равна 1, а вероятность принятия образца вне допуска равна 0 (рис. 3.9).

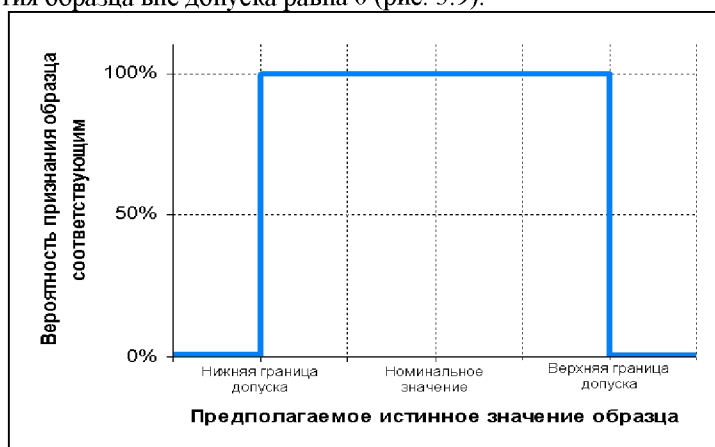


Рис. 3.9. Кривая пригодности «идеального» контрольного процесса

Реальный контрольный процесс имеет кривую пригодности отличную от идеальной - существуют области неопределенности, в которых вероятность принятия образца с определенным параметром принимает значения от больше 0 и меньше 1 (рис. 3.10).

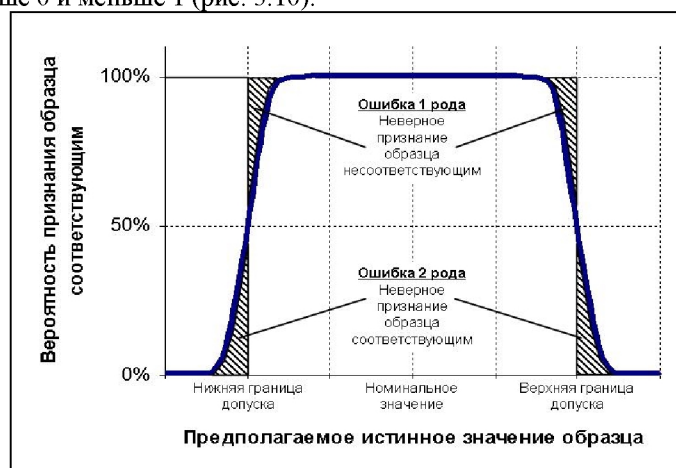


Рис. 3.10. Кривая пригодности реального контрольного процесса

Таким образом, применяя такой контрольный процесс, можно совершить ошибки:

- первого рода – не принятие соответствующего образца;
- второго рода – принятие несоответствующего образца.

Величина и расположение (относительно границ допуска) области неопределенности характеризует качество контрольного процесса.

Алгоритм полного (первоначального) анализа контрольного процесса представлен на рис. 3.11.

Периодическое (сокращенное) исследование контрольного процесса проводится при помощи экспресс-метода.



Рис. 3.11. Алгоритм полного анализа контрольного процесса

Для оценивания **стабильности контрольного процесса** проводится несколько циклов экспериментов по контролю определенного количества образцов одним оператором. Периодичность, количество циклов (рекомендуется не менее 25) и количество образцов в цикле (рекомендуется не менее 20) устанавливается при планировании эксперимента. По полученным в ходе эксперимента данным строится *np*-карта (рис. 3.12). Анализ стабильности КП проводится по принципам, описанным в ГОСТ Р 51814.3. В слу-

час нестабильности контрольного процесса необходимо определить «особые» точки и причины, спланировать и провести корректирующие мероприятия для устранения таких причин, по их завершению провести повторное исследование стабильности КП (см. рис. 3.11).

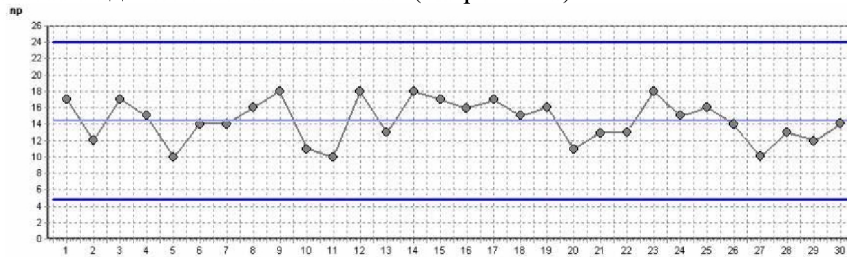


Рис. 3.12. Исследование стабильности контрольного процесса

Анализ приемлемости КП осуществляется при помощи построения и оценивания параметров **кривой пригодности**. Для ее построения относительно нижней границы допуска необходимо наличие следующих образцов (при исследовании верхней границы допуска отбор образцов аналогичен):

- одного образца, однозначно не принимаемого исследуемым КП (образец № 1);
- одного образца, однозначно принимаемого исследуемым КП (образец № 2);
- нескольких образцов (не менее 6) с различными истинными значениями параметра, распределенными между истинными значениями двух первых образцов (образцы № 3-8), не всегда принимаемых КП.

Каждый из отобранных образцов контролируется оператором при помощи исследуемого контрольного процесса определенное количество раз (рекомендуется не менее 20 раз). По полученным данным оценивается вероятность принятия каждого из отобранных образцов анализируемым КП. Результаты расчетов наносятся на график зависимости вероятности принятия образца от его предполагаемого истинного значения. Далее строится кривая, наилучшим образом приближающая полученные точки. Это и есть кривая пригодности для нижней границы допуска анализируемого контрольного процесса (рис. 3.13).

При построении кривой пригодности для верхней границы допуска используется аналогичная процедура (при этом должен быть проведен специальный эксперимент). Полная кривая пригодности получается сопоставлением двух кривых: кривой для нижней границы допуска и для верхней границы допуска (если они существуют).

По полученной кривой пригодности определяются смещение и сходимость анализируемого контрольного процесса. Решение о приемлемости **контрольного процесса** принимается исходя из анализа кривой пригодности и соотношения между смещением и сходимостью:

- кривая пригодности должна приближаться к виду, приведенному на рис. 3.13;
- точка кривой пригодности, в которой вероятность признания образца соответствующим равна 0,5, должна находиться как можно ближе к анализируемой границе поля допуска, т.е. смещение контрольного процесса должно стремиться к нулю;
- смещение контрольного процесса должно быть мало по сравнению с его сходимостью (существует критерий для проверки статистической значимости смещения);
- сходимость контрольного процесса не должна быть велика по сравнению с допуском (если он известен).

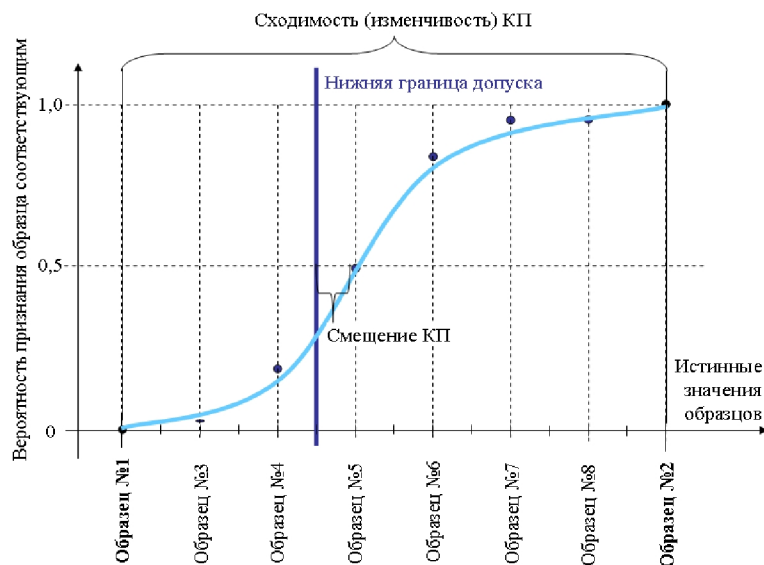


Рис. 3.13. Кривая пригодности контрольного процесса

Оценивание приемлемости контрольного процесса **экспресс-методом** состоит в последовательном контроле нескольких (рекомендуется не менее 20) образцов двумя или более операторами по несколько раз (рекомендуется не менее 2 попыток).

Контрольный процесс признается приемлемым, если по результатам контроля все операторы (во всех попытках) дали одинаковые заключения о соответствии (или несоответствии) каждого из контролируемых образцов. Если хотя бы по одному образцу были разногласия, КП признается не приемлемым.

3.3. Компьютерные средства поддержки процедуры MSA

Для анализа измерительных и контрольных процессов предназначена информационная система (ИС) «MSA 2003» [2].

Информационная система позволяет автоматизировать:

- проведение всех видов анализа измерительных и контрольных процессов;
- ведение справочников параметров, изделий, средств измерения / контроля, сотрудников, процессов и т.д.;
- экспорт данных в MS Excel;
- сохранение результатов экспериментов и результатов анализа в специальном файле.

Информационная система поддерживает проведение следующих видов анализа измерительного процесса:

- анализ стабильности измерительного процесса;
- анализ смещения измерительного процесса;
- анализ линейности смещения измерительного процесса;
- анализ сходимости и воспроизводимости измерительного процесса.

Для анализа стабильности измерительного процесса по собранным данным строится контрольная карта средних и размахов – $\bar{X} - R$ -карта. Ее анализ может осуществляться как визуально, так и при помощи встроенной проверки семи основных правил «нестабильности». Если один из признаков «нестабильности» найден, автоматически будет сделан вывод о нестабильности процесса. Этот вывод можно отредактировать вручную, если такое поведение следует из «природы» процесса.

Выводы о приемлемости смещения измерительного процесса формируются автоматически. Для анализа линейности смещения измерительного процесса строится линия регрессии (рис. 3.14), автоматически рассчитываются ее параметры, и делается вывод о линейности смещения, который в последствии может быть отредактирован.

Анализ сходимости и воспроизводимости измерительного процесса осуществляется при помощи двух аналитических методов: метода средних и размахов и метода дисперсий, а также визуального анализа при помощи графических методов.

По результатам собранных данных вычисляются составляющие полной изменчивости результатов измерений:

- сходимость;
- воспроизводимость;
- сходимость и воспроизводимость;
- изменчивость параметра образца;
- взаимодействие оператора и образца (вычисляется только в методе дисперсий, при этом также ведется автоматическая проверка значимости этой составляющей).

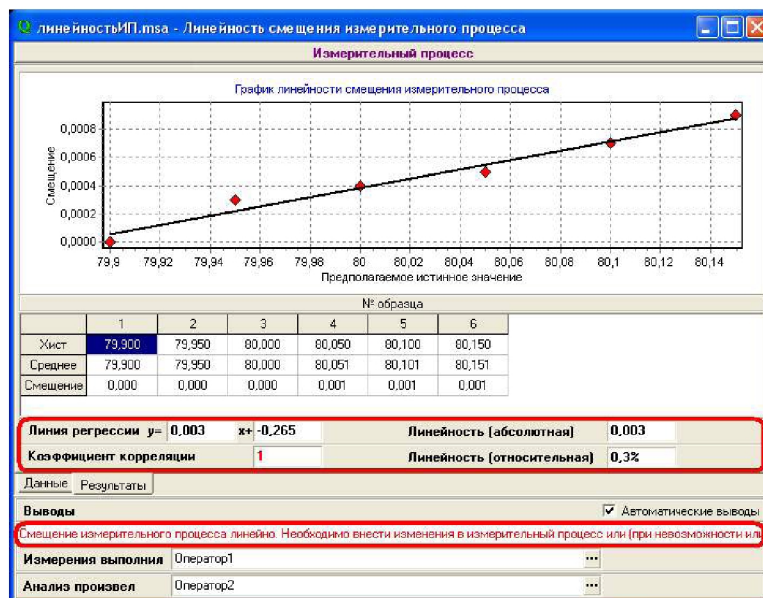


Рис. 3.14. Пример анализа линейности смещения измерительного процесса

По соотношению между этими составляющими или по их относительным величинам (относительно полной изменчивости или допуска на измеряемый параметр) делаются выводы о приемлемости анализируемого процесса. Автоматические выводы делаются по сходимости и воспроизводимости относительно допуска, рассчитанной по методу дисперсий.

Анализ приемлемости измерительного процесса при помощи графических методов проводится визуально. Для этого в ИС автоматически строятся карты средних и размахов по всем исследуемым в ходе эксперимента образцам отдельно для каждого оператора. Использование графических методов позволяет сделать более глубокие выводы о приемлемости процесса и о причинах его высокой изменчивости (если она имеет место), а также позволяет «увидеть» ошибки, совершенные при проведении эксперимента.

Информационная система поддерживает проведение следующих видов анализа контрольного процесса:

- анализ стабильности контрольного процесса;
- анализ смещения и сходимости контрольного процесса;
- анализ приемлемости контрольного процесса экспресс-методом.

Анализ стабильности контрольного процесса проводится полностью аналогично анализу стабильности измерительного процесса. Исключение составляет только тип используемой контрольной карты. При анализе стабильности контрольного процесса используется контрольная карта по аль-

тернативному признаку – карта числа несоответствующих единиц в партии – *np*-карта (рис. 3.15).

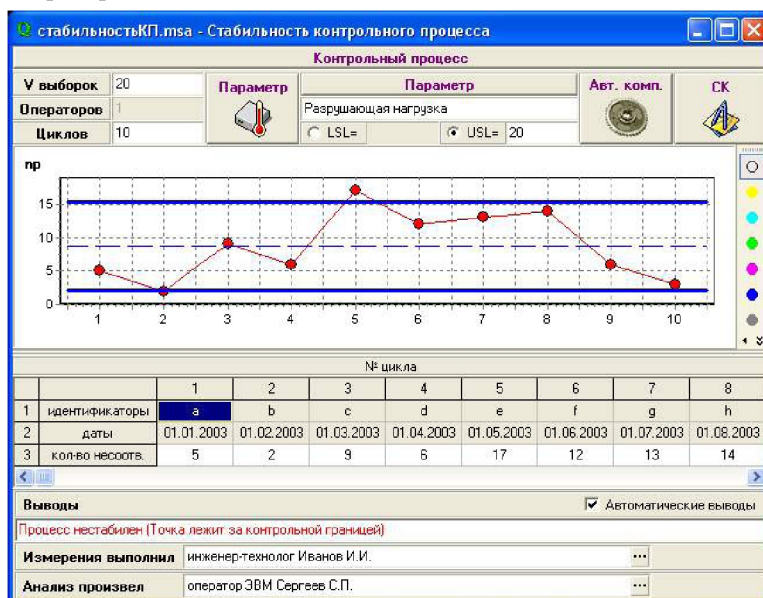


Рис. 3.15. Пример анализа стабильности контрольного процесса

Анализ смещения и сходимости контрольного процесса проводится путем построения кривой пригодности по данным, собранным в результате проведенного эксперимента. Параметры кривой пригодности (рис. 3.16) и выводы формируются автоматически.

Выводы по результатам анализа контрольного процесса экспресс-методом формируются автоматически.

В информационной системе имеется удобная возможность обмена и хранения данных. Имеется возможность экспорта в MS Excel как данных, собранных в ходе проводимых экспериментов, так и результатов расчетов и анализа. Возможность экспорта предусмотрена во всех видах анализа. В результате экспорта получаем обыкновенный файл MS Excel, который может быть просмотрен, отредактирован (при необходимости), распечатан (используя удобные настройки) или сохранен для последующей обработки.

Формы получаемых «Контрольных листов...» и «Протоколов анализа...» полностью соответствуют (рис. 3.17) формам, приведенным в ГОСТ Р 51814.5 «Анализ измерительных и контрольных процессов».

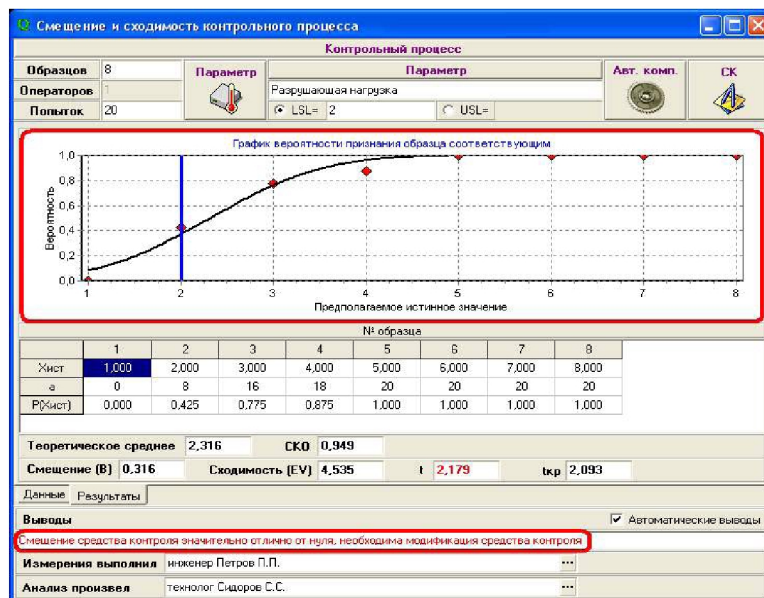


Рис. 3.16. Пример построения кривой пригодности

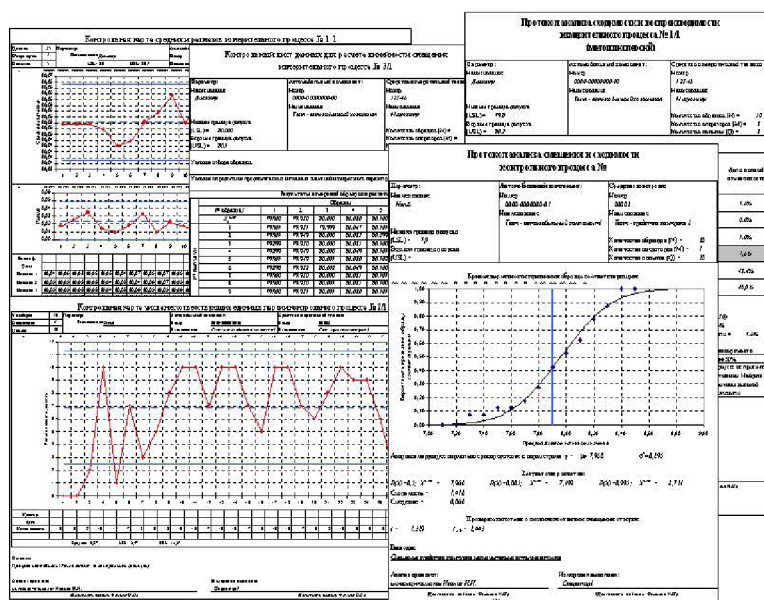


Рис. 3.17. Примеры отчетных документов, формируемых ИС «MSA 2003»

4. МЕТОДЫ МЕНЕДЖМЕНТА КАЧЕСТВА ПРИ МАССОВОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

Помимо рассмотренных выше методы менеджмента качества включают в себя, особенно при массовом производстве, в частности, в автомобильной промышленности, следующие методы [11, 15]:

- APQP – Перспективное планирование качества продукции;
- QFD - Развёртывание функций качества;
- СОКП - Система определения ключевых параметров;
- FMEA - Анализ видов и последствий потенциальных дефектов;
- PPAP - Одобрение производства автомобильных компонентов;
- QSA - Оценка системы качества;
- 8D - Решение проблем качества продукции.

4.1. Перспективное планирование качества продукции (APQP)

Процесс планирования качества продукции образует цикл, включающий два основных раздела: нарастающее планирование и внедрение. Раздел «нарастающее планирование», связанный с планированием, обеспечением и подтверждением качества продукции или процесса, охватывает три четверти цикла. Раздел «внедрение» охватывает только четверть цикла, однако это весьма важная стадия, т.к. на ней выполняется утверждение выходных результатов и создается основа для непрерывного улучшения [11, 15].

Для планирования качества продукции должна быть создана команда, включающая представителей технической и производственной служб, служб закупок, логистики, сбыта, сервиса, поставщиков и потребителей. При этом инициировать процесс планирования качества и создания команды может потребитель.

Команда по планированию качества продукции должна выявить ожидания и требования потребителя на самой ранней стадии работы, установить связи с командами потребителя и поставщиков и организовать регулярные встречи для решения возникающих вопросов. Межфункциональные команды должны выполнять работу не в виде последовательных фаз, а параллельно, что позволяет быстрее достигнуть цели.

Следует заметить, что к элементам планирования относятся также способы и средства выполнения работы. Поэтому для решения задач процесса планирования команда должна использовать весь арсенал аналитических методов. Например, процедуру развёртывания (структурирования) функций качества (QFD), процедуру анализа видов и последствий потенциальных дефектов (FMEA), причинно-следственные диаграммы и др.

Одной из важнейших задач команды по планированию качества является определение сроков для этапов плана. План должен учитывать тип продукции, ее сложность и ожидания потребителя, каждое событие должно иметь даты «начала» и «окончания». Пример обобщенного графика перспективного планирования качества продукции приведен на рис. 4.1.

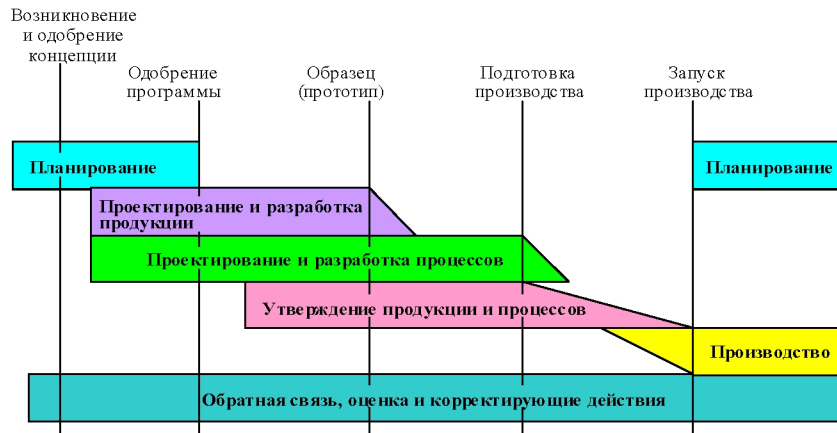


Рис. 4.1. Временной график планирования качества

Планирование качества следует структурировать по этапам временного графика. Каждый этап может рассматриваться как процесс, поэтому выходы предыдущего этапа являются входами последующего. Для этапа «Планирование» входными данными служат информация от потребителя, стратегия бизнес-плана и маркетинга, данные об опорных показателях продукции (процессов), предположения о продукции (процессах), исследования надежности продукции.

В результате выполнения работ формируются документы, являющиеся выходами этапа планирования:

- цели разработки;
- цели по надежности и качеству;
- предварительный перечень материалов;
- предварительная карта процессов;
- предварительное перечисление ключевых параметров продукции и процессов;
- план обеспечения качества продукции.

На этапе «Проектирование и разработка продукции» командой вырабатываются свойства конструкции. Создается прототип и согласовываются объемы и сроки производства, проверяются возможности производства по обеспечению соответствия техническим требованиям, включая качество, надежность, вес, затраты, себестоимость, сроки. Команда должна оценить и

задокументировать осуществимость проекта. В результате выполнения работ формируются документы, являющиеся выходами этапа:

- новые требования к оборудованию, инструменту, оснастке и производственным площадям;
- ключевые параметры продукции и процессов;
- план управления качеством для прототипа;
- требования к контрольно-измерительному и испытательному оборудованию;
- заключение команды об осуществимости проекта.

На этапе «Проектирование и разработка процессов» командой рассматриваются главные особенности разработки производственной системы, которая должна гарантировать, что требования и ожидания потребителя будут выполнены. В результате выполнения работ на этапе проектирования и разработки процессов формируются следующие документы:

- карта потока процесса;
- чертеж плана цеха;
- матрица характеристик;
- результаты анализа видов и последствий потенциальных дефектов процесса (PFMEA);
- инструкции по процессам;
- план изучения предварительной воспроизводимости процессов;
- результаты анализа СМК и т.д.

В ходе этапа «Утверждение продукции и процесса» команда должна подтвердить, что продукция соответствует требованиям потребителя и устранены все возникшие проблемы до начала массового производства.

На заключительном этапе с использованием производственного оборудования, окружающей среды, персонала, площадей предприятия производится опытная партия, на основе которой анализируется воспроизводимость процессов для ключевых параметров продукции. Параллельно должна быть выполнена оценка измерительных и контрольных процессов. Составной частью этого этапа является проведение испытаний, подтверждающих соответствие продукции техническим условиям, и одобрение потребителем процессов производства и образцов продукции.

При переходе к массовому производству работа команды не заканчивается. Далее команда должна оценивать качество продукции, анализировать с использованием статистических методов наличие особых и обычных причин изменчивости и планировать необходимые корректирующие действия, направленные на устранение особых причин, а затем на понимание и снижение влияния обычных причин.

Для автоматизации процедуры перспективного планирования качества продукции имеются программы, которые позволяют хранить всю информацию в локальной базе данных.

4.2. Развёртывание функций качества (QFD)

Для перевода представлений о качестве, добытых у потребителя, в конкретные требования, понятные специалистам, участвующим в создании нового изделия, в начале 70-х годов японцы разработали эффективную методологию Quality Function Deployment (QFD), что можно перевести как развёртывание функции качества, или как метод структурирования функции качества. С 1972 года QFD начинают применять на Toyota и Mitsubishi. В 1982 году институт поставщиков вводит QFD в США. В настоящее время этот метод охватывает такие секторы рынка, как машиностроение, химическая промышленность, электроника, пищевая и текстильная промышленность, строительство. Начали применять данный метод и в сфере услуг (отели, банки). Опыт показывает, что применение QFD обеспечивает сокращение времени разработки, снижение затрат на запуск в производство и затрат на изменения (до 50%), концентрацию внимания на важных аспектах разработки и т.д.

Матричная диаграмма является основным выходным документом QFD. Выполнить полный QFD – означает последовательно разработать серию матричных диаграмм на стадиях планирования продукта, проектирования продукта и процессов, производства. Каждая диаграмма даёт ответы на главные вопросы «Что надо сделать?» и «Как надо делать?» на той или иной стадии жизненного цикла продукта. Для каждой стадии строится своя диаграмма. Диаграмма QFD представляет собой совокупность взаимосвязанных таблиц. Внешне она похожа на дом, и потому многие специалисты называют её «дом качества». Структура диаграммы QFD с указанием основных входящих в неё областей приведена на рис. 4.2.

Диаграмма строится путём последовательного определения и записи в соответствующую область следующих массивов данных:

- 1) требования и пожелания потребителей;
- 2) важность требований;
- 3) оценка конкурентов;
- 4) характеристики продукции / процессов;
- 5) матрица связи требований и характеристик;
- 6) корреляционная матрица и направление улучшения характеристик;
- 7) значимость характеристик;
- 8) вспомогательная информация о характеристиках;
- 9) целевые значения характеристик.

Единой формы рабочей диаграммы QFD нет. Однако, как показало изучение опыта различных фирм [11], формы применяемых диаграмм отличаются в основном областью вспомогательной информации и размерами матрицы. Для каждой технической характеристики мы должны определить конкретное целевое значение, то есть то значение, к которому будут стремиться разработчики, чтобы удовлетворить требования потребителей.

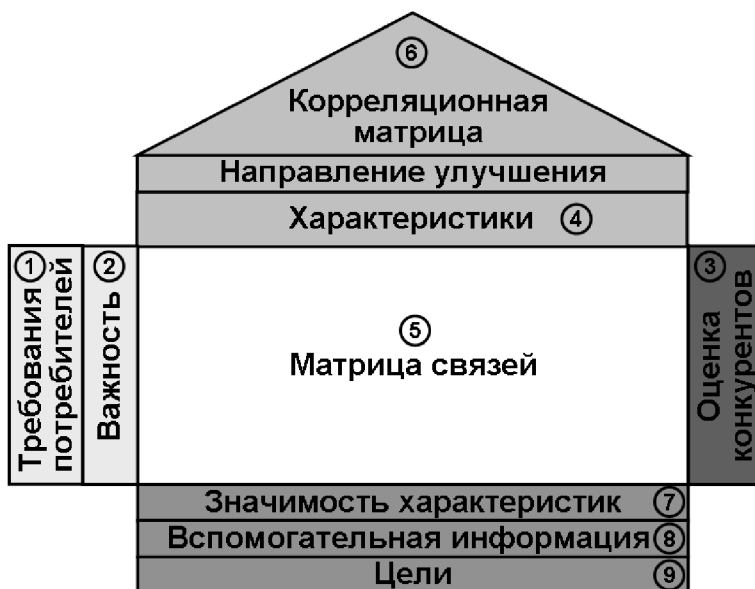


Рис. 4.2. Структура диаграммы QFD

Сначала полезно выяснить, какие из характеристик играют доминирующую роль. Допустим, что есть такая характеристика, которая положительно коррелирует со всеми потребительскими требованиями. Совершенно очевидно, что это была бы самая главная характеристика изделия, и необходимо сделать всё, чтобы максимально приблизить значение этой характеристики к значению, требуемому потребителями.

Представим другую крайнюю ситуацию: есть какая-то характеристика, которая не коррелирует ни с одним потребительским требованием. Это означает, что выбор значения этой характеристики не имеет никакого значения для рынка. И поэтому мы можем выбирать её значения из каких-то других соображений, например, из экономических.

Проблема состоит в том, что мы не знаем, как изменится мнение потребителей за тот период времени, пока наша продукция выйдет на рынок. И никто не может сказать, в каком темпе будут соединяться во времени требования потребителя с каждой технической характеристикой. Поэтому как бы тщательно и полно мы не собирали информацию, задание на проектирование в виде целевых значений характеристик окончательно выбирает главный руководитель. Его решение базируется на понимании и предвидении ситуации. Только с того горизонта, который доступен команде высшего руководства, можно выстроить стратегическую перспективу. Выбранные руководством характеристики записывают в последней строке матричной диаграммы, и они определяют цель, которую должны достигнуть проектно-конструкторские, технологические и другие службы предприятия.

4.3. Система определения ключевых параметров (СОКП)

Все параметры продукции и процессов должны соответствовать требованиям, установленным в конструкторской и технологической документации. Однако очевидно, что не все параметры продукции одинаково влияют на удовлетворенность потребителей и технико-экономические показатели производства. Параметры технологических процессов в различной степени влияют на формирование параметров продукции. В связи с этим на ранних стадиях проектирования конструкции и разработки технологической документации определяются и идентифицируются ключевые параметры продукции (КПП) и ключевые контрольные параметры (ККП) процессов производства, вводятся специальные обозначения и выбираются соответствующие уровни управления. Это устанавливает система определения ключевых параметров (СОКП), построенная на понятии функции потерь.

Ключевой параметр продукции – параметр, разумно ожидаемая изменчивость которого (в пределах допуска) может без нарушения требований значительно повлиять на удовлетворенность потребителей.

Ключевой контрольный параметр – параметр процесса, изменчивость которого (в пределах допуска) оказывает значительное влияние на изменчивость ключевого параметра продукции.

Функция потерь – функция, описывающая снижение удовлетворенности потребителя при любом отклонении ключевого параметра продукции от номинального значения.

Допущение об «одинаковости» изделий, параметры которых находятся в пределах допуска, верно не всегда. В случае, показанном на рис. 4.3, изделия со значениями параметра равными А и Б находятся в допуске и соответствуют установленным техническим требованиям. Однако, они не являются «одинаковыми», их использование может привести к различным последствиям. В случае, показанном на рис. 4.4, изделия со значениями параметра равными А и Б являются «одинаковыми», их использование не приведет к различным последствиям.

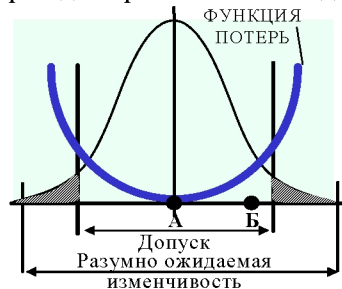


Рис. 4.3. Требуется специальное управление

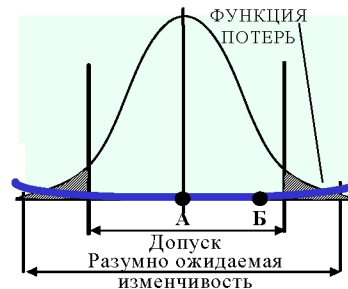


Рис. 4.4. Специальное управление не требуется

Предполагается, что в обоих случаях несоответствующая продукция со значениями параметра за пределами поля допуска – заштрихованная область – обнаруживается.

При проектировании возможно корректировать допуск на основе знаний об изменчивости параметра и поведении функции потерь. Однако это не всегда возможно и целесообразно. Достижение целей может быть обеспечено не только путем ужесточения допусков, но и за счет применения различных уровней управления и соответствующих методов управления и контроля. Например, ужесточение допуска на параметр детали требует соответствующих технологических решений и может привести к необходимости закупки более дорогого и высокоточного оборудования взамен существующего. При этом стоимость продукции возрастает непропорционально ее ценности.

При идентификации ключевых параметров продукции необходимо использовать знания об изделиях и их аналогах, результаты FMEA-конструкции, требования к технико-экономическим показателям продукции, результаты гарантийного обслуживания аналогичных изделий и анализа функции потерь и т.д.

К ключевым параметрам продукции применяется специальное управление, которое описывается в плане управления, где помимо операционных карт и карт контроля используются карты анализа FMEA, статистическое управление процессами (SPC) и т.д. Целесообразно применение технологических процессов с использованием активного контроля (с обратной связью). Ключевые параметры продукции требуют наивысшего внимания.

При идентификации ключевых контрольных параметров процессов необходимо использовать данные о КПП и критериях управления КПП; результаты FMEA-процесса; данные мониторинга и статистического анализа аналогичных процессов.

Применение СОКП позволяет достигать оптимального соотношения цены и качества продукции и производства за счет повышенного внимания к нескольким ключевым параметрам, чем к многим обычным, а также способствует совершенствованию методов проектирования и разработки продукции благодаря проверке обеспечения требований на самых ранних стадиях проектирования, выявлению неустойчивых областей проекта. Использование одинаковых методов управления для всех параметров приведет к тому, что параметры, чувствительные к производственным изменениям, не получат достаточного внимания.

4.4. Анализ видов и последствий потенциальных дефектов (FMEA)

Метод анализа видов и последствий потенциальных дефектов (Failure Mode and Effects Analysis - FMEA) позволяет [11, 15]:

- **выявить и оценить** потенциальные дефекты, которые могут возникнуть при применении продукции или функционировании процесса;

- **определить** возможные последствия потенциальных дефектов и их возможные причины;
- **выработать** действия по устранению этих причин или предотвращению возможных последствий;
- **документировать** все эти мероприятия.

FMEA также определяют как аналитический метод доработки продукции / процессов по уровню качества путём принятия мер, направленных на предотвращение возможных дефектов. Максимальный эффект от применения FMEA достигается при своевременном (как можно более раннем) его выполнении.

Важная особенность FMEA – использование большого объёма знаний и опыта и ослабление влияния «барьеров» между службами. Переход на систематический FMEA означает переход на командную форму организации работ по качеству. Основными видами FMEA являются:

- FMEA конструкции (*Design FMEA* - DFMEA);
- FMEA процесса (*Process FMEA* - PFMEA);
- FMEA оборудования (*Machinery* - MFMEA).

DFMEA представляет собой процедуру анализа первоначально предложенной конструкции изделия, позволяющую предотвратить запуск в производство недостаточно отработанной конструкции, заранее предусмотреть необходимые меры в технологии изготовления, предупреждая появление и снижая риск дефекта

PFMEA используется для анализа технологических процессов обработки и сборки. Анализ начинается на стадии подготовки производства и заканчивается до монтажа производственного оборудования.

MFMEA применяется для анализа специализированного оборудования, выпускаемого в относительно малых объемах. Анализ должен быть начат на ранней стадии проектирования.

FMEA конструкции рассматривает риски, которые могут возникнуть у внешнего потребителя, а FMEA процесса – у внутреннего потребителя.

Для проведения FMEA определённого изделия, технологического процесса или оборудования создаётся специальная команда, которая должна состоять из разнородных специалистов, имеющих достаточный практический опыт работы с аналогичными объектами. Члены FMEA-команды в совокупности должны иметь практический опыт в следующих областях:

- конструирование аналогичных объектов;
- разработка аналогичных технологических процессов;
- процессы производства компонентов и сборки;
- технология контроля;
- техническое обслуживание и ремонт;
- испытания;
- анализ поведения аналогичных объектов в эксплуатации;

- анализ надёжности и стабильности технологических процессов;
- анализ частоты дефектов и контроля работы соответствующего оборудования и персонала.

В рабочую группу по проведению FMEA конструкции обычно входят представители конструкторских и технологических отделов, службы обеспечения качества, представители опытного производства. FMEA процесса производства обычно производится у изготовителя представителями технологического отдела, службы обеспечения качества с участием соответствующих специализированных отделов изготовителя и, при необходимости, потребителя. В состав команды, проводящей FMEA процесса, должны входить специалисты, проводившие FMEA конструкции данного объекта.

Обобщенной оценкой, указывающей на степень риска возникновения дефекта, является **приоритетное число риска (ПЧР)**, характеризующее:

- **значимостью** последствия дефекта – S [*significance* – значимость];
- **возможностью возникновения** дефекта – O [*origination* – начало, происхождение, *originate* – возникать];
- **возможностью обнаружения** причины – D [*detection* – обнаружение, выявление].

$$ПЧР = S \cdot O \cdot D.$$

Каждый из рангов – S , O , D – определяется по 10-балльной шкале, составляемой в форме таблицы или графика. ПЧР может принимать значения от 1 до 1000. Для конкретного вида продукции или производства шкалы рангов желательно конкретизировать в более привычных терминах.

Ранг значимости S определяется в зависимости от тяжести последствий дефекта и реакции потребителя. Ранг $S = 1$ выставляется, если дефект не оказывает влияния на характеристики изделия и последующий этап процесса и потребитель не заметит дефекта. Ранг $S = 10$ выставляется, если дефект затрагивает безопасность или нарушает законодательные предписания. Снижение ранга значимости последствия потенциального дефекта может быть достигнуто только через изменение конструкции или технологии. Несмотря на фактическое значение ПЧР, особое внимание следует уделять тем дефектам, значимость последствий которых высока.

Ранг возникновения O потенциального дефекта определяется на основе частоты возникновения дефекта при эксплуатации аналогичного объекта. Снижение ранга возникновения может быть достигнуто путем изменения конструкции или технологии.

Ранг обнаружения D дефекта определяется в зависимости от вероятности пропуска дефекта.

Снижение ранга обнаружения дефекта может быть достигнуто через совершенствование средств контроля, что дорого и неэффективно для улучшения качества. Упор следует делать на снижение частоты появления дефекта, т.е. на снижение ранга его возникновения.

Для каждой области применения FMEA должно быть установлено предельное значение – $ПЧР_{пр}$. В случае если $ПЧР$ превосходит $ПЧР_{пр}$, должны разрабатываться мероприятия, направленные на снижение рангов в следующем порядке: значимость, возникновение, обнаружение. После выполнения мероприятий ранги должны быть пересмотрены и рассчитаны новые $ПЧР$. Если новое $ПЧР$ существенно уменьшилось и не превышает $ПЧР_{пр}$ – мероприятия эффективны. В противном случае принимается решение о повторном проведении FMEA с разработкой и внедрением мероприятий.

4.5. Одобрение производства поставщика (PPAP)

Применение процедуры PPAP (Production Part Approval Process) является эффективным, апробированным в течение многих лет механизмом менеджмента качества [11, 15]. Чрезвычайно важным является вовлечение подразделений поставщика и заказчика в процессы выполнения процедуры и процессы разработки соответствующих нормативных документов, которые описывают участие различных служб (конструкторских, технологических, метрологических, качества, и т.д.) в подготовке данных, их анализе и выдаче заключений.

Процедура одобрения производства включает ответы на следующие вопросы:

- в каких ситуациях применяется процедура?
- какие уровни представления материалов необходимы для одобрения производства?
- какие материалы включает каждый уровень представления?
- какие применяются уровни одобрения?

Процедура PPAP применяется в следующих ситуациях:

- внедрение нового изделия;
- устранение разногласий по ранее поставляемому изделию;
- внесение изменений в чертежи, спецификации;
- изменение процесса или технологии производства изделия;
- замена конструкции или материала изделия и т.д.

Возможны 5 уровней представления документов и образцов, характеризующих производство изделия:

«1» – заявка на одобрение производства изделия и отчет о согласовании внешнего вида предоставляются потребителю.

«2» – заявка на одобрение производства изделия, образцы и ограниченный набор подтверждающих документов предоставляются потребителю.

«3» – заявка на одобрение производства изделия, образцы и полный набор подтверждающих документов предоставляются потребителю.

«4» – заявка на одобрение производства изделия (без образцов) и полный набор подтверждающих документов предоставляются потребителю.

«5» – заявка на одобрение производства изделия, образцы и полный набор подтверждающих документов рассматриваются комиссией потребителя на предприятии поставщика.

Выбор уровня представления зависит от:

- важности изделия с точки зрения безопасности, соответствия законодательным требованиям, надежности и т.д.;
- категории поставщика с учетом технологического уровня;
- квалификации поставщика в области производства изделия;
- наличия у поставщика сертификата на СМК и т.д.

Для одобрения производства автомобильного компонента предприятие-поставщик представляет следующие группы документов и образцов (рис. 4.5):

- заявку на одобрение производства автомобильного компонента;
- документы и образцы, характеризующие качество автомобильного компонента;
- документы, характеризующие качество технологического процесса производства автомобильного компонента;
- документы, характеризующие систему менеджмента качества.



Рис. 4.5 Комплект документов и образцов, представляемых поставщиком

Поставщик по своему усмотрению может изменить состав документов в сторону его увеличения. По результатам испытаний образцов и рассмотрения документов, предоставленных поставщиком, потребитель может выдать заключение:

- одобрение - поставщику разрешена промышленная поставка;

- временное одобрение - поставщику разрешена поставка в ограниченный период или ограниченного объема. Поставщик должен предпринять дополнительные меры по обеспечению качества;
- отклонение - поставщику поставка не разрешается. Поставщик должен устранить выявленные несоответствия и их причины и повторно пройти процедуру РРАР.

Для автоматизации процесса одобрения производства автомобильных компонентов имеется программа «РРАР», позволяющая:

- формировать пакет документации для предоставления потребителю;
- хранить информацию в локальной базе данных;
- проверять документацию на полноту заполнения;
- осуществлять электронный обмен данными между потребителем и поставщиком.

Основным преимуществом программы является простой и удобный графический интерфейс, не требующий специальных навыков работы.

4.6. Аудит и оценивание системы менеджмента качества (QSA)

Процедура QSA включает: описание процесса проведения аудита, рекомендации по анализу и количественному оцениванию результатов аудита, вопросник для проведения аудита [11, 15].

Целью аудита является проверка соответствия системы менеджмента качества предприятия предъявляемым к ней требованиям. Требования могут быть определены как применяемым стандартом на СМК, так и потребителями. Оценивание СМК предполагает определение степени соответствия в количественном выражении: в баллах, в процентах и т.д.

Выделяют три вида аудита СМК. Аудит первой стороной – внутренний аудит. Аудит второй стороной – аудит, проводимый потребителем у поставщика. Аудит третьей стороной – аудит, проводимый независимой стороной, в том числе органом по сертификации. Аудит, как правило, включает:

- аудит адекватности – этот этап может быть осуществлен как непосредственно на месте, так и вне проверяемого предприятия. При аудите адекватности оценивается соответствие документации СМК требованиям применяемого стандарта на систему менеджмента качества, а также дополнительным требованиям, установленным потребителем;
- аудит соответствия – осуществляется непосредственно на проверяемом предприятии. При аудите соответствия оценивается, насколько деятельность предприятия соответствует требованиям документации;
- анализ и отчет. На основании результатов первых двух этапов делается вывод о соответствии СМК проверяемого предприятия установленным требованиям.

При оценивании СМК по результатам аудитов применяются: «метод да/нет» или «метод баллов» (или оба метода одновременно).

«Метод да/нет» – это метод определения соответствия или несоответствия объекта требованиям. При оценивании области, проверяемой согласно очередному вопросу проверочного листа, даются оценки: «значительное несоответствие», «малозначительное несоответствие», «соответствие». Принятие решения о наличии несоответствия и его классификации находится в компетенции аудитора. Заключение о соответствии СМК делается при отсутствии значительных несоответствий и наличии не более 15 малозначительных несоответствий.

«Метод баллов» – это метод количественного оценивания степени соответствия объекта требованиям. При формировании общей оценки и оценок на различных уровнях рекомендуется учитывать значимость различных элементов СМК с помощью весовых коэффициентов соответствующих вопросов.

По выявленным несоответствиям поставщик планирует корректирующие действия, определяет сроки выполнения и уведомляет потребителя при их завершении.

Для автоматизации процедуры аудита и оценивания системы менеджмента качества разработана программа «Аудит СМК», которая позволяет:

- планировать проведение аудита СМК;
- формировать комиссию с использованием зарегистрированных данных об экспертах;
- формировать перечень показателей, их значимостей, а также анкету;
- составлять ранжированный перечень несоответствий показателей с учетом как опыта экспертов, так и ответов на контрольные вопросы;
- определять возможные неблагоприятные последствия, качественно и количественно оценивать их значимость;
- количественно оценивать риск несоответствий и разрабатывать план действий с целью снижения риска;
- хранить информацию в локальной базе данных.

Основным преимуществом программы является простой и удобный графический интерфейс, не требующий специальных навыков работы.

4.7. Решение проблем качества продукции (8D)

Для решения проблем качества продукции, направленного на идентификацию корневой причины и ее устранение, разработана методика, помогающая внести изменения в конструкцию, процессы, процедуры или системы таким образом, чтобы исключить возникновение данной проблемы и подобных ей в будущем. Процесс, реализуемый по методике 8D, помогает унифицировать работу над проблемами, возникающими на производстве.

Другими словами, любая проблема анализируется и решается по одной и той же методике.

Методика 8D состоит из восьми этапов (рис. 4.6). Также есть подготовительный этап (D0), целью которого является сформулировать проблему и принять решение о необходимости начала анализа по методу 8D.



Рис. 4.6. Методика 8D

Каждый этап обозначается при помощи буквы «D» от англоязычного термина «discipline», что означает «дисциплина». Каждый этап имеет свой вход и выход. Выход каждого предыдущего этапа является входом для по-

следующего. Каждый этап завершается заполнением соответствующей формы. Только после её утверждения команда может переходить к следующему этапу.

Этап D0 является подготовительным этапом методики 8D. Целью данного этапа является определение проблемы, анализ критериев применения 8D и проверка выполнения минимальных требований до начала реализации методики. Этап D0 состоит из следующих основных шагов:

- 1) сбор и анализ исходной информации;
- 2) разработка плана оперативных мероприятий;
- 3) принятие решения о необходимости анализа по методу 8D.

На этапе D1 определяются:

- 1) состав команды;
- 2) показатели результативности деятельности команды.

Этап D2 состоит из следующих основных шагов:

- 1) заполнение формы «ЯВЛЯЕТСЯ / НЕ ЯВЛЯЕТСЯ»;
- 2) анализ дефекта.

Описание проблемы задает ее границы, определяя то, что является проблемой и что логически могло бы ей быть, но не является таковой. Провести такой анализ помогает форма «ЯВЛЯЕТСЯ / НЕ ЯВЛЯЕТСЯ». Анализ основан на принципе «5W-2H»: «кто», «что», «когда», «где», «почему», «как», «как часто». Команда выясняет такие вопросы, как:

- *когда, где и как* была впервые обнаружена проблема, как часто она возникала после этого;
- *при каких* производственных условиях возникает проблема, по истечении *какого* времени, постоянно, единично или периодически.

В первый столбец «ЯВЛЯЕТСЯ» заносятся все данные, касающиеся исследуемого дефекта и объекта. Во второй столбец «НЕ ЯВЛЯЕТСЯ» заносятся данные, относящиеся к любому конструктивно или технологически близкому объекту, на котором исследуемый дефект не проявляется, но потенциально мог бы проявиться.

Этап D3 состоит из следующих основных шагов:

- 1) оценка плана оперативных мероприятий;
- 2) определение и выбор временных сдерживающих действий;
- 3) разработка плана действий и его реализация;
- 4) оценка временных сдерживающих действий.

Этап D4 состоит из следующих основных шагов:

- 1) анализ возникновения дефекта;
- 2) определение и ранжирование потенциальных причин дефекта;
- 3) определение и ранжирование мероприятий по устранению потенциальных причин дефекта.

Этап D5 состоит из следующих основных шагов:

- 1) определение возможных окончательных корректирующих действий;
- 2) выбор наилучших окончательных корректирующих действий;
- 3) подготовка к внедрению окончательных корректирующих действий;
- 4) определение методов оценки окончательных корректирующих действий.

Этап D6 состоит из следующих основных шагов:

- 1) реализация окончательных корректирующих действий;
- 2) оценка результативности;
- 3) анализ результата проведения окончательных корректирующих действий.

Этап D7 состоит из следующих основных шагов:

- 1) изучение истории дефекта;
- 2) разработка предупреждающих действий.

Этап D8 состоит из следующих основных шагов:

- 1) анализ командной работы;
- 2) формирование пакета документации и обеспечение его хранения.

На заключительном совещании команда проводит критическую оценку процесса решения проблемы и порядка работы и выносит предложения по дальнейшему улучшению. Оценка должна осуществляться с помощью измеримых результатов. Определяется вклад каждого члена команды в решение проблемы и способ признания заслуг активных членов команды. Фиксируется дата завершения решения проблемы. Командой оформляется итоговый отчет об анализе и решении проблем. Отчет может быть закрыт только тогда, когда выполнены все следующие условия:

- причина дефекта была найдена и доказана;
- мероприятия по устранению введены, их эффективность подтверждена, временные сдерживающие действия отменены;
- предупреждающие действия по обеспечению отсутствия повторяющихся дефектов определены;
- завершение согласовано с потребителем.

Вся документация, использовавшаяся в ходе анализа, все записи и текущие отчеты систематизируются и передаются на хранение. Для предотвращения потери данных вся информация хранится в двух видах: на бумажном носителе и в электронном виде.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В первой части пособия приведены некоторые определения понятия «качество», сформулированы основные подходы к количественной оценке качества. Понятие качества является базисным для построения эффективной системы менеджмента предприятия, оно содержит в себе и рыночную стратегию компании, и взаимоотношения со всеми заинтересованными сторонами, и внутреннюю логику процессов организации. Изложены основные результаты, полученные основоположниками теории менеджмента качества. Показано, что область применения международных стандартов серии ISO 9000:2000 не зависит от отрасли промышленности, содержит требования, которые направлены на достижение единого комплексного подхода к менеджменту качества, охватывающему планирование, обеспечение, управление и улучшение качества на всех этапах жизненного цикла продукции (петли качества).

Во второй части рассматриваются принципы менеджмента качества, их реализация в требованиях стандарта ISO 9001:2000, широко применимая при разработке и внедрении СМК методология структурного анализа, а также технология проектирования и внедрения систем менеджмента качества. Базовыми положениями новой редакции ISO 9001 являются ориентация всех видов деятельности, выполняемой в компании, на удовлетворение потребителя и процессный подход. Реализация этих принципов предполагает, прежде всего, идентификацию всех видов деятельности, определение ответственности, взаимодействий и взаимосвязей процессов. Наилучший способ изучения сложной системы, какой является система менеджмента качества, состоит в разработке модели системы и ее дальнейшего исследования. Для детального описания сети процессов целесообразно применение методологии SADT (ее подмножества IDEF0), поддерживаемой пакетами BPWin и Design/IDEF.

В третьей части рассматриваются семь основных и семь новых инструментов менеджмента качества, нашедших широкое применение в японской промышленности. Подробно описаны применение контрольных карт различных типов и индексов воспроизводимости и пригодности процесса для управления качеством. Владение методами статистического анализа измерительных и контрольных процессов позволяет обоснованно давать заключение о приемлемости последних. Освоение будущими специалистами рассмотренных в пособии методов менеджмента качества позволит им в дальнейшей практической деятельности снизить издержки на стадиях проектирования, технологической подготовки и действующего производства за счет предотвращения значительной доли проблем в области качества продукции.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Азгальдов, Г.Г. О квалитетрии / Г.Г. Азгальдов, Э.П. Райхман. - М.: Изд-во стандартов, 1972. - 232 с.
2. Васильчук, А.В. Анализ измерительных и контрольных процессов (MSA) / А.В. Васильчук, Г.Л. Юнак, В.Е. Годлевский [и др.]. - Самара: ООО "Офорт"; ЗАО "Академический инжиниринговый центр", 2006. - 190 с.
3. Барвинок, В.А. Статистические методы управления качеством изделий / В.А. Барвинок, А.Н. Чекмарёв, В.В. Шалавин. - М.: Машиностроение, 1999. - 320 с.
4. Барвинок, В.А. Повышение конкурентоспособности продукции на основе сертификации систем качества / В.А. Барвинок, В.И. Доронин, А.В. Васильчук // Развитие через качество - теория и практика: Тр. IV международной конференции / - Тольятти: Изд-во фонда «Развитие через образование». - 2000. - С.48...52.
5. Барвинок, В.А. Подготовка специалистов в области управления качеством / В.А. Барвинок, А.Н. Чекмарёв, В.В. Шалавин // Развитие через качество - теория и практика: Тр. IV международной конференции / - Тольятти: Изд-во фонда «Развитие через образование». - 2000. - С. 52...54.
6. Барвинок, В.А. Статистические методы – основа обеспечения качества в автомобилестроении / В.А. Барвинок, А.Н. Чекмарёв, Г.Л. Юнак [и др.]. // Развитие через качество - теория и практика: Тр. V международной конференции / - Тольятти: Изд-во фонда «Развитие через образование». - 2001. - С. 51...61.
7. Барвинок, В.А. Сертификация систем качества заводов-поставщиков АО "АВТОВАЗ" / В.А. Барвинок, В.И. Доронин, А.В. Васильчук и др. // Развитие через качество - теория и практика: Тр. VI международной конференции / - Тольятти: Изд-во фонда «Развитие через образование». - 2002. - С.135...141.
8. Глудкин, О.П. Всеобщее управление качеством / О.П. Глудкин, Н.М. Горбунов, Ю.В. Зорин [и др.]. - М.: Радио и связь, 1999. - 599 с.
9. Гличёв, А.В. Основы управления качеством продукции / А.В. Гличёв. - М.: АМИ, 1998. - 354 с.
10. Годлевский, В.Е. Применение статистических методов в автомобилестроении / В.Е. Годлевский, А.В. Плотников, Г.Л. Юнак. - Самара: ГП "Перспектива", 2003. - 200 с.
11. Годлевский, В.Е. Менеджмент качества в автомобилестроении // В.Е. Годлевский, А.В. Плотников, Г.Л. Юнак. - Самара: ООО "Офорт"; ЗАО "Академический инжиниринговый центр", 2005. - 628 с.
12. Латидус, В.А. Всеобщее качество (TQM) в Российских компаниях / В.А. Латидус. - М.: ОФО Типография «НОВОСТИ», 2000. - 432 с.
13. Магер, В.Е. Качество. Всеобщее управление качеством. Определения и эволюция подхода / В.Е. Магер, Л.В. Черненко. - СПб.: Политехника, 1998. - 52 с.
14. Годлевский, В.Е. Система менеджмента качества: учебн. пособие / В.Е. Годлевский, Г.Н. Изюменко, В.Я. Кокотов и др. - Самара: СНЦ РАН, - 2001. - 132 с.
15. Годлевский, В.Е. Система менеджмента качества на основе ИСО /ТУ 16949-2002 / В.Е. Годлевский, А.Я. Дмитриев, А.В. Литвинов [и др.]. - Самара: ГП "Перспектива", - 2002. - 288 с.
16. Годлевский, В.Е. Современные системы качества. Разработка и подготовка к сертификации: учебн. пособие / В.Е. Годлевский, Г.Н. Изюменко, В.Я. Кокотов [и др.]. - Самара: НВФ «Сенсоры. Модули. Системы», - 1998. - 140 с.

Учебное издание

*Барвинок Виталий Алексеевич
Годлевский Виктор Евгеньевич
Стрельников Евгений Александрович*

МЕНЕДЖМЕНТ КАЧЕСТВА В МАШИНОСТРОЕНИИ

Часть 3. МЕТОДЫ И ИНСТРУМЕНТЫ МЕНЕДЖМЕНТА КАЧЕСТВА

Учебное пособие

Технический редактор В. К. Моисеев
Редакторская обработка Л. Я. Чегодаева
Корректорская обработка И. И. Проломова
Доверстка А. А. Нечитайло

Подписано в печать 18.10.07. Формат 60х84 1/16.
Бумага офсетная. Печать офсетная.
Печ. л. 5,0.
Тираж 120 экз. Заказ _____ ИП-ж 63/2007

Самарский государственный
аэрокосмический университет.
443086 Самара, Московское шоссе, 34.

Изд-во Самарского государственного
аэрокосмического университета.
443086 Самара, Московское шоссе, 34.