

Министерство образования Республики Беларусь  
Министерство образования и науки Российской Федерации

ГОСУДАРСТВЕННОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО  
ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ  
БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

Кафедра «Оборудование и технология сварочного производства»

## УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ И СЕРТИФИКАЦИЯ

*Методические указания для проведения практических занятий  
для студентов специальностей  
T 03.03.00, T 03.03.01, T 19.03.00, T 10.01.00,  
Э 02.02.00, 1 – 370116, 1 – 250110*



Могилев 2005

УДК 658.562

ББК 65.290

У67

Рекомендовано к опубликованию  
учебно-методическим управлением  
ГУВПО «Белорусско-Российский университет»

Одобрено кафедрой «Оборудование и технология сварочного производства» № 21 21 февраля 2005 г., протокол № 6

Составители: канд. техн. наук, ст. преподаватель И.В. Тарасенко;  
канд. техн. наук, доц. А.М. Белягов

Рецензент канд. техн. наук, доц. А.Г. Лупачев

В методических указаниях изложены цели и задачи дисциплины, темы  
практических занятий и индивидуальные задания к ним.

Учебное издание

УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ И СЕРТИФИКАЦИЯ

Ответственный за выпуск

И.В. Тарасенко

Технический редактор

И.В. Русецкая

Компьютерная верстка

Н.П. Полевничая

Подписано в печать 6.10.2005 Формат 60x84/16. Бумага офсетная. Гарнитура Таймс.  
Печать трафаретная. Усл.печ.л. 1,86 Уч.-изд.л. 2,04. Тираж 42 экз. Заказ № 552.

Издатель и полиграфическое исполнение

Государственное учреждение высшего профессионального образования

«Белорусско-Российский университет»

ЛИ № 92750375 от 29.06.2004 г.

212005, г. Могилев, пр. Мира, 43

© ГУВПО «Белорусско-Российский  
университет», 2005

## Содержание

|  |    |
|--|----|
| 1 Цель и задачи дисциплины.....          | 4  |
| 2 Контрольные листки.....                | 4  |
| 3 Стратификация (расслоение данных)..... | 7  |
| 4 Диаграмма причин и результатов.....    | 9  |
| 5 Диаграмма рассеивания (разброса).....  | 11 |
| 6 Гистограммы.....                       | 16 |
| 7 Диаграмма Парето.....                  | 20 |
| 8 Контрольные карты.....                 | 23 |
| Список литературы.....                   | 32 |

## 1 Цели и задачи дисциплины

Цели и задачи дисциплины включают:

- знакомство будущих специалистов с возможностями управления качеством продукции, совершенствования управления производством и вспомогательными процессами;
- более широкое использование принципов и методов управления качеством в управлении производственными процессами, технологической подготовке производства для повышения его эффективности и улучшения технико-экономических показателей;
- широкое использование в практической деятельности современных отечественных и международных стандартов, принципов и методов сертификации продукции, измерительной техники, нормативных и законодательных документов;
- повышение заинтересованности специалистов в организации работы по постоянному повышению технического уровня и качества продукции.

Научная основа современного технического контроля – математико-статистические методы. Японские специалисты из всего множества статистических методов отобрали семь методов для анализа фактических данных:

- контрольные листки;
- стратификация;
- причинно-следственные диаграммы;
- диаграммы рассеивания;
- гистограммы;
- диаграммы Парето;
- контрольные карты.

## 2 Контрольные листки

Все статистические методы базируются на достоверной информации. Применение каждого из методов должно начинаться со сбора необходимых данных со следующей целью:

- контроль и регулирование производственного процесса;
- анализ отклонений от установленных требований;
- контроль продукции.

*Контрольный листок* – инструмент для сбора данных и автоматического их упорядочения для облегчения дальнейшего использования собранной информации.

Систематизированные в контрольном листке данные позволяют без сложного анализа выявить достаточно четкую картину процесса, оценить вероятные виды брака и качество процесса в целом.

В любом контрольном листке обязательно должна быть адресная часть с указанием его названия, измеряемого параметра, названия и номера детали, цеха, участка, станка, смены, оператора, обрабатываемого материала, режимов обработки и других исходных данных, представляющих интерес для анализа способов повышения качества изделия или производительности труда. В адресной части

указывается дата заполнения, листок подписывается лицом, непосредственно его заполнившим, а при наличии результатов расчетов – ответственным за них.

Приведем примеры контрольных листков наиболее часто использующихся на практике.

**Пример 2.1.** Предположим, что нам необходимо выявить изменения в размерах некоторой детали, подвергающейся механической обработке, причем размер указанный на чертеже  $8,300 \pm 0,005$

Для получения распределения значений случайной величины обычно используют гистограммы. Построение гистограммы требует обработки большого числа данных и немалых временных затрат. Поэтому классифицировать данные в момент сбора. Для этих целей используют контрольный листок регистрации распределения измеряемого параметра в ходе производственного процесса (рисунок 2.1). Каждый раз, когда производится замер, в соответствующую клеточку ставится значок (н-р, крест), так что к концу измерений получаем картину распределения измеряемого параметра.

Наименование детали

Участок

Контролируемая величина

Границы допуска

Оператор

Документ-основание

Дата измерений

| Измеря-<br>емое значе-<br>ние, мм | От-<br>клоне-<br>ние | Результаты измерения |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    | Час-<br>тота |
|-----------------------------------|----------------------|----------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|--------------|
|                                   |                      | 1                    | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 |              |
| -10                               |                      |                      |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |              |
| -9                                |                      |                      |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |              |
| -8                                |                      |                      |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |              |
| -7                                |                      |                      |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |              |
| -6                                |                      |                      |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |              |
| 8,295                             | -5                   | X                    |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    | +            |
|                                   | -4                   | X                    | X |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    | 2            |
|                                   | -3                   | X                    | X | X | X |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    | 4            |
|                                   | -2                   | X                    | X | X | X | X | X |   |   |   |    |    |    |    |    |    | 6            |
|                                   | -1                   | X                    | X | X | X | X | X | X | X | X |    |    |    |    |    |    | 9            |
| 8,300                             | 0                    | X                    | X | X | X | X | X | X | X | X | X  | X  |    |    |    |    | 11           |
|                                   | 1                    | X                    | X | X | X | X | X | X | X |   |    |    |    |    |    |    | 8            |
|                                   | 2                    | X                    | X | X | X | X | X | X |   |   |    |    |    |    |    |    | 7            |
|                                   | 3                    | X                    | X | X |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    | 3            |
|                                   | 4                    | X                    | X |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    | 2            |
| 8,305                             | 5                    | X                    |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    | 1            |
|                                   | 6                    | X                    |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    | 1            |
|                                   | 7                    |                      |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |              |
|                                   | 8                    |                      |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |              |
|                                   | 9                    |                      |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |              |
|                                   | 10                   |                      |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |              |

Рисунок 2.1 - Контрольный листок для регистрации распределения измеряемого параметра в ходе производственного процесса

На основе анализа распределения размеров изготовленных деталей принимают решение о подналадке, поднастройке или замене инструмента, станка.

Если на объектах контроля возможны дефекты различных видов, то применяется специальный листок регистрации видов дефектов, приведенный на рисунке 2.2.

**Пример 2.2.** На рисунке 2.2 показан контрольный листок, используемый в процессе приемочного контроля штампованной пластиковой детали. При обнаружении дефекта в контрольном листке делается соответствующая пометка.

| Наименование изделия  | Дата     |
|---|----------|
| Производственная операция: приемочный контроль                  | Участок  |
| Вид дефекта: царапина, пропуск операции, неправильная обработка | Ф.И.О.   |
| Общее число проконтролированных изделий: 1525                   | № партии |

| Вид дефекта            | Результат контроля  | Итого по видам дефектов |
|------------------------|---------------------|-------------------------|
| Царапины               | /// III III II      | 17                      |
| Пропуск операции       | III III I           | 11                      |
| Неправильная обработка | III III III III III | 23                      |
| Другие                 | ///                 | 3                       |

Рисунок 2.2 - Контрольный листок видов дефектов

Данный контрольный листок служит не только для регистрации и упорядочивания данных, но и дает важную информацию для совершенствования процесса, т.к. показывает какие виды дефектов встречаются наиболее часто.

**Пример 2.3.** Контрольный листок локализации дефектов. В листках такого рода есть эскизы или схемы, на которых делают пометки, так что можно пронаблюдать расположение дефектов. Такого рода контрольные листки необходимы для диагноза процесса, поскольку причины дефектов можно найти, исследуя места их возникновения и наблюдая процесс в поисках объяснений, почему дефекты концентрируются именно в этих местах.

Примером может служить контрольный листок, где фиксируется возможное месторасположение раковин в отливках (рисунок 2.3).

**Задание.** По выбранному в индивидуальном порядке показателю качества разработать контрольный листок локализации дефектов.

Наименование и номер изделия

Материал

Изготовитель

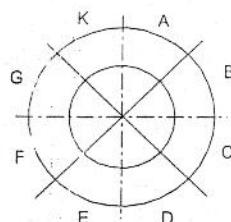
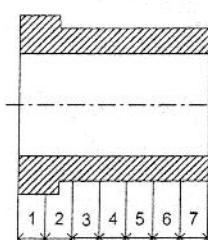
Общее число проконтролированных изделий

Дата

№ цеха, участка

Ф.И.О.

Эскиз



Матрица расположения дефектов

| Вдоль оси<br>по окружности | Г   | 2  | 3   | 4 | 5 | 6 | 7 | Итого |
|----------------------------|-----|----|-----|---|---|---|---|-------|
| A                          |     |    | /   |   |   |   |   | 1     |
| B                          |     |    |     |   |   |   |   |       |
| C                          | /// |    |     |   |   |   |   | 5     |
| D                          |     |    |     |   |   |   |   |       |
| E                          | /// |    | /// |   |   |   |   | 9     |
| F                          | /   | // |     |   |   |   |   | 3     |
| G                          |     |    |     |   |   |   |   |       |
| K                          |     |    |     |   |   |   |   |       |
| Итого                      | 9   | 2  | ✓   |   |   |   |   |       |

Рисунок 2.3 - Контрольный листок локализации дефектов

### 3 Стратификация (расслоение данных)

Собираемые данные обычно подвергаются определенной обработке и анализу с целью выявления зависимостей, взаимосвязей между характеристиками продукции и различными условиями производства, свойствами материалов и другими влияющими факторами. Одним из приемов анализа является стратификация данных в зависимости от тех или иных факторов.

*Метод стратификации (расслоения)* исследуемых статистических данных – разделение группы данных на подгруппы по определенному признаку.

Существуют различные методы расслоения, применение которых зависит от конкретных задач. Например, для расслоения данных, относящихся к производству, используют правило пяти «M», в области предоставления услуг – правило пяти «P», для маркетинговых решений – четырех «P».

– Концепция пяти «M» используется для расслоения данных в производ-

стве по следующим направлениям.

1 Люди: мотивация, обучение, трудовой коллектив, квалификация, пол, стаж работы.

2 Машины/оборудование: новое/старое, марка оборудования, конструкции, фирма-производитель оборудования, приспособления.

3 Материал: покупные материалы (сырье, комплектующие изделия), фирма-производитель, партия, качество сырья.

4 Метод системы: организация, стиль руководства, технология.

5 Окружающая среда: условия работы.

– Концепция четырех «Р» или программа маркетинг – это совокупность маркетинговых решений, принимаемых руководителями для реализации стратегии позиционирования и решения поставленных задач.

1 Решения в области товара: ассортимент товара, рабочие характеристики товара, особенности товара, конструкция товара, предоставление товара, торговая марка.

2 Решения в области ценообразования: прейскурантная цена, скидки, компенсация, региональные цены, условия оплаты, условия выдачи кредита.

3 Решения в области продвижения: торговый персонал, реклама, связи с общественностью, потребительское продвижение, торговое продвижение, прямой маркетинг.

4 Решения в области распределения: выбор канала, охват рынка, многообразие каналов, направленность распределения, плотность распределения, дилерская поддержка.

– Концепция пяти «Р» используется для расслоения данных в сфере услуг и учитывает следующие факторы.

1 Персонал: обучение персонала, мотивация персонала, отбор персонала (профессионализм, коммуникабельность, надежность, оперативность, инициативность, уверенность, честность и порядочность).

2 Процедуры услуг: быстрое обслуживание, индивидуализация обслуживания, создание сети отделений, стандартные сервисные модули, приемлемые условия ожидания, предварительные заказы, дифференцированное ценообразование.

3 Потребители: отзывы других потребителей, личные потребности, опыт.

4 Место производства и предоставления услуг: оборудование, помещение.

5 Поставщики, осуществляющие снабжение необходимыми ресурсами: уровень организации поставок (соблюдение графика поставок, ритмичность поставок, гарантия), степень лояльности, честность и порядочность, перспективность поставщика (способность к самофинансированию, инициативность при ужесточении нормативов по качеству, способность работать в условиях жесткой конкуренции), уровень качества поставляемой продукции (качество продукции в состоянии поставки, стабильность входного уровня качества).

В некоторых простых случаях с целью определения причин дефектов используют контрольные листки с применением метода стратификации.

**Пример 3.1.** На рисунке 3.1 представлен контрольный листок для регистрации дефектов в ручках, изготовленных из бакелита, с учетом станков, ра-

бочих, дней изготовления и следующих видов дефектов: поверхностные царапины – О, раковины – Х, дефекты конечной обработки – Δ, неправильная форма ■.

| Оборудование | Рабочие | Понедельник                                  | Среда                          | Пятница                      |
|--------------|---------|--|--------------------------------|------------------------------|
| Станок 1     | A       | О О О<br>Х Х<br>Δ Δ<br>■                     | О<br>Х Х                       | О                            |
|              |         | О О О О О<br>Х Х Х Х Х<br>■ ■ ■ ■ ■<br>Δ Δ Δ | О О О<br>Х Х Х<br>■ ■ ■<br>Δ Δ | О О О<br>Х Х Х<br>■ ■ ■<br>Δ |
|              | B       | О О<br>Х Х Х<br>■ ■                          | О<br>■                         | Δ                            |
|              |         | О О<br>Х Х Х<br>Δ Δ                          | О                              | Δ Δ                          |
| Станок 2     | C       | О О<br>Х Х Х<br>■ ■                          | О<br>■                         |                              |
|              | D       | О О<br>Х Х Х<br>Δ Δ                          | О                              |                              |

Рисунок 3.1 - Контрольный листок причин дефектов

**Задание.** Проанализировать данные, приведенные на рисунке 3.1 и выявить основные направления поиска причин дефектной работы рабочих.

#### 4 Диаграмма причин и результатов

Результат процесса зависит от многочисленных факторов, между которыми существуют отношения типа причина-результат. Выразить эти отношения в доступной форме позволяет метод упорядочивания факторов, предложенный профессором Токийского университета Каору Исикавой.

Диаграмма Исикавы или диаграмма причин и результатов – инструмент, позволяющий выявить и систематизировать существенные факторы (причины), влияющие на конечный результат.

Иногда диаграмму причин и результатов называют «рыбий скелет» (рисунок 4.1).

*Построение диаграммы включает следующие этапы.*

*Этап 1.* На первом этапе выбираем результативный показатель, характеризующий качество изделия (процесса, услуги). Проводим среднюю линию диаграммы, которая должна заканчиваться прямоугольником с размещенным в нем показателем качества.

*Этап 2.* Выбираем главные факторы, влияющие на показатель качества, размещаем их по обе стороны от средней линии диаграммы и заключаем в прямоугольники, которые соединяем со средней линией диаграммы стрелкой.

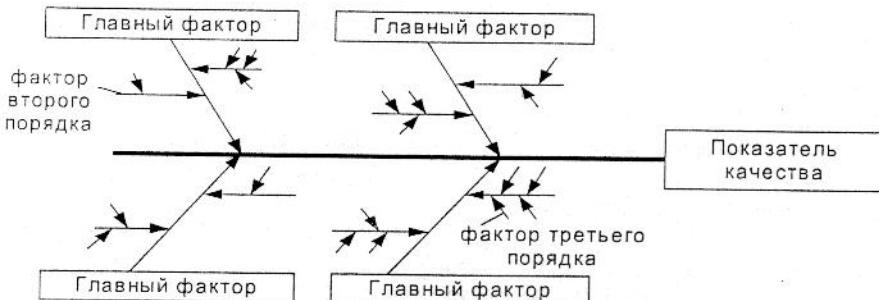


Рисунок 4.1 - Диаграмма причин и результатов

*Этап 3.* Выбираем факторы второго порядка, которые влияют на главные. Изображаем их стрелками, параллельными средней линии и примыкающими к главным факторам.

*Этап 4.* Выбираем факторы третьего порядка, которые влияют на факторы второго порядка. Изображаем их наклонными стрелками и соединяем со стрелками, изображающими факторы второго порядка.

*Этап 5.* Ранжируем факторы по значимости и выделяем факторы, которые предположительно оказывают наибольшее влияние на показатель качества.

*Этап 6.* Наносим на диаграмму необходимую информацию.

При построении диаграммы следует соблюдать следующие правила.

1 Точно сформулировать показатель качества.

2 Определить все факторы, имеющие отношение к рассматриваемой проблеме, путем наблюдения и опроса как можно большего числа специалистов.

3 Построить столько диаграмм причин и результатов, сколько показателей качества вы хотите исследовать.

При определении факторов, влияющих на выбранный показатель качества, следует рассматривать проблему с точки зрения «изменчивости показателя качества». Здесь эффективным является использование метода рассуждений. Например, рассматривая один из предполагаемых главных факторов, попробуйте определить вызывают ли изменения этого фактора изменения в показателе качества. Если эти изменения существуют, то подумайте, почему так происходит. Изменения в результатах может обусловливаться изменениями в факторах.

Диаграмму можно разработать в индивидуальном порядке, но лучше когда над ней трудится команда. Наиболее эффективным считается групповой метод анализа, называемый «мозговым штурмом». «Мозговой штурм» – инструмент, позволяющий группе выработать наибольшее число идей по какой-либо проблеме в возможно короткое время.

При использовании метода «мозгового штурма» необходимо:

- обеспечить атмосферу для свободного высказывания членами группы мнения по поводу причин возникновения проблемы;

- исключить бесплодные разговоры, ценя идеи и сознательное оперирование факторами;

– лицам руководящего состава никогда не высказываться первыми.

**Задание.** По одному из предложенных показателей качества построить диаграмму причин и результатов:

- 1) опечатки в тексте;
- 2) повреждение поверхности лазерного диска;
- 3) царапины на корпусе мобильного телефона;
- 4) опоздание на деловую (личную) встречу;
- 5) не сдача курсового проекта (экзамена) в срок;
- 6) снижение объема продаж конкретной продукции;
- 7) дорожно-транспортное происшествие;
- 8) поражение в спортивном матче;
- 9) анализ состояния производства (сварочного, автомобильного, механического и т.д.) на конкретном предприятии.

## 5 Диаграмма рассеивания (разброса)

Диаграмма рассеивания (разброса) применяется для исследования связи между двумя видами данных, например, для анализа зависимости выручки компании от числа обращений клиентов в компанию или трудоспособности – от состояния здоровья и т. д.

‘Диаграмма рассеивания – инструмент, позволяющий определить вид и силу связи между парами соответствующих переменных.

Диаграмма рассеивания представляет собой график, получаемый при нанесении в определенном масштабе экспериментальных, полученных в результате наблюдений точек. Расположение точек на графике показывает наличие и характер связи между случайными величинами. Таким образом, диаграмма рассеивания дает возможность определить наличие или отсутствие корреляционной связи между двумя случайными величинами: показателем качества и фактором, двумя показателями качества, двумя факторами.

Диаграмма строится как график зависимости между параметрами: по горизонтальной оси откладывают значения одной переменной, по вертикальной оси – другой.

Возможные варианты скоплений точек приведены на рисунке 5.1.

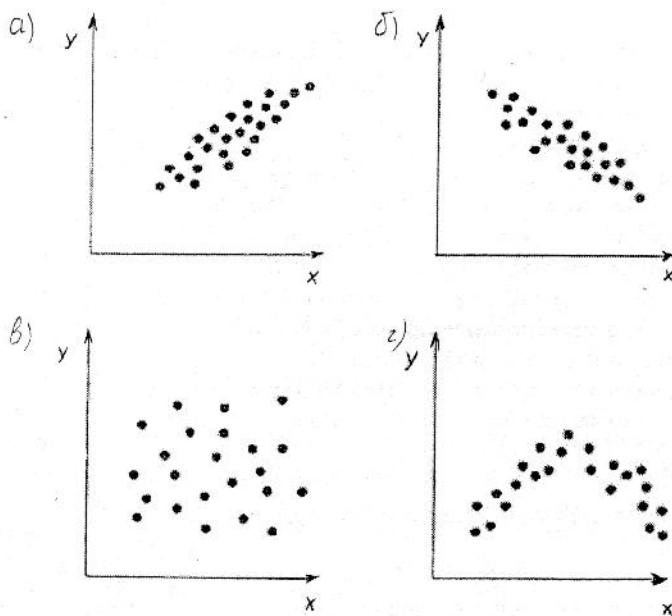
Корреляционная зависимость, показанная на рисунке 5.1, а, при которой при увеличении X Y тоже увеличивается, называется положительной. В этом случае при осуществлении контроля причинных факторов X (отклика) характеристика Y (функция) будет оставаться стабильной.

На рисунке 5.1, б показан пример отрицательной корреляции. Здесь при увеличении X характеристика Y уменьшается. Если причинный фактор X находится под контролем, характеристика Y остается стабильной.

На рисунке 5.1, в – пример отсутствия корреляции.

• Этапы построения диаграммы рассеивания.

Этап 1. Для построения диаграммы собираем парные данные (X, Y) и заносим их в таблицу.



а – положительная корреляция; б – отрицательная корреляция; в – отсутствие корреляции; г – криволинейная корреляция

Рисунок 5.1 - Типичные виды диаграммы рассеивания

*Этап 2.* На следующем этапе изображаем систему координат ХОY. При этом, если одна из исследуемых характеристик – фактор, а другая – показатель качества, то значения фактора наносим на ось X, а значения показателя качества – на ось Y. Масштаб построения выбираем таким образом, чтобы длины рабочих частей получились одинаковыми. Для этого из таблицы данных выбираем  $\max$  и  $\min$  значения исследуемых переменных, определяем для каждой из них величину размаха  $R$ , равную разности максимального и минимального значений исследуемой величины, и наносим на график таким образом, чтобы в масштабе  $R_x = R_y$  (рисунок 5.2).

*Этап 3.* Наносим парные данные на график в выбранном выше масштабе. Если в разных наблюдениях встречаются одинаковые значения, отмечаем их на графике концентрическими окружностями.

*Этап 4.* Наносим на диаграмму все необходимые обозначения:

- название диаграммы;
- число пар данных;
- время построения диаграммы;
- название осей;
- ФИО человека, который проделал эту работу и т.д.

Выводы о наличии или отсутствии корреляции справедливы только для

рассматриваемого размаха данных, экстраполировать выводы за пределы полученных данных без дополнительной проверки нельзя. При необходимости получить данные о наличии или отсутствии корреляции для других размахов данных необходима дополнительная экспериментальная проверка, либо проведение соответствующего технического исследования.

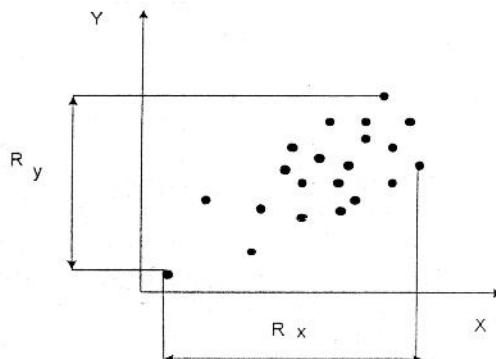


Рисунок 5.2

При изучении зависимости между двумя случайными величинами методом построения диаграммы рассеивания применяется метод стратификации. На рисунке 5.3, а представлена диаграмма рассеивания, позволяющая изучить наличие связи между вязкостью жидкости и количеством примесей в ней.

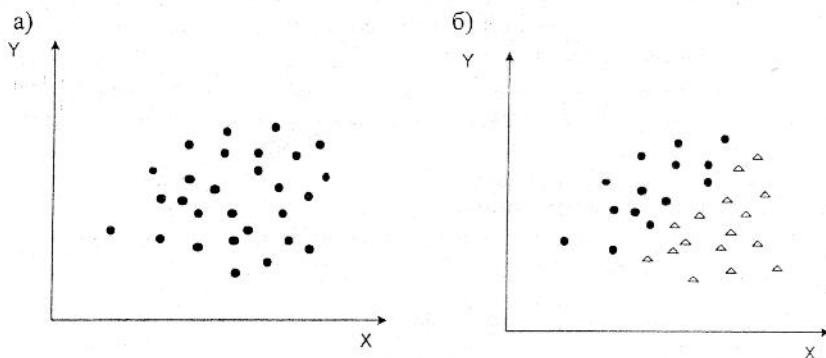


Рисунок 5.3

Здесь объединены и обезличены данные двух компаний А и В. На первый взгляд кажется, что корреляция между параметрами отсутствует. Если же применить принцип стратификации и при нанесении данных по каждой компании использовать отличающиеся друг от друга обозначения (рисунок 5.3, б), то получим диаграммы рассеивания с положительной корреляцией.

### 5.1 Количественная оценка корреляции

Кроме построения диаграммы рассеивания желательно получить количественную оценку силы связи между случайными величинами.

Количественно корреляция оценивается коэффициентом корреляции  $r$ .

$$r = \frac{S_{XY}}{\sqrt{S_X \cdot S_Y}},$$

$$S_X = \sum_{i=1}^n X_i - \frac{(\sum_{i=1}^n X_i)^2}{n}, \quad S_Y = \sum_{i=1}^n Y_i - \frac{(\sum_{i=1}^n Y_i)^2}{n},$$

$$S_{XY} = \sum_{i=1}^n X_i Y_i - \frac{(\sum_{i=1}^n X_i)(\sum_{i=1}^n Y_i)}{n},$$

где  $n$  – число пар данных;

$S_{XY}$  – ковариация случайных величин  $X$  и  $Y$ ;

$S_X, S_Y$  – выборочные дисперсии величин  $X$  и  $Y$ .

Коэффициент корреляции может принимать значения из диапазона  $-1 \leq r \leq 1$ . Если  $r$  близок к  $-1$ , то говорят о сильной отрицательной корреляции, если  $r$  близок к  $+1$ , то говорят о сильной положительной корреляции, если же  $r$  близок к нулю, то корреляция слабая и когда  $r = 0$  – корреляции нет.

Метод суждения о существовании корреляции с помощью построения диаграмм рассеивания и вычисления коэффициента корреляции называется корреляционным анализом.

Если оказывается, что между двумя случайными величинами существует связь, то можно найти математическое выражение зависимости между ними – формулу, в которой каждому значению одной случайной величины будет соответствовать среднее значение другой случайной величины. Такая зависимость называется регрессионной.

Рассмотрим наиболее часто встречающуюся линейную регрессию. Как известно, уравнение прямой имеет вид:

$$y = ax + b,$$

где  $y$  – функция (зависимая переменная);

$x$  – аргумент (независимая переменная);

$b$  – значение функции при  $x = 0$ ;

$a$  – угловой коэффициент прямой.

В случае вероятностной зависимости между случайными величинами каждому значению аргумента соответствует целый диапазон изменения зависимой величины (отклика). Между аргументом и откликом нет однозначной связи, есть лишь вероятностная связь, связь в среднем, когда значению аргу-

мента можно поставить в соответствие в качестве наиболее вероятного среднее значение другой случайной величины.

Линию регрессии определяют по экспериментальным точкам. Она должна проходить так, чтобы быть ближе к этим точкам, но при этом оставаться прямой. Наиболее подходящая – это линия, у которой сумма отклонений от экспериментальных точек наименьшая, поэтому желательно определить ее коэффициенты. Это можно сделать методом наименьших квадратов. При этом коэффициенты  $a$  и  $b$  линии регрессии определяют из соотношений:

$$a = \frac{S_{xy}}{S_x},$$

$$b = Y - aX = \frac{1}{n} \left( \sum_{i=1}^n Y_i - a \sum_{i=1}^n X_i \right).$$

Можно также определить угол наклона линии регрессии к оси  $X$ . В соответствующем масштабе тангенс этого угла определяется как  $\operatorname{tg}\alpha = \Delta Y / \Delta X = a$ . Если  $a > 0$ , то связь положительная; если  $a < 0$ , то связь отрицательная.

**Задание.** Пластиковые емкости имеют дефект – тонкие стенки. Было выдвинуто предположение, что причиной этого являются вариации давления сжатого воздуха, которое меняется каждый день (таблица 5.1). Построить диаграмму рассеивания и вычислить коэффициент корреляции.

Таблица 5.1 – Данные для построения диаграммы рассеивания

| Дата      | Давление,<br>кГс/см <sup>2</sup> | Дефект-<br>ность | Дата       | Давление,<br>кГс/см <sup>2</sup> | Дефект-<br>ность |
|-----------|----------------------------------|------------------|------------|----------------------------------|------------------|
| Октябрь 1 | 8,6                              | 0,889            | Октябрь 22 | 8,7                              | 0,892            |
| 2         | 8,9                              | 0,864            | 23         | 8,5                              | 0,877            |
| 3         | 8,8                              | 0,874            | 24         | 9,2                              | 0,885            |
| 4         | 8,8                              | 0,891            | 25         | 8,5                              | 0,866            |
| 5         | 8,4                              | 0,874            | 26         | 8,3                              | 0,896            |
| 6         | 8,7                              | 0,886            | 29         | 8,7                              | 0,896            |
| 9         | 9,2                              | 0,911            | 30         | 9,3                              | 0,928            |
| 10        | 8,6                              | 0,912            | 31         | 8,9                              | 0,886            |
| 11        | 9,2                              | 0,895            | Ноябрь 1   | 8,9                              | 0,908            |
| 12        | 8,7                              | 0,896            | 2          | 8,3                              | 0,881            |
| 15        | 8,4                              | 0,894            | 5          | 8,7                              | 0,882            |
| 16        | 8,2                              | 0,864            | 6          | 8,9                              | 0,904            |
| 17        | 9,2                              | 0,922            | 7          | 8,7                              | 0,912            |
| 18        | 8,7                              | 0,909            | 8          | 9,1                              | 0,925            |
| 19        | 9,4                              | 0,905            | 9          | 8,7                              | 0,872            |

## 6 Гистограммы

*Гистограмма* (столбчатый график) применяется для наглядного изображения распределения конкретных значений параметра по частоте повторения за определенный период времени. При нанесении на график допустимых значений параметра можно определить, как часто он попадает в допустимый диапазон или выходит за его пределы.

Полученные данные анализируют, применяя другие методы:

- долю дефектных изделий и потерь от брака исследуют с помощью диаграммы Парето;
- причины дефектов – с помощью диаграммы причин и результатов;
- изменение характеристик во времени определяют по контрольным картам.

*Этапы построения гистограммы.*

*Этап 1.* Проводим наблюдения за случайной величиной и заносим данные в таблицу (их должно быть не менее 30).

*Этап 2.* Определяем размах  $R$  (разброс случайной величины):

$$R = X_{\max} - X_{\min},$$

где  $X_{\max}$ ,  $X_{\min}$  – соответственно наибольшее и наименьшее из значений исследуемой случайной величины.

Размах определяет ширину гистограммы.

*Этап 3.* Полученный размах  $R$  делим на интервалы равной ширины, которые называют классами. Число интервалов (классов) –  $k = 6 \dots 20$ . Затем определяют ширину  $h$  класса

$$h = R / k.$$

*Этап 4.* Определяем границы каждого из полученных классов следующим образом: нижняя граница 1-го класса –  $X_{\min}$ , правая граница 1-го класса –  $X_{\min} + h$ ; нижняя граница 2-го класса – верхняя граница 1-го класса, верхняя граница 2-го класса – верхняя граница 1-го класса +  $h$  и т.д. Готовим бланк таблицы, куда заносим границы и среднюю точку каждого класса, отмечаем штриховыми пометками количество измеренных данных, попавших в каждый класс (частота класса).

Таблица 6.1 - Таблица частот

| Границы классов | Середина класса | Подсчет частот | Частота |
|-----------------|-----------------|----------------|---------|
|                 |                 |                |         |

*Этап 5.* По полученным данным строим гистограмму. Наносим на лист бумаги горизонтальную ось. На горизонтальной оси откладываем в масштабе границы классов, оставляя слева и справа свободные интервалы равные ширине класса. Пользуясь интервалом класса, как основанием, строим прямую

угольник, высота которого соответствует частоте этого класса.

*Этап 6.* На чистом поле гистограммы указываем необходимую информацию.

*Этап 7.* По форме получившейся гистограммы выясняем состояние партии изделий, технологического процесса, принимаем меры.

На рисунке 6.1 приведены типичные виды гистограмм, которыми можно пользоваться как образцами при анализе процессов.

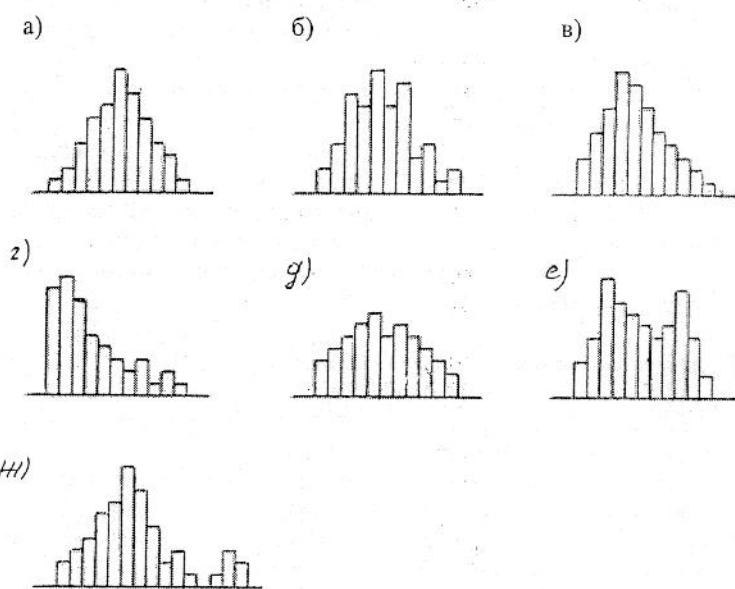


Рисунок 6.1 - Виды гистограмм

*Обычный тип (симметричный)* (рисунок 6.1, а). Гистограмма с таким распределением встречается чаще всего. Она указывает на стабильность процесса.

*Гребенка (мультимодальный тип)* (рисунок 6.1, б). Классы через один имеют более низкие частоты. Такая форма встречается, когда число единичных наблюдений, попадающих в класс, колеблется, или когда действует определенное правило округления данных.

*Положительно (отрицательно) скошенное распределение* (рисунок 6.1, в). Среднее значение гистограммы локализуется слева (справа) от центра размаха. Такая форма встречается, когда нижняя (верхняя) граница регулируется либо теоретически, либо по значению допуска или когда левое (правое) значение недостижимо.

*Распределение с обрывом слева (справа)* (рисунок 6.1, г.) Это одна из форм, часто встречающихся при 100-процентном контроле изделий из-за пло-

хой воспроизводимости процесса, а также когда проявляется резко выраженная положительная (отрицательная асимметрия).

*Плато (равномерное прямоугольное распределение)* (рисунок 6.1, д). Такая гистограмма получается в случаях объединения нескольких распределений, в которых средние значения различаются незначительно. Анализ такой гистограммы целесообразно проводить, используя метод стратификации.

*Двухпиковый (бимодальный) тип* (рисунок 6.1, е). Такая форма встречается, когда смешиваются два распределения с далеко отстоящими средними значениями. Например, при наличии разницы между двумя видами материалов, между двумя операторами и т.д. В этом случае можно провести расследование по двум видам факторов, исследовать причины различия и принять соответствующие меры устранения.

*Распределение с изолированным пиком* (рисунок 6.1, ж). Рядом с распределением обычного типа появляется маленький изолированный пик. Это связано с наличием малых включений, данных из другого распределения, или при появлении ошибки измерения. По результатам анализа гистограммы дают заключение о необходимости настройки измерительного прибора или срочного осуществления контроля процесса.

### 6.1 Сравнение гистограмм с границами допуска

Если имеется допуск, то необходимо нанести на гистограмму его границы ( $S_L$  – нижняя,  $S_U$  – верхняя граница), чтобы сравнить с ними распределение. Существует пять типичных случаев, показанных на рисунке 6.2.

Если гистограмма соответствует допуску, то имеют место два случая:

- поддержание существующего состояния – это все, что требуется, поскольку гистограмма вполне соответствует допускам (рисунок 6.2, а);
- допуски удовлетворяются, но нет никакого запаса. Поэтому необходимо сократить разброс до меньшего значения (рисунок 6.2, б).

Если гистограмма не соответствует допуску, в этих случаях:

- необходимо добиться смещения среднего значения ближе к центру поля допуска (рисунок 6.2, в);
- требуются действия, направленные на снижение вариации данных (рисунок 6.2, г);
- одновременно нужны меры, описанные для случаев в и г (рисунок 6.2, д).

Хотя гистограмма позволяет определить состояние качества партии изделий по внешнему виду, она не дает всей информации о величине широты, симметрии между правой и левой сторонами, наличии или отсутствии центра распределения в количественном выражении.

Полезно оценить процесс с помощью индекса воспроизводимости процесса  $C_p$  (коэффициента годности):

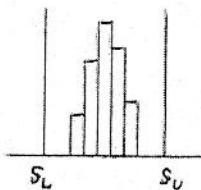
- при двусторонних границах допуска:

$$C_p = \frac{S_U - S_L}{6S},$$

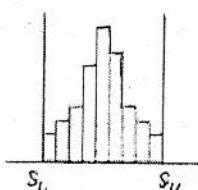
где  $S$  – выборочное среднее квадратическое отклонение;  
– при односторонних границах допуска ( $S_L$  или  $S_U$ ):

$$C_p = \frac{S_U - \bar{X}}{3S} \quad \text{или} \quad C_p = \frac{\bar{X} - S_L}{3S}.$$

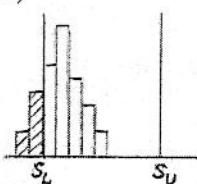
а)



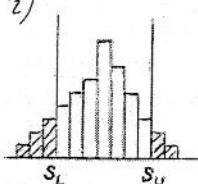
б)



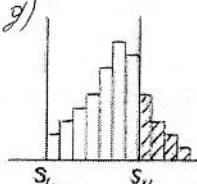
в)



г)



д)



а, б – гистограмма соответствует допуску; в, д – гистограмма не соответствует допуску

Рисунок 6.2 - Гистограммы и границы поля допуска ( $S_L$  – нижняя,  $S_U$  – верхняя)

Точность технологического процесса оценивают исходя из следующих критериев:

- $C_p > 1,33$  – процесс удовлетворительный;
- $1,00 \leq C_p \leq 1,33$  – процесс отвечает предъявленным требованиям;
- $C_p < 1,00$  – процесс не соответствует заданным требованиям.

**Задание.** Для исследования распределения диаметров стальных осей, полученных на токарном станке, были измерены диаметры 90 осей. Построить гистограмму и определить вид распределения случайной величины.

Таблица 6.1 – Диаметры стальных осей

| Номер образца | Результаты измерений, мм |       |       |       |       |       |       |       |       |       |    |
|---------------|--------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----|
|               | 1                        | 2     | 3     | 4     | 5     | 6     | 7     | 8     | 9     | 10    | 11 |
| 1-10          | 2,510                    | 2,517 | 2,522 | 2,522 | 2,510 | 2,511 | 2,519 | 2,532 | 2,543 | 2,525 |    |
| 11-20         | 2,527                    | 2,536 | 2,506 | 2,541 | 2,512 | 2,515 | 2,521 | 2,536 | 2,529 | 2,524 |    |
| 21-30         | 2,529                    | 2,523 | 2,523 | 2,523 | 2,519 | 2,528 | 2,543 | 2,538 | 2,518 | 2,534 |    |

### Окончание таблицы 6.1

| 1     | 2     | 3     | 4     | 5     | 6     | 7     | 8     | 9     | 10    | 11    |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 31-40 | 2,520 | 2,514 | 2,512 | 2,534 | 2,526 | 2,530 | 2,532 | 2,526 | 2,523 | 2,520 |
| 41-50 | 2,535 | 2,523 | 2,526 | 2,525 | 2,532 | 2,522 | 2,502 | 2,530 | 2,522 | 2,514 |
| 51-60 | 2,533 | 2,510 | 2,542 | 2,524 | 2,530 | 2,521 | 2,522 | 2,535 | 2,540 | 2,528 |
| 61-70 | 2,525 | 2,515 | 2,520 | 2,519 | 2,526 | 2,527 | 2,522 | 2,542 | 2,540 | 2,528 |
| 71-80 | 2,531 | 2,545 | 2,524 | 2,522 | 2,520 | 2,519 | 2,519 | 2,529 | 2,522 | 2,513 |
| 81-90 | 2,518 | 2,527 | 2,511 | 2,519 | 2,531 | 2,527 | 2,529 | 2,528 | 2,519 | 2,521 |

### 7 Диаграмма Парето

Диаграмма названа в честь итальянского экономиста В.Парето, который в 1887 г., анализируя богатства Италии, вывел формулу, показывающую, что доходы в обществе распределяются неравномерно. Эта же теория в 1907 г. была проиллюстрирована на диаграмме экономистом М.С. Лоренцом. Оба ученых показали, что в большинстве случаев наибольшая доля доходов (80 %) принадлежит небольшому числу людей (20 %). Дж. Джуран использовал этот постулат для классификации проблем качества на *немногочисленные (но существенно важные)* и *многочисленные (несущественные)* и назвал этот метод анализом Парето. Согласно этому методу в большинстве случаев появляющее число дефектов и связанных с ними материальных потерь возникает из-за относительно небольшого числа причин. Таким образом, выяснив причины появления основных дефектов, можно устранить почти все потери, сосредоточив усилия на ликвидации именно этих причин.

Диаграмма Парето – это инструмент, позволяющий распределить усилия для разрешения возникающих проблем и выявить основные причины, которые нужно проанализировать в первую очередь.

Диаграмма Парето – это особая форма вертикального столбикового графика.

Различают два вида диаграмм Парето: по результатам деятельности и по причинам.

Диаграмма Парето по результатам деятельности предназначена для выявления главной проблемы и отражает нежелательные результаты деятельности:

- качество: дефекты, поломки, ошибки, отказы, рекламации, ремонты, возвраты продукции;

себестоимость: объем потерь, затраты;

- сроки поставок: нехватка запасов, ошибки в составлении счетов, срыв сроков поставок;

– безопасность: несчастные случаи, трагические ошибки, аварии.

Диаграмма Парето по причинам отражает причины проблем, возникающие в ходе производства, и используется для выявления главной из них:

- исполнитель работы: смена, бригада, возраст, опыт работы, квалификация, индивидуальные характеристики;

- оборудование: станки, агрегаты, инструменты, оснастка, организация использования, модели, штампы;
- сырье: изготовитель, вид сырья, завод-поставщик, партия;
- метод работы: условия производства, заказы – наряды, приемы работы, последовательность операций;
- измерения: точность, верность, повторяемость, стабильность, тип измерительного прибора.

*Этапы построения диаграммы Парето.*

*Этап 1.* На этом этапе решаем.

1 Какого типа проблемы будем исследовать?

Пример: дефектные изделия, потери в деньгах, несчастные случаи и т.д.

2 Какие данные собирать и как их классифицировать?

Пример: по видам дефектов, по месту их появления, по процессам, по оборудованию и т.д.

*Этап 2.* Разрабатываем контрольный листок регистрации данных с перечнем видов собираемой информации и заполняем его (таблица 7.1).

Таблица 7.1 - Контрольный листок регистрации данных

| Виды дефектов          | Группы данных | Итого |
|------------------------|---------------|-------|
| Трещины                |               | 10    |
| Царапины               | ...           | 42    |
| Деформации             |               | 6     |
| Раковины               | ...           | 104   |
| Неправильная обработка |               | 4     |
| Пропуск операции       |               | 20    |
| Прочие                 |               | 14    |
| Итого                  |               | 200   |

*Этап 3.* Для построения диаграммы Парето разрабатываем бланк таблицы, предусмотрев в нем графы для итогов по каждому проверяемому признаку в отдельности, накопленной суммы числа дефектов, процентов к общему итогу и накопленных процентов. Заполняем таблицу, располагая данные по каждому проверяемому признаку в порядке значимости.

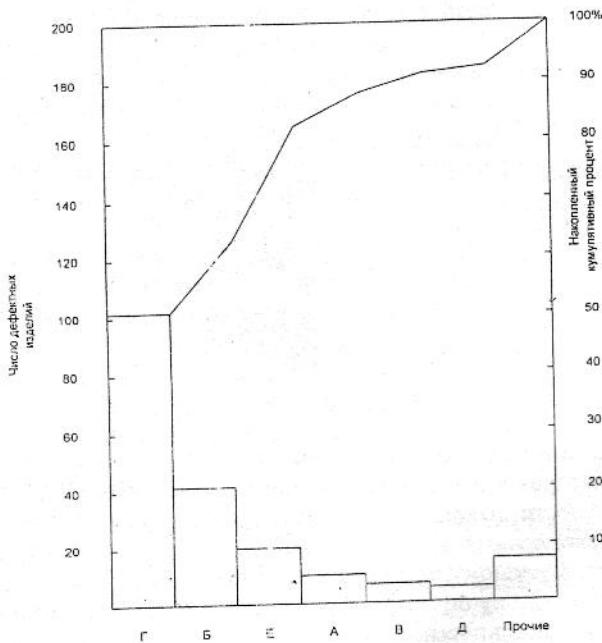
*Примечание* - Группу «Прочие» помещаем в последнюю строку вне зависимости от ее численности.

*Этап 4.* Наносим на лист одну горизонтальную и две вертикальные оси (рисунок 7.1). На левую вертикальную ось наносим общее число дефектов. На правую вертикальную ось наносим шкалу с интервалами от 0 до 100 %. Горизонтальную ось делим на интервалы равной ширины в соответствии с числом контролируемых признаков. Используя данные таблицы 7.2, строим столбико-вую диаграмму.

*Этап 5.* Строим кумулятивную кривую. Для этого, на вертикалях, соответствующих правым границам интервалов, наносим накопленные суммы (результатов или процентов) и соединяем полученные точки отрезками прямых.

Таблица 7.2 – Данные для построения диаграммы Парето

| Виды дефектов          | Число дефектов | Накопленная сумма числа дефектов | Процент числа дефектов по каждому признаку в общей сумме | Накопленный процент |
|------------------------|----------------|----------------------------------|--|---------------------|
| Раковины               | 104            | 104                              | 52   | 52                  |
| Царапины               | 42             | 146                              | 21   | 73                  |
| Пропуск операции       | 20             | 166                              | 10   | 83                  |
| Трецины                | 10             | 176                              | 5  | 88                  |
| Деформации             | 6              | 182                              | 3  | 91                  |
| Неправильная обработка | 4              | 186                              | 2  | 93                  |
| Прочие                 | 14             | 200                              | 7  | 100                 |
| Итого                  | 200            | -                                | 100  |                     |



А – трецины; Б – царапины; В – деформации; Г – раковины; Д – неправильная обработка; Е – пропуск операции

Рисунок 7.1 - Диаграмма Парето

Этап 6. Наносим на диаграмму соответствующие обозначения и надписи:

- название осей;
- наименование контролируемого изделия;
- Ф.И.О. составителя диаграммы;
- дата;

- место проведения сбора данных;
- общее число объектов контроля.

**Задание.** Проанализировать данные, построив максимально возможное число диаграмм Парето.

Таблица 7.3 – Контрольный листок причин дефектов

| Рабочий | Станок | Пн                          | Вт                          | Ср                                | Чт                          | Пт                                |
|---------|--------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------------|-----------------------------|-----------------------------------|
| A       | 1      | xxxx<br>oo<br>□□<br>◆◆<br>▽ | xxxxx<br>o<br>□□□<br>◆<br>▽ | xxxxx<br>ooooo<br>□□□□<br>◆◆<br>▽ | xxxx<br>o<br>□□□<br>◆◆<br>▽ | xxxxx<br>o<br>□□□□□<br>◆◆◆<br>◆◆◆ |
|         |        | xx<br>o<br>□<br>▽           | xxx<br>oo<br>□□<br>▽        | xxx<br>ooooo<br>□□<br>◆           | xx<br>o<br>□<br>◆           | xx<br>o<br>□<br>◆                 |
|         | 2      | xx<br>o<br>□<br>◆           | xxx<br>oo<br>□□<br>▽        | xxx<br>ooooo<br>□□<br>◆           | xx<br>o<br>□<br>◆           | xx<br>o<br>□<br>◆                 |
|         |        | xx<br>o<br>□<br>◆           | xxx<br>oo<br>□□<br>◆        | xxx<br>ooooo<br>□□<br>◆           | xx<br>o<br>□<br>◆           | xx<br>o<br>□<br>◆                 |
| B       | 3      | xx<br>o<br>□<br>◆           | xxx<br>o<br>□<br>◆          | xxx<br>ooooo<br>□□<br>◆           | xx<br>o<br>□<br>◆           | xx<br>o<br>□<br>◆                 |
|         |        | xx<br>o<br>□<br>▽           | xxx<br>o<br>□<br>◆          | xxx<br>ooooo<br>□□<br>◆           | xx<br>o<br>□<br>◆           | xx<br>o<br>□<br>◆                 |
|         | 4      | xx<br>o<br>□□<br>▽          | xxx<br>o<br>□<br>◆          | xxx<br>ooooo<br>□□<br>◆           | xx<br>o<br>◆<br>◆           | xx<br>o<br>□□<br>◆                |
|         |        | xx<br>o<br>□□<br>▽          | xxx<br>o<br>□<br>◆          | xxx<br>ooooo<br>□□<br>◆           | xx<br>o<br>◆<br>◆           | xx<br>o<br>□□<br>◆                |

Примечание - x – деформации, o – царапины, □ - раковины, ◆ - трещины, ▽ - прочие

## 8 Контрольные карты

Контрольные карты (карты Шухарта) позволяют отслеживать ход протекания процесса и воздействовать на него (с помощью соответствующей обратной связи), предупреждая отклонения от предъявленных к процессу требований.

Всякая контрольная карта состоит обычно из трех линий (рисунок 8.1):

- центральной линии CL (1) – требуемые средние значения характеристик контролируемого параметра качества;
- линии верхнего UCL (2) и нижнего LCL (3) контрольных пределов – соответственно максимально и минимально допустимые пределы изменения значения контролируемого параметра качества.

Контролируемое состояние процесса – это такое состояние, когда процесс стабилен, а его среднее и разброс не меняются. Вышедшем из-под контроля считается процесс, если:

- 1) значения исследуемой случайной величины выходят за контрольные пределы;

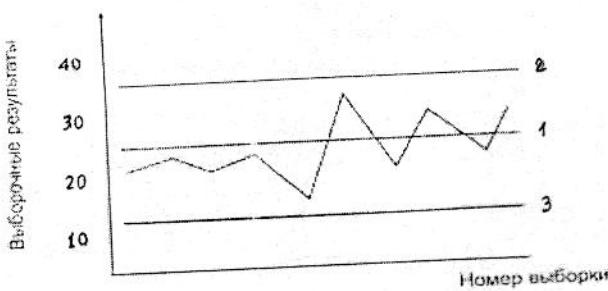


Рисунок 8.1 - Пример контрольной карты

- 2) семь последовательно расположенных точек находятся по одну сторону от центральной линии;
- 3) не менее 10 из 11, 12 из 14, 16 из 20 точек оказываются по одну сторону от центральной линии;
- 4) точки образуют непрерывно повышающуюся или непрерывно понижающуюся кривую. Это явление называется трендом;
- 5) имеет место периодичность кривой;
- 6) большинство точек концентрируется внутри центральных полуторасигмовых линий;
- 7) две или три точки оказываются за двухсигмовыми линиями.

Существуют две группы контрольных карт (рисунок 8.2).



Рисунок 8.2 – Типы контрольных карт

Первая предназначена для контроля параметров качества, представляющих собой непрерывные случайные величины - количественные данные (размеры, масса, электрические и механические параметры и т. д.). Вторая - для

контроля параметров качества, представляющих дискретные (альтернативные) случайные величины и значения – качественные данные (годен – не годен, соответствует – не соответствует, дефектное – бездефектное изделие и т.д.).

Как правило, при анализе процессов метод контрольных карт применяют совместно с гистограммами и расслоением данных.

### *8.1 Контрольная карта текущих значений (X-карта)*

Эта карта применяется при наблюдении небольшого числа объектов, если все их подвергают контролю или если данные о процессе поступают через большие интервалы времени.

*Этапы построения.*

*Этап 1.* Значения случайной величины  $x$  последовательно регистрируем в контрольном листке (всего должно быть 25...30 значений). Каждому значению присваиваем номер  $i$  от 1 до  $n$ .

*Этап 2.* Вычисляем текущие размахи  $R$  как разницу между текущим и предыдущим значениями наблюдаемой величины (без учета знака):

$$R_i = |x_{i+1} - x_i|.$$

Всего получается  $n - 1$  значение скользящего размаха.

*Этап 3.* Определяем среднее значение анализируемой величины за период наблюдений по формуле

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i.$$

*Этап 4.* Вычисляем среднее значение скользящего размаха за период наблюдений по формуле

$$\bar{R}_s = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^{n-1} R_i.$$

*Этап 5.* Определяем контрольные пределы

$$CL = \bar{x}; \quad UCL = \bar{x} + 2,66 \bar{R}_s; \quad LCL = \bar{x} - 2,66 \bar{R}_s.$$

*Этап 6.* Выбираем систему координат. Ординатами точек X-карты служат текущие значения случайной величины  $x_i$ , а абсциссами – текущие номера рассматриваемых значений  $x_i$ . Наносим на график центральную линию и контрольные пределы.

*Этап 7.* Анализируем контрольную карту.

### *8.2 Контрольная карта средних значений и размахов ( $\bar{X} - R$ )*

Это две отдельные карты  $X$  и  $R$ , но на практике обычно их используют совместно и называют  $\bar{X} - R$ -картой.

Карту типа  $\bar{X} - R$  применяют при массовом производстве, когда карты типа  $X$  нельзя использовать из-за громоздкости. При анализе карт типа  $\bar{X} - R$  выводы о стабильности (устойчивости) процесса делают на основе данных, полученных для небольшого числа представителей всех рассматриваемых изделий. Изделия объединяют в партии в порядке изготовления и от каждой партии берут небольшие выборки, по данным которых строят контрольную карту. Партию можно составлять как выработку за час, смену или другой период времени, формировать из потока одинаковыми группами изделий или другим способом. Желательно, чтобы партии были одинаковыми.

#### Этапы построения.

*Этап 1.* Определяем размер партии изделий.

*Этап 2.* Из каждой партии отбираем выборку – обычно от двух до десяти изделий, в зависимости от задач, требуемой точности, объема и способа контроля. Для каждой партии объем выборки остается постоянным. Выборкам присваиваются номера  $i$  от 1 до  $n$ . Всего берется 25-30 выборок.

*Этап 3.* В каждой выборке определяем среднее значение  $\bar{x}_i$  и размах  $R_i$ :

$$\bar{x}_i = \frac{1}{k} \sum_{j=1}^k x_j; \quad R_i = x_{j_{\max}} - x_{j_{\min}},$$

где  $j$  – номер значения в выборке;

$k$  – объем выборки.

*Этап 4.* После завершения периода наблюдений вычисляем общее среднее значение наблюдаемой величины  $\bar{x}$  и средний размах  $\bar{R}$ :

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \bar{x}_i; \quad \bar{R} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n R_i.$$

*Этап 5.* Определяем контрольные пределы по следующим формулам:

$$\text{Для карты } \bar{x}: UCL_{\bar{x}} = \bar{x} + A_2 \bar{R}; \quad LCL_{\bar{x}} = \bar{x} - A_2 \bar{R}; \quad CL_{\bar{x}} = \bar{x}$$

$$\text{Для карты } R: UCL_R = D_4 \bar{R}; \quad LCL_R = D_3 \bar{R}; \quad CL_R = \bar{R}.$$

Величины коэффициентов в этих формулах зависят от объема выборки и приведены в таблице 8.1.

*Этап 6.* Выбираем систему координат. Наносим на горизонтальную ось номера выборок. Начинаем построение с  $R$ -карты: в масштабе наносим на график значения размаха для каждой выборки, центральную линию и контрольные пределы.

$X$ -карту строим на этом же графике, располагая ее над  $R$ -картой, отступив от верхнего контрольного предела  $R$ -карты 30...50 мм. Наносим на график средние значения анализируемой величины для каждой выборки, центральную линию и контрольные пределы.

Таблица 8.1 - Значения коэффициентов для расчета при различных объемах выборки

| k  | A <sub>2</sub> | D <sub>3</sub> | D <sub>4</sub> | k  | A <sub>2</sub> | D <sub>3</sub> | D <sub>4</sub> |
|----|----------------|----------------|----------------|----|----------------|----------------|----------------|
| 2  | 1,88           | -              | 3,267          | 14 | 0,235          | 0,328          | 1,672          |
| 3  | 1,023          | -              | 2,574          | 15 | 0,223          | 0,347          | 1,653          |
| 4  | 0,729          | -              | 2,282          | 16 | 0,212          | 0,363          | 1,637          |
| 5  | 0,577          | -              | 2,114          | 17 | 0,203          | 0,378          | 1,622          |
| 6  | 0,483          | -              | 2,004          | 18 | 0,194          | 0,391          | 1,608          |
| 7  | 0,419          | 0,076          | 1,924          | 19 | 0,187          | 0,403          | 1,597          |
| 8  | 0,373          | 0,136          | 1,864          | 20 | 0,18           | 0,415          | 1,585          |
| 9  | 0,337          | 0,184          | 1,816          | 21 | 0,173          | 0,425          | 1,575          |
| 10 | 0,308          | 0,223          | 1,777          | 22 | 0,167          | 0,434          | 1,566          |
| 11 | 0,285          | 0,256          | 1,744          | 23 | 0,162          | 0,443          | 1,557          |
| 12 | 0,266          | 0,283          | 1,717          | 24 | 0,157          | 0,451          | 1,548          |
| 13 | 0,249          | 0,307          | 1,693          | 25 | 0,153          | 0,459          | 1,541          |

Этап 7. Анализируем контрольную карту.

**Задание.** По приведенным данным построить контрольную карту  $\bar{X}-R$  и сделать вывод о состоянии процесса.

Таблица 8.2 – Данные для построения  $\bar{X}-R$  карты

| Номер выборки | X <sub>1</sub> | X <sub>2</sub> | X <sub>3</sub> | X <sub>4</sub> | X <sub>5</sub> | $\bar{X}_i$ | R <sub>i</sub> |
|---------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-------------|----------------|
| 1             | 2              | 3              | 4              | 5              | 6              | 7           | 8              |
| 1             | 47             | 32             | 44             | 35             | 20             | 35,6        | 27             |
| 2             | 19             | 37             | 31             | 25             | 34             | 29,2        | 18             |
| 3             | 19             | 11             | 16             | 11             | 44             | 26,2        | 33             |
| 4             | 29             | 29             | 42             | 59             | 38             | 39,4        | 30             |
| 5             | 28             | 12             | 45             | 36             | 25             | 29,2        | 33             |
| 6             | 40             | 35             | 11             | 38             | 33             | 31,4        | 29             |
| 7             | 15             | 30             | 12             | 33             | 26             | 23,2        | 21             |
| 8             | 35             | 44             | 32             | 11             | 38             | 32          | 33             |
| 9             | 27             | 37             | 26             | 20             | 35             | 29          | 17             |
| 10            | 23             | 45             | 26             | 37             | 32             | 32,6        | 22             |
| 11            | 28             | 44             | 40             | 31             | 18             | 32,2        | 26             |
| 12            | 31             | 25             | 24             | 32             | 22             | 26,8        | 16             |
| 13            | 22             | 37             | 19             | 47             | 14             | 27,8        | 33             |
| 14            | 37             | 32             | 12             | 38             | 30             | 29,8        | 26             |
| 15            | 25             | 40             | 24             | 50             | 19             | 31,6        | 31             |
| 16            | 7              | 31             | 23             | 18             | 32             | 22,2        | 25             |
| 17            | 38             | 0              | 41             | 40             | 37             | 31,2        | 41             |
| 18            | 35             | 12             | 29             | 48             | 20             | 28,8        | 36             |
| 19            | 31             | 20             | 35             | 24             | 47             | 31,4        | 27             |
| 20            | 12             | 27             | 38             | 46             | 31             | 29,6        | 28             |
| 21            | 52             | 42             | 52             | 24             | 25             | 39          | 28             |

### Окончание 8.2

| 1  | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  | 7    | 8  |
|----|----|----|----|----|----|------|----|
| 22 | 20 | 31 | 15 | 3  | 28 | 19,4 | 28 |
| 23 | 29 | 47 | 41 | 32 | 22 | 34,2 | 25 |
| 24 | 28 | 27 | 22 | 32 | 54 | 32,6 | 32 |
| 25 | 42 | 34 | 15 | 29 | 21 | 28,2 | 27 |

$$\bar{x} = 29,86 \quad R = 27,4$$

### 8.3 Контрольная карта средних значений и средних квадратичных отклонений ( $\bar{X}-S$ )

Данная карта практически идентична карте ( $\bar{X}-R$ ), но точнее, поэтому ее следует рекомендовать при отладке технологических процессов и массовом производстве ответственных деталей. Ее можно применять для случаев встроенной системы контроля с автоматическим вводом данных в ЭВМ, используемых для автоматического управления процессом.

В картах ( $\bar{X}-S$ ) вместо размаха R используется более эффективная статистическая характеристика рассеивания наблюдаемых значений – среднее квадратичное отклонение S. Она показывает, насколько тесно группируются отдельные значения вокруг среднего арифметического или как они рассеиваются вокруг него. Среднее квадратичное отклонение определяют по формуле

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n}}$$

В остальном принятые обозначения, построение и применение карты  $\bar{X}-S$  не отличаются от карты ( $\bar{X}-R$ ).

Иногда для контроля используют карту (Me-R) – контрольную карту медиан и размахов. Медиана – это среднее значение в выборке, если все значения расположены в порядке возрастания или убывания. В выборке из трех значений медиана – второе, в выборке из пяти значений медиана занимает третье место.

Такая карта менее точна, чем карта ( $\bar{X}-R$ ), но проще в использовании.

### 8.4 Контрольная карта числа дефектных изделий в партии (рн)

Карта типа рн (р – доля дефектных изделий в партии объемом n единиц) используется, когда контроль качества продукции производится по альтернативному признаку и применяется для отслеживания числа дефектных изделий в одинаковых партиях продукции.

Этапы построения.

Этап 1. Все изделия в порядке их изготовления объединяют в одинаково-

вые по объему партии (объем партии –  $n$ ); каждой из которых присваивается порядковый номер от 1 до  $k$ , где  $k \approx 25 \div 30$ .

*Этап 2.* При контроле определяем число дефектных изделий  $p_j$  в каждой  $j$ -й партии. Значение  $p_j$  заносим в контрольный листок.

*Этап 3.* Вычисляем среднее значение дефектных изделий по формуле

$$\bar{p} = \frac{\sum p_j}{n \cdot k}$$

*Этап 4.* Контрольные пределы определяем по формулам:

$$UCL = \bar{p}n + 3\sqrt{\bar{p}n(1 - \bar{p})}, \quad CL = \bar{p} \cdot n, \quad LCL = \bar{p}n - 3\sqrt{\bar{p}n(1 - \bar{p})}.$$

*Этап 5.* Выбираем систему координат. Ординатами точек  $pn$  – карты служит число дефектных изделий в каждой партии, а абсциссами – текущие номера рассматриваемых партий. Наносим на график центральную линию и контрольные пределы.

*Этап 6.* Анализируем контрольную карту.

**Задание.** Построить  $pn$  – карту и сделать вывод о состоянии процесса.

Таблица 8.3 – Данные для построения  $pn$  карты

| Номер партии | Объем партии<br>$n$ | Число дефектных изделий<br>$p_j$ |
|--------------|---------------------|----------------------------------|
| 1            | 2                   | 3                                |
| 1            | 100                 | 4                                |
| 2            | 100                 | 2                                |
| 3            | 100                 | 0                                |
| 4            | 100                 | 5                                |
| 5            | 100                 | 3                                |
| 6            | 100                 | 2                                |
| 7            | 100                 | 4                                |
| 8            | 100                 | 3                                |
| 9            | 100                 | 2                                |
| 10           | 100                 | 6                                |
| 11           | 100                 | 1                                |
| 12           | 100                 | 4                                |
| 13           | 100                 | 1                                |
| 14           | 100                 | 0                                |
| 15           | 100                 | 2                                |
| 16           | 100                 | 3                                |
| 17           | 100                 | 1                                |
| 18           | 100                 | 6                                |
| 19           | 100                 | 1                                |
| 20           | 100                 | 3                                |
| 21           | 100                 | 3                                |
| 22           | 100                 | 2                                |

### Окончание таблицы 8.3

| 1     | 2   | 3 |
|-------|-----|---|
| 23    | 100 | 0 |
| 24    | 100 | 7 |
| 25    | 100 | 3 |
| Итого |     |   |

### 8.5 Контрольная карта доли дефектной продукции ( $p$ )

Карта типа  $p$  применяется в тех же случаях, что и карта  $np$ , но может быть использована при различном числе изделий в каждой партии.

Этапы построения.

Этап 1. Определяем число изделий  $n_j$  в каждой партии ( $j$  – порядковый номер партии,  $j$  от 1 до  $k$ ,  $k = 25 \dots 30$ ).

Этап 2. Определяем число дефектных изделий в каждой партии  $m_j$ .

Этап 3. Вычисляем долю дефектных изделий в каждой партии  $p_j$

$$p_j = m_j / n_j$$

Этап 4. Определяем среднюю долю дефектных изделий во всех партиях как отношение суммы дефектных изделий к сумме всех изделий во всех партиях:

$$\bar{p} = \sum_{j=1}^k p_j / \sum_{j=1}^k n_j$$

Этап 5. Контрольные пределы вычисляем по формулам:

$$UCL = \bar{p} + 3 \sqrt{\frac{\bar{p}}{\bar{n}} \left(1 - \frac{\bar{p}}{\bar{n}}\right)}; \quad LCL = \bar{p} - 3 \sqrt{\frac{\bar{p}}{\bar{n}} \left(1 - \frac{\bar{p}}{\bar{n}}\right)}; \quad CL = \bar{p}$$

Этап 6. Выбираем систему координат. Ординатами точек  $p$ -карты служат доли дефектных изделий в партиях, а абсциссами – текущие номера контролируемых партий. Наносим на график центральную линию, верхний и нижний контрольные пределы.

Этап 7. Анализируем контрольную карту.

### 8.6 Контрольная карта числа дефектов в партии ( $c$ )

Карту типа  $c$  применяют при контроле числа однородных дефектов в изделиях одинаковых размеров. Например, контроль числа дефектов сварки определенной конструкции, числа царапин, числа раковин и т.д.

$C$ -карту используют для производственного контроля небольших партий изделий. Небольшие предприятия, на которых часто меняется номенклатура изделий, при введении статистических методов контроля, ввиду недостатка

таточного опыта персонала вначале применяют с-карту. Чувствительность с-карты сравнительно невелика, но ее с успехом можно применять при производстве деталей, контролируемых визуально.

#### Этапы построения.

*Этап 1.* Изделия номеруем в порядке изготовления. Для исследования берем 25...30 изделий. В каждом из них определяем число однородных дефектов  $c_j$  и заносим в контрольный листок.

*Этап 2.* Определяем среднее число дефектов  $\bar{c}$ :

$$\bar{c} = \frac{1}{k} \cdot \sum_{j=1}^k c_j,$$

где  $k$  - число исследуемых изделий.

*Этап 3.* Вычисляем контрольные пределы по формулам

$$UCL_c = \bar{c} + 3\sqrt{\bar{c}}; \quad LCL_c = \bar{c} - 3\sqrt{\bar{c}}; \quad CL = \bar{c}.$$

*Этап 4.* Выбираем систему координат. Ординатами точек с-карты служит число дефектов в каждом изделии, а абсциссами - текущие номера контролируемых изделий. Наносим на график центральную линию, верхний и нижний контрольные пределы.

*Этап 5.* Анализируем контрольную карту.

### 8.7 Контрольная карта числа (доли) дефектов на единицу изделия ( $u$ )

$u$  - карта применяется к изделиям различных размеров, число дефектов относят к единице измерения (квадратному метру ткани, погонному метру профиля и т.д.) Карту применяют также и для случаев проверки спорных изделий по более, чем одному качественному признаку. Сюда относят качественные признаки, которые контролируют с помощью калибров, электрическим, химическим способом, либо визуально.

#### Этапы построения.

*Этап 1.* Определяем данные по исследуемому параметру, результаты заносим в контрольный листок (значения  $n_j$ ).

*Этап 2.* Определяем число дефектов  $c_j$  в каждом изделии  $c_j$ , результаты заносим в контрольный листок.

*Этап 3.* Вычисляем число дефектов, приходящихся на единицу измерения продукции,  $u_j = c_j/n_j$ , результаты наносим на график.

*Этап 4.* Определяем среднее число дефектов, приходящихся на единицу измерения продукции как отношение суммы дефектов к общему объему всей проверенной продукции:

$$\bar{u} = \sum_{j=1}^k c_j / \sum_{j=1}^k n_j = \sum_{j=1}^k u_j.$$

Этап 5. Контрольные пределы вычисляем по формулам и наносим на риск:

$$UCL = \bar{u} + 3\sqrt{\frac{\bar{u}}{n}}; \quad LCL = \bar{u} - 3\sqrt{\frac{\bar{u}}{n}}.$$

Этап 6. Анализируем контрольную карту.

Задание. Выбрать подходящие типы контрольных карт для следующих измерений качества:

- вес пакетов с пищевыми продуктами;
- число дефектов в 1000 деталей;
- выход химического продукта в партии;
- число дефектных изделий в партии, объем которой может меняться;
- число царапин на 1 м<sup>2</sup> стального листа.

### Список литературы

- 1 Управление качеством / Учеб. пособие / И.И. Мазур, В.Д. Шapiro; Под ред. И.И. Мазура. - М.: Высш. шк., 2003. - 334 с.
- 2 Всеобщее управление качеством: Учеб. для вузов / О.П. Гнудкин, Н.М. Горбунов, А.И. Гуров, Е.В. Зорин. - М.: Горячая линия - Телеком, 2001. - 600 с.
- 3 Федюкин В.К. Методыоценки и управления качеством промышленной продукции / В.К. Федюкин, В.Д. Дуриев, В.Г. Лебедев. - М.: Инф.-изд. Дом «Филип», 2001. - 328 с.
- 4 Крылова Г.Д. Зарубежный опыт управления качеством. - М.: Изд-во стандартов, 1992. - 140 с.
- 5 Лисицкий Г.А. О подходах к применению статистических методов на машиностроительных предприятиях // Новости стандартизации и сертификации. - 2003. - № 8. - С. 49-51.
- 6 Семь инструментов качества в Японской экономике. - М.: Изд-во стандартов, 1990. - 123 с.
- 7 Лисицкий Г.А. От чего зависит успешная разработка и внедрение современной системы качества // Новости стандартизации и сертификации. - 2001. - № 2. - С. 38-43.