

ГЛАВА 3

Основные инструменты контроля, анализа и управления качеством

Среди простых статистических методов и инструментов [1, 8—11, 30—45], названных так ввиду их сравнительной несложности, убедительности и доступности, наибольшее распространение получили семь методов, выделенных в начале 50-х гг. японскими специалистами под руководством К. Исикавы. В своей совокупности они образуют эффективную систему методов контроля и анализа качества. С их помощью, по свидетельству самого К. Исикавы, может решаться до 95 % всех проблем, находящихся в поле зрения производителей. Согласно К. Исикаве, в число семи простых методов входят: контрольный листок, гистограмма, расслоение (стратификация) данных, причинно-следственная диаграмма Исикавы, диаграмма Парето, диаграмма разброса и контрольная карта.

Рассматриваемые в данной главе инструменты часто называют «семь простых японских статистических методов контроля, анализа и управления качеством». Использование слова «статистические» в названии обусловлено тем фактом, что большинство этих методов-инструментов предназначено для работы с числовыми (статистическими) данными, собранными в ходе контроля и управления процессом. Исключением является только четвертый метод-инструмент — «Причинно-следственная диаграмма Исикавы», оперирующий преимущественно с вербальной (представленной в словесной форме) информацией.

3.1. Контрольный листок

Контрольный листок — это форма для систематического сбора данных и автоматического их упорядочения с целью облегчения дальнейшего использования собранной информации [1, 9—11, 38—45].

Контрольный листок — это бумажный бланк, на котором заранее напечатаны названия и диапазоны контролируемых показателей, с тем чтобы можно было

наблюдаемых событий. Например, при регистрации количества событий могут быть использованы следующие символы:

Количество событий	Первый вариант регистрации	Второй вариант регистрации
1	<i>I</i>	•
2	<i>II</i>	••
3	<i>III</i>	•••
4	<i>IIII</i>	••••
5	IIII	—•••
6	IIII I	┌•••
7	IIII II	└•••
8	IIII III	□•••
9	IIII IIII	▣•••
10	IIII IIII	⊠•••
11	IIII IIII I	⊠••••

Диапазон применения контрольных листов очень широк, а их виды весьма разнообразны. При подготовке контрольных листов нужно следить за тем, чтобы использовались наиболее простые способы их заполнения (цифры, условные значки), число контролируемых параметров было по возможности наименьшим, а форма листка была проста для заполнения и анализа. Бланки контрольных листов должны быть напечатаны на бумаге, исключающей расплывание чернил, и иметь удобный для хранения и использования формат.

Примечание. В современных условиях, когда для контроля и (или) управления производственными процессами используются компьютеры, контрольные листки предпочтительно заполнять непосредственно в памяти компьютера, отказавшись от использования бумажных бланков.

В качестве примеров контрольных листов можно назвать:

- график температуры больного;
- контрольный листок для сбора данных об отказавших деталях телевизоров;
- контрольный листок для сбора информации о дефектах при производстве тентовых материалов и т. д.

Ниже приведены примеры контрольных листов для сбора информации.

По результатам сбора данных, произведенным для нескольких партий с использованием рассмотренного выше контрольного листка, может быть составлена сводная таблица.

Задание № 3.1.

Разработайте контрольный листок применительно к вашему производству. Заполните его данными.

легко и точно записать данные измерений и упорядочить их для дальнейшего использования. Этот инструмент (контрольный листок) служит средством для сбора и упорядочения первичных данных. Он используется для получения ответа на вопрос «Как часто встречаются изучаемые события?».

Применяются следующие виды контрольных листов:

- контрольный листок для регистрации измеряемого параметра в ходе производственного процесса;
- контрольный листок для регистрации видов несоответствий;
- контрольный листок для оценки воспроизводимости и работоспособности технологического процесса и т. п.

Предусматриваются следующие этапы выполнения сбора данных с использованием контрольных листов [1, 9—11, 30—45]:

1. Формулирование соответствующих вопросов относительно конкретных требований по качеству.
2. Выбор необходимых методов анализа данных и подтверждение их эффективности.
3. Правильное обозначение точек сбора данных в технологическом процессе.
4. Назначение добросовестного рабочего для сбора данных.
5. Оценка способностей и возможностей рабочего по своевременному сбору данных.
6. Разработка формы бланков для сбора данных (формы контрольных листов).
7. Подготовка инструкции по выполнению сбора данных.
8. Тщательная проверка разработанных бланков и инструкций.
9. Инструктаж и обучение рабочих.
10. Периодические проверки осуществления процесса сбора данных и получаемых результатов.

Форма контрольного листка разрабатывается в соответствии с конкретной ситуацией. В любом случае в нем указываются:

- объект изучения (например, наименование и/или чертеж изделия или детали);
- таблица регистрации данных о контролируемом параметре (например, линейный размер изделия или детали);
- место контроля (цех, участок);
- должность и фамилия работника, регистрирующего данные;
- дата сбора данных;
- продолжительность наблюдения и наименование контрольного прибора (если он применяется в ходе наблюдения).

В регистрационной таблице в соответствующей графе проставляются точки, черточки, крестики и другие условные знаки, соответствующие количеству

Контрольный листок 3.1		
для сбора данных о пороках при производстве тентового материала		
Наименование продукции <u>Материал с поливинилхлоридным покрытием для автотранспорта</u>		
Артикул ткани <u>3С-81-96-03</u>		
Цех <u>7</u> Участок <u>2</u> Контролер <u>Петрова И. С.</u> Дата <u>19.03.02</u>		
Наименование порока	Номер партии	Общее количество пороков на метр погонный
	П-253	
	Результат контроля/Количество пороков на метр погонный	
Концевые	☒☒☒☒☒ :::::	50
Складки	::	3
Засечки	::	4
Вмятины	└ ::	6
Грязь	.	1
Прочие дефекты	::	4
Итого:		68
Контролер _____ <u>Петрова И. С.</u> (подпись) (Ф.И.О.)		

Таблица 3.1
Сводная таблица результатов сбора информации

Результаты сбора информации о пороках в производстве тентового материала с поливинилхлоридным покрытием для автотранспорта					
Наименование порока	Номер партии				Общее количество пороков на метр погонный
	П-253	П-254	П-255	П-256	
	Результат контроля/Количество пороков на метр погонный				
Концевые	50	50	20	39	159
Складки	3	10	18	20	51
Засечки	4	10	10	12	36
Вмятины	6	5	8	5	24
Грязь	1	2	2	7	12
Прочие дефекты	4	3	6	5	18
Итого:	68	80	64	88	300
Мастер _____ <u>Иванов И. И.</u> (подпись) (Ф.И.О.)					

3.2. Гистограмма

Гистограмма - это инструмент [1, 9-11, 30, 38-45], позволяющий зрительно оценить закон распределения величины разброса данных, а также принять решение о том, на чем следует сфокусировать внимание для целей улучшения процесса.

Гистограмма отображается серией столбиков одинаковой ширины, но разной высоты. Ширина столбика представляет интервал в диапазоне наблюдений, высота — количество наблюдений (измерений), попавших в данный интервал. При нормальном законе распределения данных существует тенденция расположения большинства результатов наблюдений ближе к центру распределения (к центральному значению) с постепенным уменьшением при удалении от центра.

Гистограмма применяется главным образом для анализа значений измеренных параметров, но может использоваться и для оценки показателей возможностей процессов [1, 9—11, 15, 35].

Систематизируя показатели качества и анализируя построенную для них гистограмму, можно легко понять вид распределения, а определив среднее значение показателя и стандартное отклонение, можно провести сравнение показателей качества с контрольными нормативами и таким образом получить информацию высокой точности.

3.2.1. Основные сведения о нормальном законе распределения

В связи с тем что теория управления качеством продукции во многих случаях базируется на использовании так называемого нормального закона распределения, рассмотрим этот закон подробнее.

Плотность $p(x)$ нормального распределения случайной величины x выражается функцией

$$p(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}}, \tag{3.1}$$

зависящей от двух параметров, а именно: от μ — математического ожидания и σ — среднеквадратичного отклонения нормального распределения.

При статистической обработке экспериментально полученных результатов наблюдений $x_1, x_2, \dots, x_n$ случайной величины x приблизительные оценки значений μ и σ могут быть вычислены по формулам

$$\mu \approx \bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n},$$

$$\sigma \approx S_n = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} = \frac{(x_1 - \bar{x})^2 + (x_2 - \bar{x})^2 + \dots + (x_n - \bar{x})^2}{n}.$$

При стремлении $n \rightarrow \infty$ оценки $\bar{x}$ и S_n стремятся к μ и σ , т. е. $\lim_{n \rightarrow \infty} \bar{x} = \mu$, $\lim_{n \rightarrow \infty} S_n = \sigma$.

Графики функции (3.1) приведены на рис. 3.1.

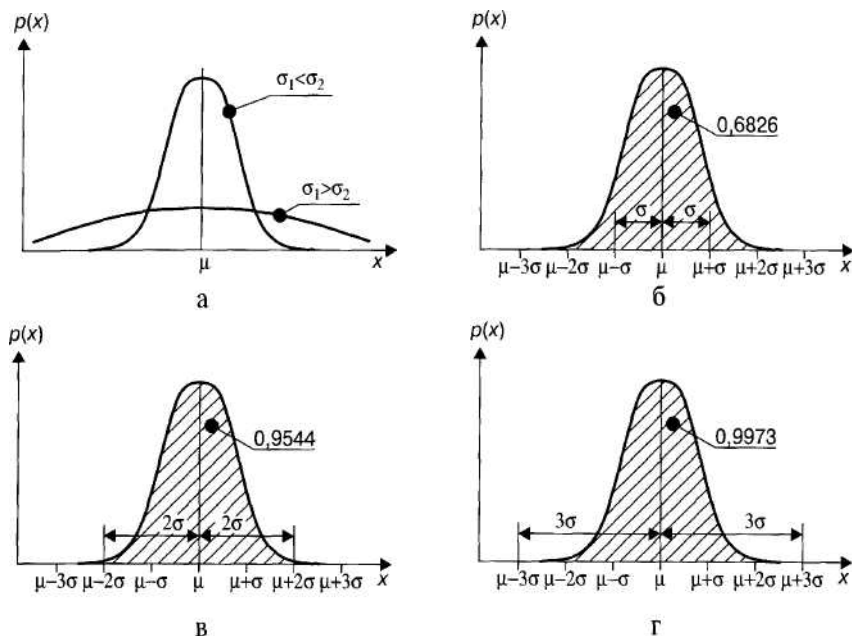


Рис. 3.1. Нормальный закон распределения.

На рис. 3.1а приведены графики функции (3.1) при двух значениях параметра σ . Видно, что при значении $\sigma_1 < \sigma_2$ колоколообразная кривая падает по обе стороны от вершины более круто, чем при $\sigma_2 > \sigma_1$. С увеличением параметра σ кривая становится более покатой. Однако независимо от значения параметра σ площадь под кривой, представляющей собой функцию (3.1), равна единице. Колоколообразная кривая имеет две точки перегиба, расстояние от которых до ординаты вершины, т. е. до вертикали, проведенной через математическое ожидание $x = \mu$, равно среднеквадратичному отклонению σ . Заштрихованная на рис. 3.1б площадь криволинейной трапеции, заключенная между ординатами $x = \mu - \sigma$ и $x = \mu + \sigma$, равна 0,6826.

Это означает, что вероятность того, что случайная величина x , распределенная в соответствии с нормальным законом (3.1), находится в интервале $(\mu - \sigma < x < \mu + \sigma)$ и равна 0,6826, т. е.

Вер $(\mu - \sigma < x < \mu + \sigma) = 0,6826$.

Если рассмотреть (см. рис. 3.1в) интервал $(\mu - 2\sigma < x < \mu + 2\sigma)$, то

Вер $(\mu - 2\sigma < x < \mu + 2\sigma) = 0,9544$.

Аналогично (см. рис. 3.1г) получается

Вер $(\mu - 3\sigma < x < \mu + 3\sigma) = 0,9973$.

Приведем дополнительные сведения о вероятности попадания случайной величины x , распределенной по нормальному закону, в часто используемые интервалы

Вер $(\mu - 1,96\sigma < x < \mu + 1,96\sigma) = 0,95$,

Вер $(\mu - 2,57\sigma < x < \mu + 2,57\sigma) = 0,99$,

Вер $(\mu - 3,291\sigma < x < \mu + 3,291\sigma) = 0,999$.

3.2.2. Этапы построения гистограммы

Рассмотрим порядок построения гистограммы, характеризующей управляемость процесса производства валиков, с использованием данных приведенного ниже контрольного листка.

Построение гистограммы, как правило, включает в себя следующие этапы [1, 9-11, 38-42, 45].

1. Разработка формы контрольного листка для сбора первичных данных (см. § 3.1). Пример такого контрольного листка для процесса производства валиков приведен ниже.
2. Сбор статистических данных $x_i, i = 1, 2, \dots, N$, характеризующих ход процесса, и заполнение второго столбца контрольного листка.

После заполнения контрольного листка приступают собственно к построению гистограммы.

Контрольный листок 3.2			
для сбора данных для построения гистограммы, характеризующей управляемость процесса производства валиков			
Дата <u>01.03.99 г.</u>		Наименование продукции <u>Валик Пр 21/02-01</u>	
Участок <u>3</u>		Цех <u>17</u>	
Интервалы размеров	Количество деталей, попадающих в интервал	Количество k_i , шт.	Частота f_i , %
9,975... 9,980		0	0,00
9,980... 9,985		0	0,00
9,985... 9,990	/	1	1,14
9,990... 9,995	////	4	4,55
9,995... 10,000		20	22,73
10,000... 10,005		35	39,76
10,005... 10,010	/	21	23,86
10,010... 10,015	/	6	6,82
10,015... 10,020	/	1	1,14
10,020... 10,025		0	0,00
Итого:		88	100
Рабочий _____ (подпись)		С. С. Сидоров (Ф.И.О.)	

3. Вычисление диапазона данных (выборочного размаха)

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

где $x_{\max}$ — наибольшее наблюдаемое значение; $x_{\min}$ — наименьшее наблюдаемое значение.

В нашем случае $x_{\max} = 10,020$ мм, $x_{\min} = 9,985$ мм, т. е.

$$R = 10,020 - 9,985 = 0,035 \text{ мм} = 35 \text{ мкм}.$$

4. Определение количества интервалов n на гистограмме часто осуществляют по формуле Стерджесса [29, 30]

$$n \approx 1 + 3,322 \lg N,$$

где N — общее количество собранных данных в выборке.

Рекомендуемое число интервалов гистограммы, которое получается при использовании формулы Стерджесса, представлено в табл. 3.2.

Таблица 3.2

К выбору рекомендуемого числа интервалов на гистограмме

Количество данных в выборке	Число интервалов
23 — 45	6
46 — 90	7
91 - 180	8
181 - 361	9
362 — 723	10
724 — 1447	11
1448 — 2885	12

По данным рассматриваемого нами контрольного листка $N = 88$, соответственно $n = 1 + 3,322 \lg 88 = 7,46 - 7$.

5. Определение размеров интервалов осуществляют так, чтобы размах, включающий максимальное и минимальное значения, делился на интервалы равной ширины. Для получения ширины интервалов $h = R/n$ размах R делят на полученное выше количество интервалов n .

В нашем случае $h = 0,035 \text{ мм} / 7 = 0,005 \text{ мм} = 5 \text{ мкм}$.

Внимание!

Желательно, чтобы размер интервала был не менее двух делений шкалы измерительного прибора (в рассматриваемом примере данные контрольного листка были получены с использованием микрометрической головки часового типа с ценой деления 1 мкм, т. е. один интервал соответствует пяти делениям шкалы прибора).

6. Определение границ интервалов.

Сначала определяют нижнюю границу первого интервала и прибавляют к ней ширину этого интервала, чтобы получить границу между первым и вторым интервалами. Далее продолжают прибавлять найденную ширину

интервала h к предыдущему значению для получения второй границы, затем третьей и т. д. После завершения такой работы можно удостовериться, что верхняя граница последнего интервала совпадает с максимальным значением $x_{\max}$.

7. Вычисление частот.

В третий столбец таблицы контрольного листка вносят количество k_i валиков, попавших в каждый интервал. По результатам наблюдений, отмеченных черточками во втором столбце этой таблицы, подсчитывают общее количество наблюдений (в нашем случае $N = 88$), а затем в четвертый столбец записывают относительные частоты, выраженные в процентах и подсчитанные по формуле

$$f_i = \frac{k_i}{N} 100 \% .$$

8. Построение горизонтальной и вертикальной осей графика.

Берется миллиметровая бумага, на ней наносятся горизонтальная и вертикальная оси, а затем на каждой оси выбираются масштабы.

9. Построение графика гистограммы.

На горизонтальную ось необходимо нанести границы интервалов. На оси абсцисс с обеих сторон (перед первым и после последнего интервалов) следует оставить место, не менее размера одного интервала. Пользуясь шириной интервалов как основанием, строят прямоугольники, высота каждого из которых равна частоте попадания результатов наблюдений в соответствующий интервал. На график (см. рис. 3.2) наносят линию, представляющую среднее арифметическое значение $\bar{x}$, а также линии, представляющие границы поля допуска, если они имеются.

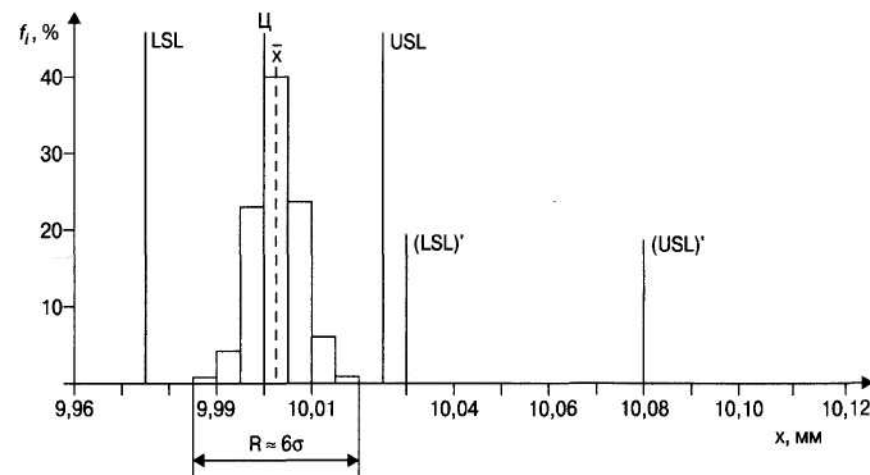


Рис. 3.2. Гистограмма, построенная по данным контрольного листка 3.2.

3.2.3. Вычисление основных характеристик качества процесса по гистограмме

Построение гистограммы на практике производят для того, чтобы оценить качество выпускаемой продукции и качество процесса производства этой продукции. Наиболее часто для оценки качества процесса используют следующие характеристики [9, 10, 34, 39, 41]:

P_p — индекс пригодности процесса удовлетворять технический допуск (без учета положения среднего значения);

k — показатель настроенности процесса на целевое значение;

$P_{pk} = P_p (1 - k)$ — оценка индекса пригодности процесса удовлетворять технический допуск с учетом положений среднего значения.

Ниже рассмотрены примеры вычисления перечисленных выше индексов (показателей) по параметрам построенной гистограммы.

В нашем случае на рис. 3.2 обозначены:

- среднее арифметическое значение $\bar{X}$ результатов наблюдений x_i

$$\bar{x} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i = 10,0025 \text{ мм};$$

- размах результатов наблюдений $R \approx 6\sigma = 0,035$ мм, равный ширине основания гистограммы и в большинстве случаев близкий к шести значениям стандартных отклонений σ ;

Примечание. В качестве приближенного значения стандартного отклонения σ часто используют среднеквадратичное отклонение

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

- нижняя граница поля допуска $LSL = 9,975$ мм;
- верхняя граница поля допуска $USL = 10,025$ мм;
- середина поля допуска (целевое значение)

$$U = (LSL + USL) / 2 = (10,025 + 9,975) / 2 = 10,000 \text{ мм};$$

- дополнительные (гипотетические) значения нижней $(LSL)'$ и верхней $(USL)'$ границ поля допуска, которые нам потребуются далее.

По имеющимся на рис. 3.2 данным могут быть вычислены следующие величины, характеризующие качество процесса производства валиков:

- оценка индекса пригодности процесса удовлетворять технический допуск (без учета положения среднего значения $\bar{X}$) [34]

$$P_p = \frac{USL - LSL}{6\sigma} \approx \frac{USL - LSL}{R} = \frac{10,025 - 9,975}{0,035} \approx 1,43;$$

Примечания:

1. Если $P_p \geq 1$, то ширина гистограммы укладывается в пределах ширины поля допуска, т. е. процесс является управляемым; точнее говоря, имеется возможность осуществить процесс так, что 99,73 % изделий будут попадать в пределы поля допуска; если $P_p < 1$, то процесс является неуправляемым, так как размеры части изделий неизбежно будут выходить за пределы поля допуска; большинство российских заводов работают при значениях $P_p \sim 0,95 \dots 1,3$, а японским специалистам по управлению качеством продукции во многих случаях удается поддерживать на своих предприятиях значения индекса пригодности процессов $P_p \ll 1,5 \dots 4,0$, что позволяет ограничить дефектность продукции единицами бракованных изделий на миллион выпускаемых изделий.
2. Для того чтобы проиллюстрировать, почему P_p называется *индексом пригодности* процесса, рассмотрим гипотетическую ситуацию, когда нижняя и верхняя границы допуска $(LSL)' = 10,03$ мм, $(USL)' = 10,08$ мм; тогда получим значение индекса пригодности процесса

$$P_p = \frac{USL - LSL}{6\sigma} \approx \frac{(USL)' - (LSL)'}{R} = \frac{10,08 - 10,03}{0,035} \approx 1,43.$$

Видно, что при $(LSL)' = 10,03$ мм, $(USL)' = 10,08$ мм, когда (при представленной на рис. 3.2 гистограмме) ни одно изделие не попадает в пределы границ поля допуска, все равно $P_p \approx 1,43$; именно поэтому индекс P_p называется индексом пригодности процесса (он совершенно не учитывает смещение центра $\bar{X}$ случайного распределения размеров деталей относительно середины поля допуска U);

- смещение гистограммы относительно середины поля допуска может быть охарактеризовано показателем настроенности процесса на целевое значение

$$k = \frac{|\bar{x} - U|}{USL - LSL / 2},$$

который в нашем примере равен

$$k = \frac{|10,0025 - 10,0000|}{10,025 - 9,975 / 2} = 0,1.$$

Примечание. Если среднее значение $\bar{X}$ случайного распределения результатов наблюдений сместится относительно середины U поля допуска на величину половины поля допуска $(USL - LSL) / 2$, то показатель настроенности процесса станет равен $k = 1$; если же $\bar{X} = U$, то показатель $k = 0$;

- наиболее полно качество протекания процесса может быть охарактеризовано [19] величиной индекса пригодности процесса удовлетворять технический допуск с учетом положения среднего значения $\bar{X}$

$$P_{pk} = P_p \cdot (1 - k),$$

который в рассматриваемом нами примере равен $P_{pk} = 1,43 (1 - 0,1) \approx 1,29$.

Таким образом, для повышения качества процесса (уменьшения уровня дефектности) необходимо обеспечить высокое значение индекса P_p и низкое значение показателя k .

Примечания:

1. Для лучшего понимания смысла индексов P_p , P_{pk} рекомендуем внимательно изучить ГОСТ Р 50779.44-2001 [34].
2. Согласно [34], индексы P_p , P_{pk} могут быть использованы в качестве индексов пригодности процессов, стабильность которых по настройке подтверждена, а по разбросу — не подтверждена.
3. В случае, когда подтверждена стабильность процесса по разбросу, вместо индексов пригодности P_p , P_{pk} используются [34]:

$C_p = \frac{USL - LSL}{6\sigma}$ — индекс воспроизводимости процесса, оценивающий возможность удовлетворять технический допуск без учета положения среднего значения $\bar{X}$ и применяемый для стабильных по разбросу процессов;
 $C_{pk} = C_p(1 - k)$ — индекс воспроизводимости процесса, оценивающий возможность удовлетворять технический допуск с учетом фактического положения среднего значения $\bar{X}$ и применяемый для стабильных и по разбросу, и по настройке процессов.

3.2.4. Типовые формы гистограмм

На рис. 3.3 приведены наиболее часто встречающиеся на практике формы (типы) гистограмм [1, 9—11, 30, 38—42].

Полезную информацию о характере распределения случайной величины можно получить, взглянув на форму гистограммы. Формы, представленные на рис. 3.3, типичны, и вы можете воспользоваться ими как образцами при анализе процессов.

Обычная форма (симметричная, или колоколообразная). Среднее значение гистограммы приходится на середину размаха данных. Наивысшая частота оказывается в середине и постепенно снижается к обоим концам. Форма симметрична.

Примечание. Это именно та форма, которая встречается чаще всего.

Гребенка Интервалы через один имеют более низкие (высокие) частоты.

Примечание. Такая форма встречается, когда число единичных наблюдений, попадающих в интервал, колеблется от интервала к интервалу или когда действует определенное правило округления данных.

Положительно скошенное распределение (отрицательно скошенное распределение). Среднее значение гистограммы локализуется слева (справа) от центра размаха. Частоты довольно резко спадают при движении влево (вправо) и, наоборот, медленно — при движении вправо (влево). Форма асимметрична.

Примечание. Такая форма встречается, когда левое (правое) значение поля допуска недостижимо.

Распределение с обрывом справа (распределение с обрывом слева). Среднее арифметическое гистограммы локализуется далеко слева (справа) от центра размаха. Частоты резко спадают при движении влево (вправо) и, наоборот, медленно вправо (влево). Форма асимметрична.

Примечание. Это одна из тех форм, которые часто встречаются при 100 %-ной разбраковке изделий из-за плохой управляемости процесса, а также когда проявляется резко выраженная положительная (отрицательная) асимметрия.

Равномерное или прямоугольное распределение (плато). Частоты в разных интервалах образуют плато, поскольку все интервалы имеют более или менее одинаковые ожидаемые частоты.

Примечание. Такая форма встречается в смеси нескольких распределений, имеющих различные средние значения.

Двухпиковая (бимодальная) форма. В окрестностях центра диапазона данных частота низкая, т. е. по пику с каждой стороны.

Примечание. Такая форма встречается, когда смешиваются два распределения с далеко отстоящими средними значениями.

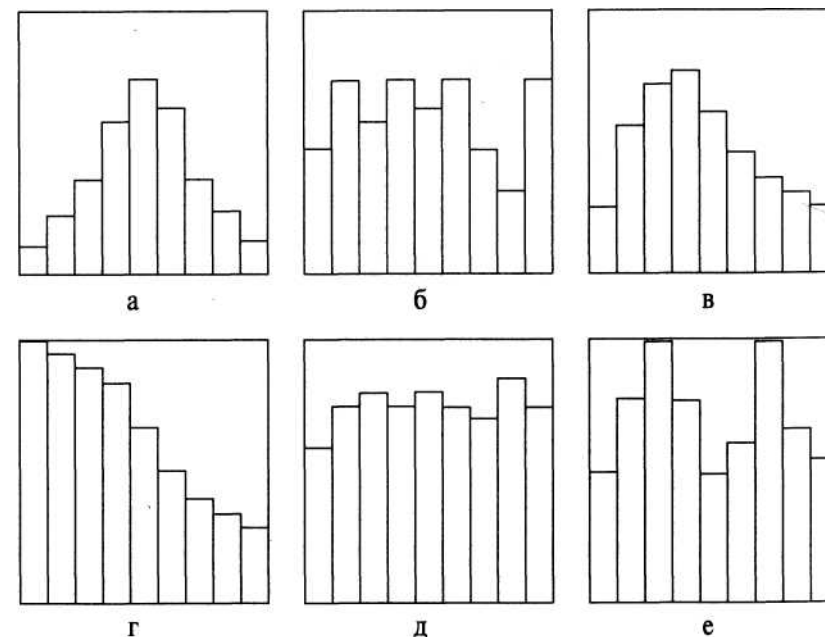


Рис. 3.3. Основные формы гистограмм:

- | | |
|---|--------------------------------------|
| а — симметричная, или колоколообразная; | б — гребенка; |
| в — положительно скошенное распределение; | г — распределение с обрывом справа; |
| д — равномерное распределение (плато); | е — двухпиковая (бимодальная) форма. |

3.2.5. Использование гистограмм при оценке и анализе качества процессов

Анализ формы гистограммы и ее расположения по отношению к технологическому допуску позволяет делать заключения о состоянии изучаемого процесса и вырабатывать надлежащие меры. На рис. 3.4 показаны возможные варианты расположения гистограммы по отношению к допуску [38].

На рис. 3.4а левая и правая стороны гистограммы симметричны, следовательно, форма гистограммы удовлетворительна. Если сравнить ширину гистограммы с шириной поля допуска, то она составляет приблизительно $3/4$ (что соответствует $P_p \approx 1,33$), т. е. в поле допуска имеется достаточный запас. Поскольку центр $\bar{X}$ распределения и центр $Ц$ поля допуска совпадают (что соответствует $k \approx 0$ и $P_{pk} \approx 1,33$), то качество партии деталей находится в удовлетворительном состоянии. Таким образом, в данной ситуации технологическая операция не нуждается в корректировке [38].

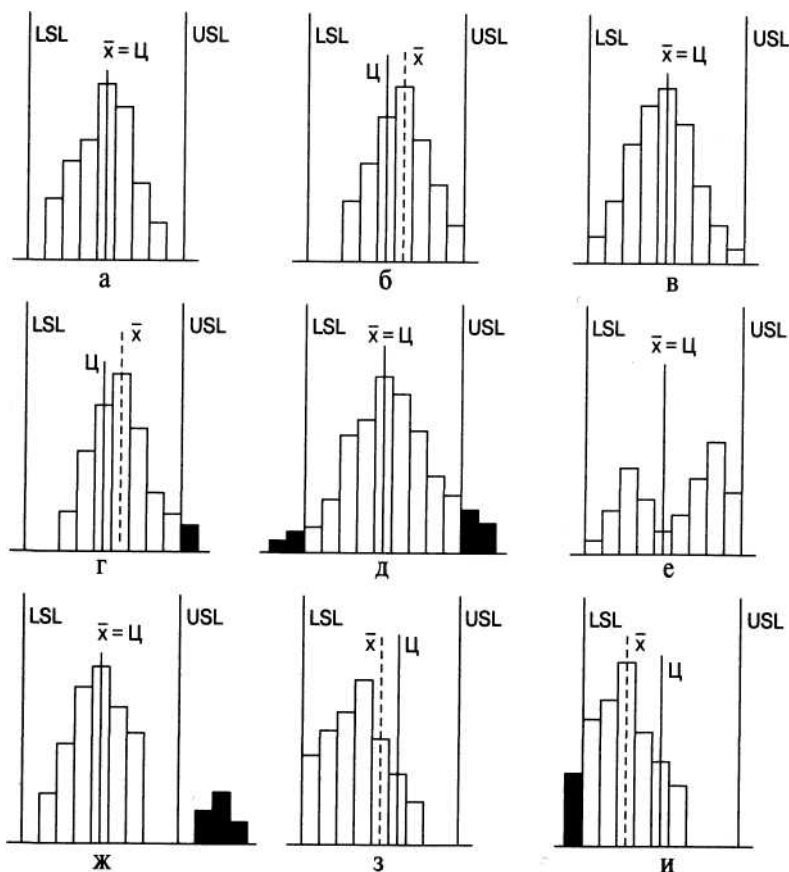


Рис. 3.4. Варианты расположения гистограммы по отношению к технологическому допуску [38].

На рис. 3.4б гистограмма сдвинута вправо. В связи с этим имеется опасение, что среди деталей могут находиться некондиционные единицы (выходящие за пределы допуска). В этом случае необходимо проверить, не вносят ли систематическую ошибку используемые средства измерения. Если средство измерения находится в удовлетворительном состоянии, следует продолжить изготовление деталей, отрегулировав технологическую операцию так, чтобы центр $\bar{X}$ гистограммы совпадал с центром $Ц$ поля допуска [38].

На рис. 3.4в центр гистограммы расположен правильно, т. е. совпадает с центром поля допуска. Однако поскольку ширина гистограммы, характеризующая реальный разброс значений контролируемого показателя, совпадает с шириной поля допуска, то имеется опасение, что со стороны верхнего и нижнего допуска могут появиться некондиционные детали. Следовательно, чтобы сузить ширину гистограммы, необходимо принять меры для обследования технологической операции с точки зрения точности оборудования, условий обработки, технологической оснастки и т. д. В случае невозможности найти техническое решение по данному вопросу рекомендуется (если есть такая возможность) расширить допуск, так как требования к качеству деталей в данном случае трудновыполнимы [38].

На рис. 3.4г центр гистограммы смещен, причем выход одного интервала гистограммы за верхнюю границу допуска USL свидетельствует о наличии дефектных деталей. Кроме того, поскольку ширина гистограммы и ширина поля допуска почти одинаковы, необходимо срочно отрегулировать технологическую операцию, переместив центр гистограммы $\bar{X}$ в центр поля допуска $Ц$, либо уменьшить ширину гистограммы, либо изменить допуск [38].

На рис. 3.4д центр гистограммы совпадает с центром поля допуска, но так как ширина гистограммы превышает ширину поля допуска, то обнаруживаются детали несоответствующего качества, о чем свидетельствует выход гистограммы за обе стороны поля допуска. В этом случае целесообразно реализовать рассмотренные выше меры [38].

На рис. 3.4е в гистограмме имеются два пика, хотя образцы деталей взяты из одной партии. Это явление объясняется либо тем, что исходный материал для деталей был двух разных сортов, либо в процессе изготовления деталей была изменена настройка оборудования, либо тем, что в одну партию включили детали, обработанные на двух разных станках. Очевидно, следует провести (см. подробнее § 3.3) расслоение (стратификацию) гистограммы, т. е. разбить ее на две [38].

На рис. 3.4ж главные характеристики гистограммы (ширина и центр) в норме, однако значительная часть деталей выходит за верхний предел допуска и, отделяясь, образует обособленный «островок». Детали в этом «островке», возможно, представляют часть тех деталей несоответствующего качества, которые вследствие небрежности были перемешаны с доброкачественными в общем

потоке. В данной ситуации необходимо принять меры для выяснения самых различных и внезапно возникающих обстоятельств, должным образом объясняющих причину этого явления [38].

На рис. 3.4з центр распределения смещен к нижнему пределу допуска. Так как левая сторона гистограммы на границе нижнего предела допуска имеет вид «отвесного берега», можно сделать заключение, что фактически это была партия, которую предварительно рассортировали из-за наличия в ней деталей несоответствующего качества в левой стороне гистограммы (т. е. выходящих за нижний предел допуска) или же детали несоответствующего качества левой стороны при выборочном контроле умышленно распределили как годные для включения в пределы допуска. Следовательно, необходимо выявить причину, которая могла повлечь за собой данное явление [38].

На рис. 3.4и показан случай, аналогичный варианту «з». Возможно, что используемое измерительное средство было неисправно. В связи с этим необходимо обратить внимание на калибровку (поверку) измерительного средства, равно как и на повторное обучение правилам выполнения измерений [38].

Задание № 3.2.

Для исследования качества процесса изготовления стальных осей на токарном станке были измерены диаметры 90 осей, приведенные в таблице. Постройте гистограмму по этим данным [45]:

Номер наблюдений	Результаты наблюдений (измерений)									
1—10	2,510	2,517	2,522	2,533	2,510	2,532	2,522	2,502	2,530	2,522
11—20	2,527	2,536	2,542	2,524	2,542	2,514	2,533	2,510	2,524	2,526
21—30	2,529	2,523	2,514	2,519	2,519	2,524	2,513	2,518	2,532	2,522
31—40	2,520	2,514	2,521	2,514	2,533	2,502	2,530	2,522	2,530	2,521
41-50	2,535	2,523	2,510	2,542	2,524	2,522	2,535	2,540	2,528	2,525
51-60	2,533	2,510	2,532	2,522	2,502	2,515	2,520	2,522	2,542	2,540
61-70	2,525	2,515	2,526	2,530	2,532	2,528	2,531	2,545	2,524	2,522
71-80	2,531	2,545	2,526	2,532	2,522	2,520	2,522	2,527	2,511	2,519
81-90	2,518	2,527	2,502	2,530	2,522	2,531	2,527	2,529	2,528	2,519

3.3. Метод стратификации (группировки, расслоения) статистических данных

Стратификация — разделение полученных данных на отдельные группы (слои, страты) в зависимости от выбранного стратифицирующего фактора [1, 9, 10, 38-43].

В качестве стратифицирующего фактора могут быть выбраны любые параметры, определяющие особенности условий возникновения и получения данных:

- различное оборудование;
- операторы, производственные бригады, участки, цехи, предприятия и т. п.;
- время сбора данных;
- разные виды сырья;
- различие используемых станков, средств измерения и т. д.

При отсутствии учета стратифицирующего фактора (расслоения данных) происходит их объединение и обезличивание, затрудняющее установление действительной взаимосвязи между полученными данными и особенностями их возникновения.

Например, при анализе источника дефектной продукции, поставляемой предприятию несколькими сторонними поставщиками, целесообразно в качестве стратифицирующего фактора выбрать поставщиков и произвести стратификацию дефектной продукции по поставщикам.

В японских журналах, посвященных работе кружков качества, неоднократно публиковались статьи о повышении качества продукции после многократного (до 50-80 раз) применения [1, 9, 10, 41] метода стратификации для анализа проблем, возникавших в производственных процессах.

3.3.1. Мнемонический прием 4М ... 6М

Специалисты по управлению качеством продукции очень часто используют в своей работе английский язык. Поэтому в зарубежной литературе при стратификации (расслоении) статистических данных рекомендуется использовать мнемонический прием 4М ... 6М, позволяющий легко запомнить типовые причины (факторы), по которым может быть произведена группировка (стратификация, расслоение) статистических данных. Этот мнемонический прием основан на том, что в английском языке были подобраны слова, начинающиеся на букву М и определяющие основные группы причин (факторов), по которым наиболее часто производят стратификацию статистических данных.

Ниже приведены эти английские слова, определяющие основные причины (факторы) стратификации данных [1, 9, 10, 39—41].

1. Manpower (персонал) - расслоение по исполнителям (по их квалификации, стажу работы, полу и т. п.).
2. Machine (машина) — стратификация по машинам, станкам, оборудованию (по новому и старому оборудованию, марке, конструкции, выпускающей фирме и т. п.).
3. Material (материал) — группировка по виду материала, сырья, комплектующих (по месту добычи или производства, фирме-изготовителю, партии сырья, сорту материала и т. п.).

4. Method (метод, технология) — расслоение по способу производства (по температурному режиму, технологическому приему, номеру цеха, бригады, участка, смене, рабочим и т. п.).
5. Measurement (измерение) — по методу измерения, типу измерительных средств, классу точности прибора и т. п.
6. Media (окружающая среда) — по температуре, влажности воздуха в цехе, магнитным и электрическим полям, солнечному излучению и т. п.

Наиболее часто производится группировка статистических данных по первым четырем причинам (мнемонический прием 4М). Если к этим четырем причинам (факторам) необходимо добавить пятую или шестую, то получаются, соответственно, мнемонические приемы 5М и 6М.

Примечание. В некоторых зарубежных публикациях, например в [44], этот же мнемонический прием представляют в виде сочетания букв РММММЕ, образованных от английских слов:

Personal (персонал, люди);
 Machine (машина, оборудование, станки);
 Material (материал, сырье, комплектующие);
 Method (метод, технология, режим);
 Measurement (измерение);
 Environment (окружающая среда).

3.3.2. Применение стратификации статистических данных

При практическом использовании метода стратификации рекомендуется действовать следующим образом [1, 45]:

1. Выберите данные, представляющие интерес для изучения;
2. Выберите стратифицирующий фактор и категории (группы), на которые будут разделяться данные;
3. Произведите группировку данных на основании выбранных категорий;
4. Оцените результаты группировки по каждой из категорий;
5. Соответствующим образом представьте полученные результаты;
6. Проанализируйте необходимость дополнительного изучения данных;
7. Спланируйте последующую работу для дополнительного подтверждения полученных результатов.

Рассмотрим применение метода стратификации на примере анализа качества изделий в одном из цехов предприятия. Пусть после сбора статистических данных была построена гистограмма, отображающая случайное распределение главного параметра x качества продукции, представленная на рис. 3.5а. Из этого рисунка видно, что распределение близко к равномерному, размах R_u статистических данных для этого цеха занимает почти все поле допуска, индекс пригодности процесса $P_p \approx 1,09$ (не намного больше единицы).

В процессе стратификации осуществим группировку (расслоение) статистических данных по трем сменам, работающим в цехе. Результаты такой работы

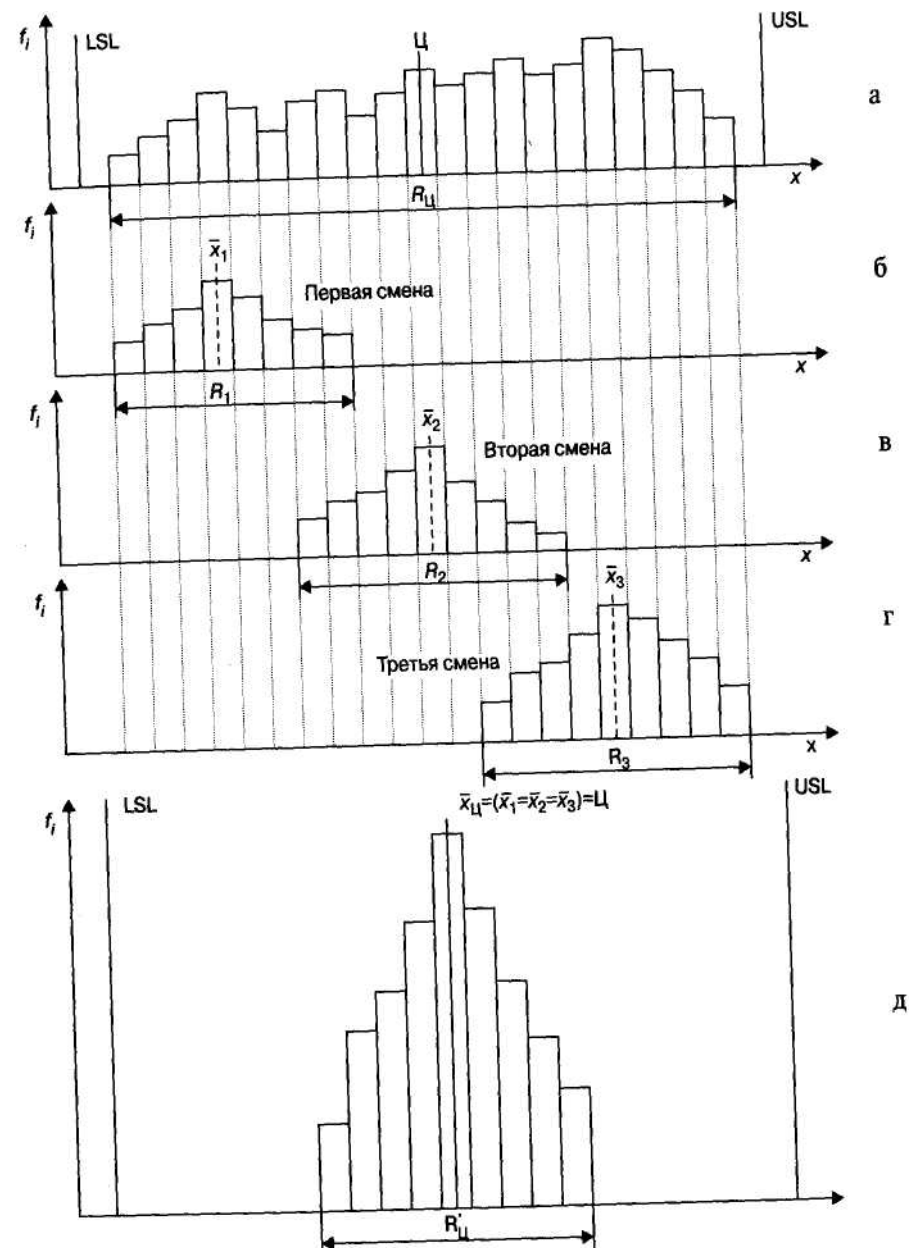


Рис. 3.5. Стратификация (расслоение) статистических данных о качестве продукции цеха по трем сменам:
 а — гистограмма для всего цеха;
 б, в, г - соответственно гистограммы для 1-, 2- и 3-й смен;
 д - гистограмма распределения главного параметра качества продукции цеха после совмещения средних значений $\bar{x}_1$, $\bar{x}_2$, $\bar{x}_3$ для каждой смены с серединой μ поля допуска.

представлены на рис. 3.5б, в, г. Видно, что распределение статистических данных в каждой из трех смен близко к нормальному закону распределения, причем размахи R_1 , R_2 , R_3 (ширина основания гистограмм для каждой смены) относительно невелики, а средние арифметические значения $\bar{X}_1$, $\bar{X}_2$, $\bar{X}_3$ главного параметра качества продукции в каждой смене сильно отличаются друг от друга.

По результатам стратификации статистических данных (см. рис. 3.5б, в, г) могут быть сформулированы следующие предложения по улучшению качества продукции цеха. Например, качество продукции может быть повышено за счет проведения только организационно-технических мероприятий без капитальных вложений в новые более точные станки и оборудование, а именно после разработки и внедрения мероприятий, направленных на то, чтобы средние арифметические значения $\bar{X}_1$, $\bar{X}_2$, $\bar{X}_3$ в каждой смене максимально приблизились к значению середины $\bar{X}$ поля допуска.

После выполнения этих мероприятий суммарная гистограмма для цеха в целом примет вид, показанный на рис. 3.5д.

Из рис. 3.5д видно, что при совмещении средних арифметических значений главного параметра качества $\bar{X}_1$, $\bar{X}_2$, $\bar{X}_3$ для каждой смены с серединой $\bar{X}$ поля допуска суммарная гистограмма для цеха в целом имеет значительно меньший размах $R_u' < R_u$, что соответствует значению индекса пригодности процесса $P_p \approx 2,56$.

Примечание. Рассмотренный в данном параграфе пример может создать у вас неправильное впечатление о легкости использования метода стратификации (расслоения) статистических данных. Помните, что это только лишь специально подобранный учебный пример, в котором все получается очень просто и быстро; японским специалистам удавалось на практике достичь положительных результатов только после 50-70 попыток [1, 9,10, 41] применить метод стратификации для анализа имевшихся у них статистических данных.

Расслоение данных позволяет получить представление о скрытых причинах дефектов или выявить неочевидные пути улучшения качества продукции. При расслоении данных следует стремиться к тому, чтобы различие внутри каждой группы (страты, слоя) было как можно меньше, а различие между группами — как можно больше.

Задание № 3.3.

Проведите анализ причин дефектности продукции или возможных путей улучшения качества применительно к вашему процессу производства (предоставления услуги), воспользовавшись методом стратификации (расслоения, группировки) данных по одной из категорий причин в соответствии с мнемоническим приемом 4М ... 6М.

3.4. Причинно-следственная диаграмма Исикавы

Результат процесса построения причинно-следственной диаграммы Исикавы зависит от многочисленных факторов, между которыми существуют отношения типа «причина — результат». Мы можем определить структуру или характер этих

многофакторных отношений благодаря систематическим наблюдениям. Трудно решить сложные проблемы, не зная этой структуры, которая представляет собой цепь причин и результатов. Диаграмма причин и результатов — средство, позволяющее выразить эти отношения в простой и доступной форме [1, 8-10, 38-45].

В 1953 г. профессор Токийского университета Каору Исикава, обсуждая проблему качества на одном заводе, суммировал мнение инженеров в форме диаграммы причин и результатов [1]. Она получила название «схема Исикавы» (в японской литературе эту диаграмму из-за ее формы часто именуют «рыбья кость» или «рыбий скелет»).

3.4.1. Основные сведения о причинно-следственной диаграмме Исикавы

Диаграмма представляет собой [1, 8—10, 38—45] средство графического упорядочения факторов, влияющих на объект анализа. Главным достоинством диаграммы Исикавы является то, что она дает наглядное представление не только о тех факторах, которые влияют на изучаемый объект, но и о причинно-следственных связях этих факторов. В основе построения диаграммы лежит определение (постановка) задачи, которую необходимо решать.

При вычерчивании [1, 8-10, 38—45] причинно-следственной диаграммы Исикавы самые значимые параметры и факторы располагают (см. рис. 3.6) наиболее близко к голове «рыбьего скелета». Построение начинают с того, что к центральной горизонтальной стрелке, изображающей объект анализа, подводят большие первичные стрелки, обозначающие главные факторы (группы факторов), влияющие на объект анализа. Далее к каждой первичной стрелке подводят стрелки второго порядка, к которым, в свою очередь, подводят стрелки третьего порядка и т. д. до тех пор, пока на диаграмму не будут нанесены все стрелки, обозначающие факторы, оказывающие заметное влияние на объект анализа в конкретной ситуации. Каждая из стрелок, нанесенная на схему, представляет собой в зависимости от ее положения либо причину, либо следствие: предыдущая стрелка по отношению к последующей всегда выступает как причина, а последующая — как следствие.

Наклон и размер не имеют принципиального значения. Главное при построении схемы заключается в том, чтобы обеспечить правильную соподчиненность и взаимозависимость факторов, а также четко оформить схему, чтобы она хорошо смотрелась и легко читалась. Поэтому независимо от наклона стрелки каждого фактора его наименование всегда располагают в горизонтальном положении, параллельно центральной оси.

3.4.2. Этапы построения причинно-следственной диаграммы

При построении диаграммы Исикавы рекомендуется (см. рис. 3.6) придерживаться следующего порядка действий [1, 8—10, 38—45]:

1. Определите перечень показателей качества (видов неудач, дефектов, брака), которые следует проанализировать.
2. Выберите один показатель качества и напишите его в середине правого края чистого листа бумаги. Слева направо проведите прямую линию, которая будет представлять собой «хребет» будущей диаграммы Иси-кавы.
3. Запишите главные причины, влияющие на показатель качества;

Примечание. Рекомендуем вам воспользоваться мнемоническим приемом 4М ... 6М при определении этих главных причин.

4. Соедините линиями («большими костями») главные причины с «хребтом», расположив основные из этих главных причин ближе к голове «рыбьего скелета».
5. Определите и запишите вторичные причины для уже записанных главных причин.

Примечание. Используйте метод «мозговой атаки», рассмотренный в главе 4, для выявления вторичных возможных причин выбранной проблемы качества.

6. Соедините линиями («средними костями») вторичные причины с «большими костями».
7. Проверьте логическую связь каждой причинной цепочки.
8. Нанесите всю необходимую информацию (надписи) и проверьте законченность составленной причинно-следственной диаграммы Исикавы.

Несмотря на относительную простоту, построение диаграммы Исикавы требует от ее исполнителей хорошего знания объекта анализа и понимания взаимозависимости и взаимовлияния факторов.

Часто построение диаграммы сопровождается «мозговым штурмом». Это прекрасный метод приведения в действие творческого мышления группы для быстрого формулирования, разъяснения и оценки значительного перечня идей, проблем, причин, вопросов. Правила проведения «мозгового штурма (атаки)» рассмотрены в главе 4.

3.4.3. Пример причинно-следственной диаграммы

Ниже приведен пример причинно-следственной диаграммы Исикавы типа «рыбий скелет» по выявлению причины появления дефекта «концевые пороки» при производстве тентового материала с поливинилхлоридным покрытием для автотранспорта.

Для уменьшения размеров рис. 3.6 приведенная на нем диаграмма Исикавы была построена на основе использования мнемонического приема 4М, т. е. при построении этой диаграммы были приняты во внимание только четыре группы причин дефектов «концевые пороки», а именно: персонал, техноло-

3.4.4. Советы по построению диаграммы Исикавы

При практическом построении причинно-следственной диаграммы советуем воспользоваться следующими рекомендациями [1, 8—10, 38—45]:

1. Определите все факторы, имеющие отношение к рассматриваемой проблеме, путем наблюдений и опроса многих людей.

Из всех факторов, указанных на диаграмме, надо выделить те, которые оказывают наибольшее воздействие на показатель качества. Если на первоначальной стадии, еще до построения диаграммы, из вашего поля зрения выпал какой-то фактор, он не появится на более поздней стадии. Поэтому чрезвычайно важно на стадии подготовки диаграммы привлечь к обсуждению как можно больше людей, чтобы диаграмма была полной и в ней ничего не было упущено.

2. Сформулируйте показатель как можно точнее.

Если показатель сформулирован абстрактно, то будет построена диаграмма, основанная на общих соображениях. И хотя она будет правильной

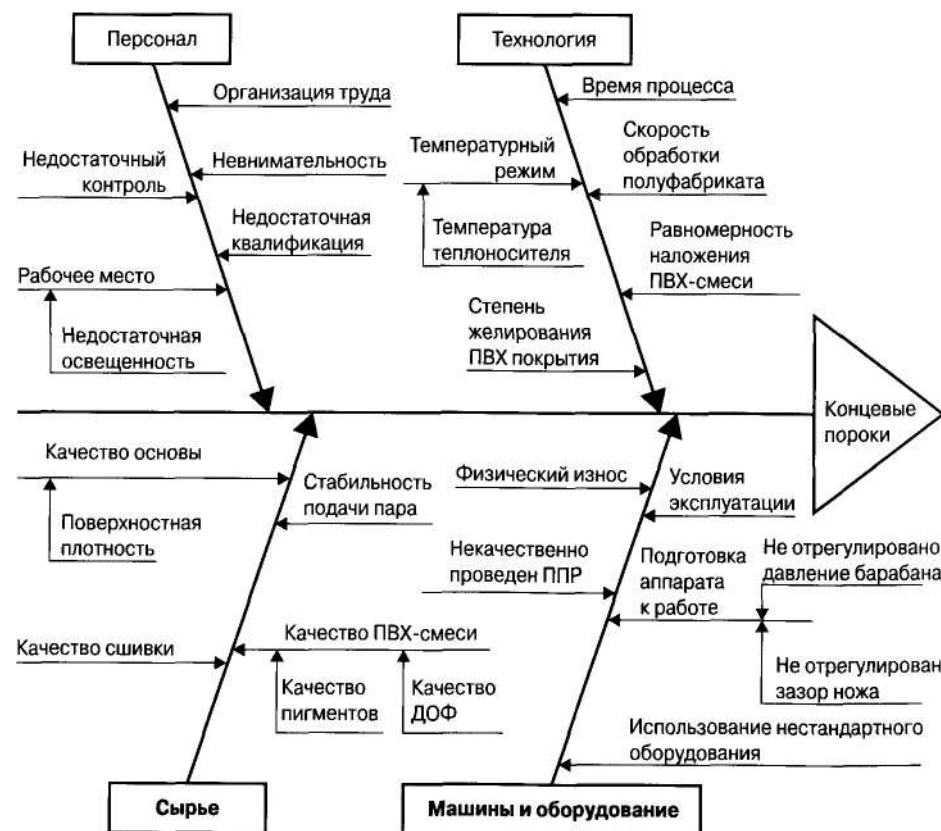


Рис. 3.6. Пример причинно-следственной диаграммы Исикавы.

с точки зрения отношений «причина — результат», в ней будет мало проку при решении конкретных проблем.

3. Воспользуйтесь разными классификациями (стратификацией) причин и постройте столько диаграмм причин и результатов, сколько показателей вы хотите исследовать.

Например, ошибки в весе и в размерах одного и того же изделия нужно анализировать с помощью двух разных диаграмм, так как их структуры в этом случае будут различными. Попытка объединить эти две диаграммы в одну приведет к тому, что она окажется большой и сложной, практически бесполезной, что только затруднит процесс принятия решений.

4. При построении диаграммы Исикавы старайтесь выбирать такие показатели качества и такие факторы, которые можно измерить.

После составления диаграммы причин и результатов надо с помощью объективных данных оценить силу отношений «причина — результат». Чтобы это стало возможным, и показатель качества, и факторы, на него влияющие, должны быть измеримыми. Если их невозможно измерить, надо все-таки попытаться это сделать или найти показатели-заменители.

5. Отыщите факторы, по которым надлежит принять меры.

Если по обнаруженной причине нельзя предпринять никаких действий, то проблема неразрешима. Чтобы процесс совершенствования стал эффективным, надо разбивать причины на подпричины до тех пор, когда по каждой из них можно предпринять действия по устранению причин дефектов (по улучшению качества), иначе сам процесс их выявления превратится в бессмысленное упражнение.

3.4.5. Советы по использованию диаграмм

1. Установите важность каждой причины на основе объективных значений или данных.

Анализ факторов с помощью собственного опыта или знаний возможен, но устанавливать их важность только на основе субъективных представлений или впечатлений опасно. Объективное установление важности факторов с помощью данных — более научный и логический подход.

2. Пытайтесь постоянно совершенствовать причинно-следственную диаграмму.

Задание № 3.4.

Постройте причинно-следственные диаграммы для следующих показателей качества:

- низкое качество фотокопий;
- ошибка в машинописи;
- опоздание к назначенному сроку.

3.5. Диаграмма Парето

Диаграмма Парето [1, 8—10, 38—45] — разновидность столбиковой диаграммы, применяемой для наглядного отображения рассматриваемых факторов в порядке уменьшения (возрастания) их значимости. Эта диаграмма является инструментом, позволяющим распределить усилия для разрешения возникающих проблем и выявить главные причины, с которых надо начинать действовать, например, позволяет точно определить и квалифицировать основные виды причин брака при диагностировании процесса; установить, борьба с какими видами причин брака позволит наиболее эффективно и быстро повысить качество продукции.

В 1897 г. итальянский экономист В. Парето (1845—1923) установил [1], что примерно 70—80 % доходов или благ в государстве в большинстве случаев принадлежит 20—30 % населения. Американский экономист М. Лоренц в 1907 г. независимо от Парето пришел к тому же выводу [1], осуществив дальнейшее развитие идей Парето (помимо так называемой столбиковой диаграммы им было предложено использовать кумулятивную кривую, которую часто называют кривой Лоренца). Идея применения этой диаграммы для анализа причин возникновения брака и путей повышения качества принадлежит Дж. Джурану [1].

3.5.1. Этапы построения диаграммы Парето

Рекомендуется порядок построения диаграммы Парето, включающий в себя следующие этапы [45]:

1. Решите, какие проблемы надлежит исследовать и как собирать данные, в частности:
 - 1) какого типа проблемы вы хотите исследовать?
Например: дефектные изделия, потери в денежном выражении, несчастные случаи;
 - 2) какие данные надо собрать и как их классифицировать?
Например: по видам дефектов, месту их появления, процессам, рабочим;
 - 3) какой метод следует применить и каков период сбора данных.

Примечание. Пусть с использованием «мозговой атаки» построена диаграмма Исикавы и установлено N причин, вызывающих брак. Возникает вопрос: с какой из этих причин надо начинать бороться в первую очередь, чтобы наиболее эффективно повысить качество? Для ответа на этот вопрос и следует использовать диаграмму Парето, например так, как это рассмотрено ниже.

2. Разработайте контрольный листок для регистрации данных (о частоте возникновения дефектов в зависимости от вызывающих их причин) с перечнем видов собираемой информации.
3. Заполните контрольный листок регистрации данных и подсчитайте необходимые итоговые данные (см., например, табл. 3.1).

4. Для построения диаграммы Парето разработайте бланк таблицы (см. на пример, табл. 3.3) для обработки статистических данных, имеющих в контрольном листке. В этой таблице следует предусмотреть графы для регистрации:

- числа зарегистрированных дефектов каждого типа как в единицах их измерения, так и в процентах к общему количеству дефектов;
- накопленной суммы числа дефектов, выраженной в единицах измерения дефектов;
- накопленной суммы числа дефектов, выраженной в процентах к общему итогу (накопленного процента).

5. Заполните таблицу, расположив данные, полученные по каждому проверяемому признаку (типу дефекта), в порядке убывания их значимости.

Примечание. Группу «прочие» надо поместить в последнюю строку таблицы вне зависимости от того, насколько большим получилось число, так как ее составляет совокупность признаков, числовой результат по каждому из которых меньше, чем самое маленькое значение, полученное для признака, выделенного в отдельную строку.

6. Начертите (рис. 3.7) одну горизонтальную и две вертикальные оси:

- 1) сначала постройте горизонтальную ось. Разделите эту ось на интервалы в соответствии с числом контролируемых признаков (типов дефектов);
- 2) затем постройте вертикальные оси с левой и правой стороны графика:
 - на левую ось нанесите шкалу с интервалами (делениями) от 0 до числа, соответствующего общему итогу (суммарному числу дефектов);
 - на правую ось нанесите шкалу с интервалами (делениями) от 0 до 100 %.

7. Постройте столбиковую диаграмму.

Таблица 3.3
Данные для построения диаграммы Парето

Типы дефектов (пороков)	Число дефектов (пороков), м. пог.	Накопленная сумма числа дефектов, м.пог.	Процент числа дефектов по каждому признаку к общей сумме	Накопленный процент
Концевые	159	159	53	53
Складки	51	210	17	70
Засечки	36	246	12	82
Вмятины	24	270	8	90
Грязь	12	282	4	94
Прочие	18	300	6	100
Итого	300	—	100	—

8. Начертите кумулятивную кривую (кривую Лоренца).

На вертикалях, соответствующих правым концам каждого интервала на горизонтальной оси, нанесите точки накопленных сумм (результатов или процентов) и соедините отрезками прямых.

9. Нанесите на диаграмму все обозначения и надписи:

- надписи, касающиеся диаграммы (название, разметка числовых значений на осях);
- надписи, касающиеся данных;
- сведения о месте и времени сбора и обработки данных;
- сведения о персонале, принимавшем участие в работе;
- любые другие сведения, которые могут быть полезными в последующей работе с построенной диаграммой Парето.

Определяющим достоинством диаграммы Парето является то, что она дает возможность разгруппировать факторы на значительные, т. е. встречающиеся наиболее часто, и на незначительные, т. е. встречающиеся относительно редко. Диаграмма Парето показывает в убывающем порядке относительное влияние каждой причины на общую проблему.

После проведения корректирующих мероприятий диаграмму Парето можно вновь построить для изменившихся в результате коррекции условий и проверить эффективность проведенных улучшений. В сложной экономической жизни пред-

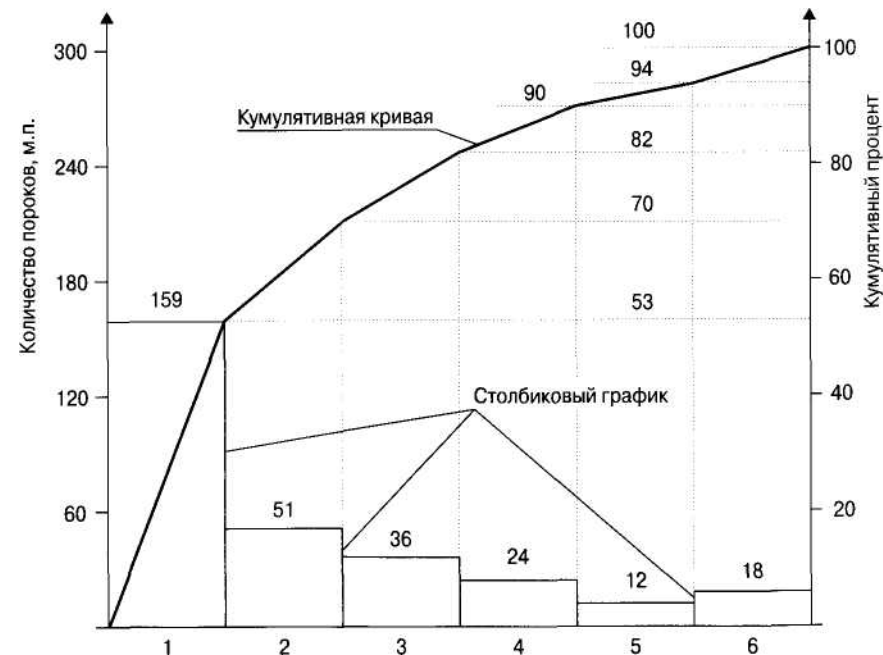


Рис. 3.7. Диаграмма Парето по видам пороков тентового материала:

1 — концевые; 2 — складки; 3 — засечки; 4 — вмятины; 5 — грязь; 6 — прочие.

приятия проблемы могут возникнуть в любой момент в любом подразделении. Анализ этих проблем всегда целесообразно начинать с составления диаграммы Парето.

3.5.2. Советы по построению диаграммы Парето

При практическом построении диаграммы Парето можно рекомендовать следующее [1, 45].

- 1. Воспользуйтесь разными классификациями причин (т. е. произведите стратификацию имеющихся у вас данных) и составьте много диаграмм Парето. Суть проблемы можно уловить, наблюдая явление с разных точек зрения, поэтому важно опробовать различные пути классификации данных, пока не выявятся немногочисленные существенно важные факторы, что и служит целью анализа Парето.
- 2. Нежелательно, чтобы группа «прочие факторы» составляла большой процент. Если такое происходит, значит объекты наблюдения классифицированы неправильно и слишком много объектов попало в эту группу. В таком случае надо использовать другой принцип классификации.
- 3. Если данные можно представить в денежном выражении, то именно так и надо поступить (лучше всего показать это на вертикальных осях диаграммы Парето). Если нельзя оценить существующую проблему в денежном выражении, само исследование может оказаться неэффективным. Затраты — важный критерий принятия управленческих решений.

При использовании построенной диаграммы Парето рекомендуется [1]:

- если нежелательный существенный фактор (причину) можно устранить с помощью простого решения, это надо сделать незамедлительно;
- в первую очередь следует рассматривать только немногочисленные существенные причины (факторы);
- если относительно несущественная причина (фактор) устраняется простым путем, то это тоже следует сделать незамедлительно, так как приобретенный опыт и моральное удовлетворение окажут большое воздействие на дальнейшее решение проблемы.

Задание № 3.5.
Разработайте форму контрольного листа для сбора данных применительно к вашему производству (работе), обработайте собранные данные и постройте диаграмму Парето.

3.6. Диаграмма разброса (рассеивания)

На практике часто важно изучить зависимости между парами каких-либо переменных. Как можно, например, установить, зависит ли вариация размеров детали от изменений скорости вращения шпинделя токарного станка? Или, допустим, мы хотим управлять концентрацией материала, но предпочитаем заменить измерение концентрации измерением плотности, поскольку на практике

ее гораздо легче мерить. Для изучения зависимостей между двумя переменными, такими как скорость вращения шпинделя токарного станка и размер детали (или концентрация и плотность), мы можем воспользоваться так называемой *диаграммой рассеивания* [1, 8—10].

Диаграмма разброса (рассеивания) — инструмент [1, 8—10, 38—43], позволяющий определить вид и тесноту связи между парами соответствующих переменных.

- Эти две переменные x и y могут относиться [1]:
- а) к характеристике качества y и к влияющему на нее фактору x ;
 - б) к двум различным характеристикам качества x и y ;
 - в) к двум факторам x и y , влияющим на одну характеристику качества z .

Для выявления связи между ними и служит диаграмма разброса (рассеивания), которую также часто называют *полем корреляции* [1]. При выяснении тесноты связи между парами переменных важно прежде всего построить диаграмму рассеивания и понять ситуацию в целом.

3.6.1. Этапы построения диаграммы разброса (рассеивания)

Можно рекомендовать следующий порядок построения диаграммы разброса (рассеивания) [1, 45].

- 1. Соберите парные данные (x, y) , между которыми вы хотите исследовать зависимость, и расположите их в табл. 3.4. Было бы хорошо иметь по меньшей мере 30 пар данных.

Таблица 3.4
Данные для построения диаграммы разброса (рассеивания)

x	x_1	x_2		x_i		x_{n-1}	x_n
y	y_1	y_2		y_i		y_{n-1}	y_n

- 2. Найдите максимальные и минимальные значения для x и y . Выберите шкалы на горизонтальной и вертикальной осях так, чтобы обе длины рабочих частей осей x и y получились приблизительно одинаковыми (чтобы они уместились на экране компьютера или на стандартном листе бумаги), тогда диаграмму будет легче читать. При определении масштабов возьмите на каждой оси от 3 до 10 градационных делений и при обозначении этих делений используйте (для облегчения чтения) круглые числа. Если одна переменная — фактор, а вторая — характеристика качества, то выберите для фактора горизонтальную ось x , а для характеристики качества — вертикальную ось y .
- 3. На экране компьютера (на отдельном листе бумаги) начертите график и нанесите на него данные. Если в разных наблюдениях получаются одинаковые значения, покажите эти точки, либо рисуя концентрические кружки, либо нанося вторую точку рядом с первой.

4. Нанесите на диаграмму все необходимые обозначения, например:

- название диаграммы;
- интервал времени сбора данных;
- число пар данных;
- названия и единицы измерения для каждой оси;
- дата составления диаграммы;
- имя (и прочие данные) человека, который составлял эту диаграмму.

Убедитесь, что перечисленные выше данные, отраженные на диаграмме, понятны любому человеку, а не только тому, кто строил диаграмму.

Типичные виды диаграмм разброса (рассеивания) приведены на рис. 3.8.

После построения диаграммы рассеивания необходимо изучить связи между x и y , но для установления силы связи в количественных терминах полезно вычислить коэффициент корреляции в соответствии со следующим определением [1, 45]:

$$r = \frac{S(xy)}{\sqrt{S(xx)S(yy)}},$$

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

$$S(yy) = \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2,$$

$$S(xy) = \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y}),$$

где n — число пар данных; x_i, y_i — собранные статистические данные; $\bar{x}, \bar{y}$ — средние арифметические значения соответствующих факторов x и y ; r — коэффициент корреляции, который принимает значение из диапазона $-1 \leq r \leq 1$.

Если абсолютное значение r окажется больше 1, то совершенно ясно, что произошла ошибка и вы должны пересчитать результат.

Задание № 3.6.

В таблице приведены данные о давлении воздуха и проценте дефектов при изготовлении пластиковых емкостей. Постройте по этим данным диаграмму разброса (рассеивания).

Давление, кгс/см ²	Дефекты, %	Давление, кгс/см ²	Дефекты, %	Давление, кгс/см ²	Дефекты, %	Давление, кгс/см ²	Дефекты, %
9,2	0,889	8,6	0,912	8,9	0,905	9,3	0,928
8,7	0,884	8,7	0,895	8,8	0,892	8,9	0,908
8,4	0,874	8,5	0,896	8,8	0,877	8,9	0,886
8,2	0,891	9,2	0,894	8,4	0,885	8,3	0,881
9,2	0,874	8,5	0,864	8,7	0,866	8,7	0,912
8,7	0,886	8,3	0,922	9,2	0,896	8,9	0,904
9,4	0,911	8,7	0,909	8,6	0,896	8,7	0,872

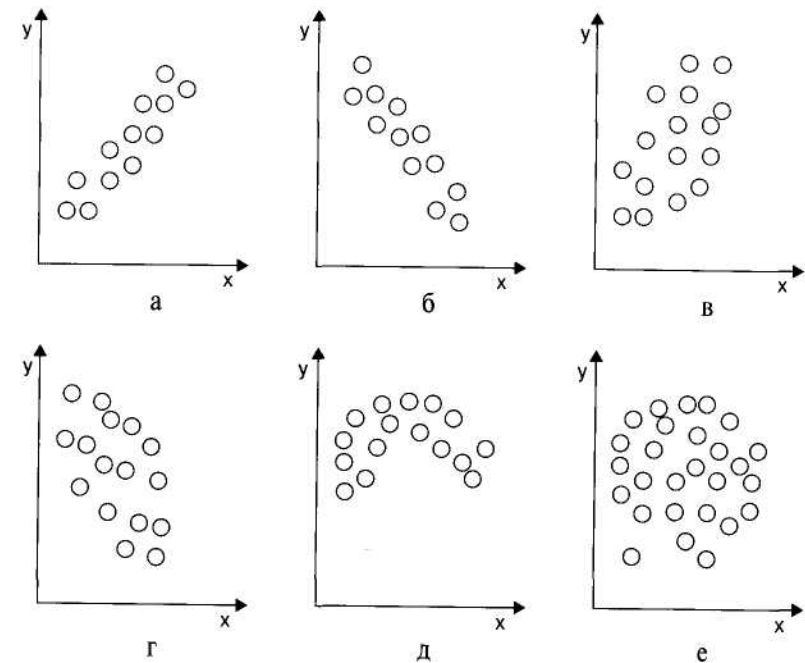


Рис. 3.8. Типичные виды диаграмм разброса (рассеивания):

- сильная положительная корреляция;
- сильная отрицательная корреляция;
- слабая положительная корреляция;
- слабая отрицательная корреляция;
- криволинейная корреляция;
- отсутствие корреляции.

3.7. Контрольные карты процессов и временные ряды

3.7.1. Понятие о временном ряде

Временные ряды [44] применяются, когда требуется самым простым способом представить ход изменения наблюдаемых данных за определенный промежуток времени.

Временной ряд предназначен для наглядного представления данных, он очень прост в построении и использовании. Точки наносятся на график в том порядке, в каком они были собраны. Поскольку они отображают изменение характеристики во времени, очень существенна последовательность данных.

Одно из наиболее эффективных применений временного ряда заключается в выявлении существенных тенденций или изменений как мгновенных (индивидуальных), так и средних значений величины, характеризующей качество

продукции. Пример построения временного ряда представлен на примере анализа сбыта (за 2000-2001 гг.).

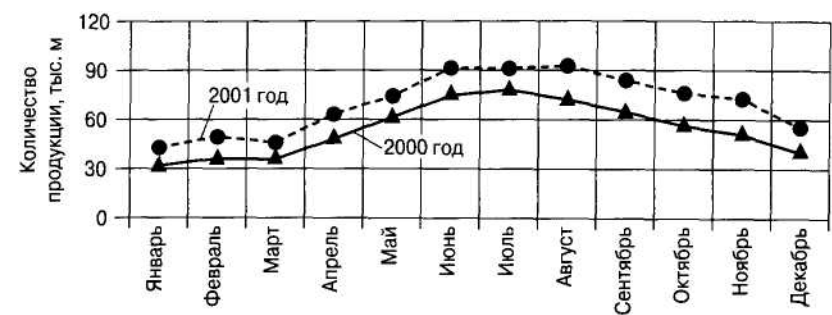


Рис. 3.9. Сравнительный анализ сбыта продукции:
_____ 2000 г.; - - - - - 2001 г.

Временные ряды могут быть очень полезны [44] при интерпретации и анализе статистических данных. Рассмотрим один из интересных случаев, иллюстрирующих успешное применение временных рядов [44].

В табл. 3.5 приведены статистические данные, описывающие протекание трех процессов.

В нижней части табл. 3.5 представлены рассчитанные значения:

- средних арифметических значений $\bar{X} = 34,9$;
- среднеквадратичных отклонений $S_n = 3,59$.

Видно, что средние арифметические значения и среднеквадратичные отклонения для всех трех процессов совпадают. В этом случае напрашивается вывод, что все три процесса можно считать одинаковыми. Многие начинающие исследователи, не имеющие опыта работы со статистическими методами обработки данных, сделали бы именно такой вывод. Однако так ли это на самом деле?

Временные ряды позволяют получить наиболее убедительный ответ на вопрос: «Являются ли три процесса, представленные в табл. 3.5 и имеющие одни и те же значения характеристик $\bar{X} = 34,9$ (и $S = 3,59$), одинаковыми?» Для этого статистические данные следует представить в виде временных рядов, приведенных на рис. 3.10.

На рис. 3.10а видно, что процесс № 1 является случайным процессом, который может быть охарактеризован средним арифметическим значением $\bar{X} = 34,9$ и среднеквадратичным отклонением $S_n = 3,59$.

Временной ряд, изображенный на рис. 3.10б, позволяет сделать вывод о том, что процесс № 2 имеет значительно меньший разброс данных (по сравнению с процессом № 1) как на протяжении первой ($S_n = 1,84$), так и второй ($S = 1,92$) своей половины протекания. На рис. 3.10б видно, что на 25—27-м шагах было осуществлено вмешательство в ход процесса № 2. В результате перенастройки процесса № 2, первоначально характеризовавшегося средним арифметическим

Таблица 3.5
Статистические данные, описывающие протекание трех процессов

№ п.п.	Процесс № 1	Процесс №2	Процесс №3
1	35	32	29
2	41	34	29
3	39	30	30
4	35	35	30
5	30	31	30
6	36	34	30
7	36	29	30
8	30	30	30
9	35	29	31
10	31	35	31
11	31	30	31
12	29	33	31
13	33	33	32
14	35	30	32
15	40	32	33
16	30	31	33
17	37	33	33
18	33	33	33
19	34	31	33
20	38	34	34
21	33	31	34
22	33	33	34
23	30	34	34
24	34	30	35
25	41	30	35
26	32	36	35

№ п.п.	Процесс № 1	Процесс №2	Процесс №3
27	39	40	35
28	37	38	35
29	39	39	36
30	41	36	36
31	34	41	36
32	33	41	36
33	37	37	37
34	30	39	37
35	35	37	37
36	34	37	37
37	39	39	37
38	40	40	38
39	38	40	38
40	36	36	39
41	37	37	39
42	31	39	39
43	40	35	39
44	30	37	39
45	36	41	40
46	31	35	40
47	32	36	40
48	39	39	41
49	29	38	41
50	37	35	41
$\bar{x}$	34,9	34,9	34,9
S_n	3,59	3,59	3,59

значением $\bar{X} = 31,9$ и среднеквадратичным отклонением $S_n = 1,84$, параметры этого процесса изменились и приобрели значения $\bar{X} = 37,9$ и $S_n = 1,92$.

Процесс № 3 представляет собой (см. рис. 3.10в) пример закономерно возрастающего изменения характеристики процесса (так называемого тренда). Этот про-

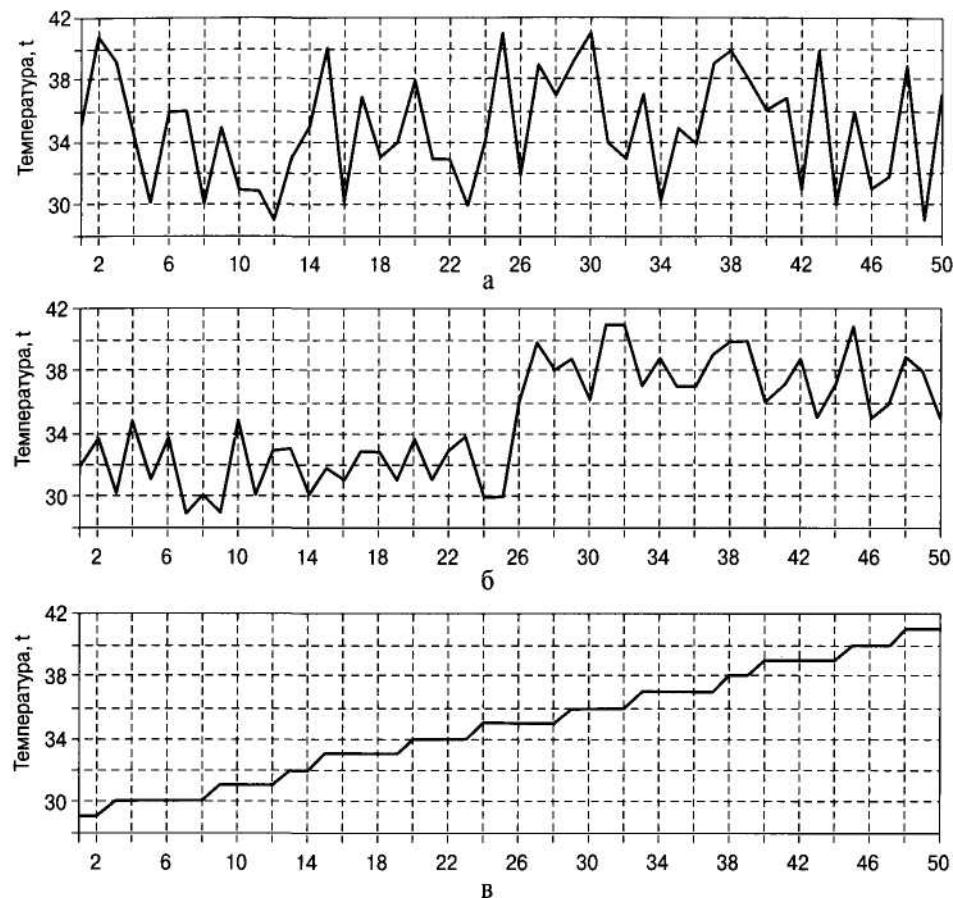


Рис. 3.10. Временные ряды, иллюстрирующие протекание трех процессов, построенные по данным второго (а) столбца; третьего (б) столбца; четвертого (в) столбца табл. 3.5.

цесс имеет относительно небольшой случайный разброс, причем для него лучше не указывать какие-либо среднее арифметическое значение и среднее квадратичное отклонение (значения $\bar{X} = 34,9$ и $S_n = 3,59$, приведенные в нижней части четвертого столбца табл. 3.5, не имеют реального физического смысла).

3.7.2. Понятие о контрольных картах

Контрольные карты [1, 8—10, 30—45] — это представление полученных в ходе технологического процесса данных в виде точек (или графика) в порядке их поступления во времени. Они позволяют контролировать текущие рабочие характеристики процесса, показывают отклонения этих характеристик от целевого или среднего значения, а также уровень статистической стабильности (устойчивости, управляемости) процесса в течение определенного времени. Их можно использо-

вать для изучения возможностей процесса, чтобы помочь определить достижимые цели качества и выявить изменения средних характеристик и изменчивость процесса, которые требуют корректирующих или предупреждающих действий.

Контрольные карты впервые были предложены в 1924 г. У. Шухартом с намерением исключить необычные вариации, т. е. отделять вариации, которые обусловлены определенными причинами, от тех, что вызваны случайными причинами.

Контрольные карты основываются на четырех положениях [1, 8—10, 15, 30—45]:

- все процессы с течением времени отклоняются от заданных характеристик;
- небольшие отклонения отдельных точек являются непрогнозируемыми;
- стабильный процесс изменяется случайным образом, но так, что группы точек этого процесса имеют тенденцию находиться в прогнозируемых границах;
- нестабильный процесс отклоняется в силу неслучайных факторов, и не случайными обычно считаются те отклонения, которые находятся за пределами прогнозируемых границ.

Контрольные карты позволяют использовать текущие данные процесса, чтобы установить статистически нормальные рабочие границы (границы регулирования), в которых должны находиться характеристики процесса.

Постоянное использование контрольной карты может помочь определить факторы, вызывающие отклонения процесса от заданных требований, и исключить их влияние.

Результаты измерений характеристики процесса в течение определенного времени сравниваются с требованиями к процессу для установления того, что контролируемая характеристика процесса [1, 8—10, 30, 38—45]:

- выходит за установленные границы поля допуска, но размах R (разброс параметров) процесса не превышает ширины поля допуска, что сохраняет возможность удовлетворить требования потребителя путем наладки или настройки процесса, например, за счет совмещения среднего арифметического значения $\bar{X}$ характеристики процесса с серединой поля допуска CL ;
- выходит за установленные границы поля допуска, причем среднее значение $\bar{X}$ близко к середине поля допуска CL , а размах R (разброс параметров) процесса превышает ширину поля допуска, что не позволяет удовлетворить требования потребителя (необходимо улучшение процесса, а именно: уменьшение размаха R за счет использования более точного станка или уменьшения влияния внешних факторов, вызывающих повышенную изменчивость процесса);
- среднее значение $\bar{X}$ характеристики процесса далеко от середины поля допуска CL и величина размаха R превышает ширину поля допуска (для улучшения качества процесса требуется как его настройка/наладка, так и уменьшение размаха (разброса) характеристики процесса).

При разработке контрольной карты самым важным является способ определения *контрольных границ*. Для этого необходимо собрать большое количество данных (называемых предварительными данными), характеризующих состояние процесса, и на их основе рассчитать (по установленным формулам) контрольные границы. В производственной практике используются различные виды контрольных карт, отличающиеся друг от друга характером используемых данных.

Существуют два класса контрольных карт: один — для непрерывных значений, а второй — для дискретных. Сведения об основных типах контрольных карт [1, 8, 33, 37—43, 45] приведены в табл. 3.6.

Приведенная в табл. 3.6 классификация контрольных карт требует некоторых пояснений.

Контрольная карта индивидуальных (измеряемых) значений (x-карта) строится следующим образом (рис. 3.11).

Таблица 3.6
Основные типы контрольных карт

Значения характеристики (показателя качества)	Название
Непрерывные значения	x-карта (индивидуальных значений x_i , карта измеряемых значений) ($\bar{X}$ — S)-карта (средних значений $\bar{X}$ и среднеквадратичных отклонений S) ($\bar{X}$ — R)-карта (средних значений $\bar{X}$ и размахов R) ($\tilde{x}$ — R)-карта (медиан $\tilde{x}$ и размахов R) ($\tilde{x}$ — S)-карта (медиан $\tilde{x}$ и среднеквадратичных отклонений S)
Дискретные значения	p-карта (для контроля доли несоответствующих (дефектных) изделий в подгруппе) np-карта (для контроля числа несоответствующих (дефектных) изделий в подгруппе определенного объема n) с-карта (для контроля числа несоответствий (дефектов) в подгруппе) u-карта (для контроля числа несоответствий (дефектов), приходящихся на единицу продукции в подгруппе)

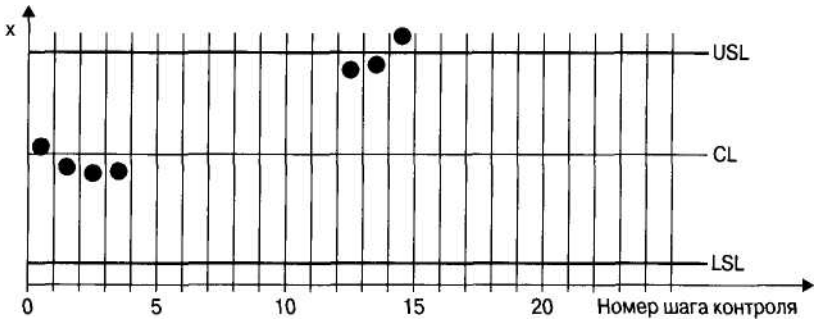


Рис. 3.11. Пример контрольной x-карты индивидуальных значений.

Через определенный промежуток времени (на очередном шаге контроля) рабочий снимает с конвейера по одной детали, измеряет значение x их характеристики качества и на бланке контрольной карты точками (крестиками, кружочками или другими значками) отмечает значение этой характеристики (см. рис. 3.11).

Если эти значки группируются вблизи середины $x = CL$ поля допуска и не выходят за пределы верхней USL и нижней LSL границ поля допуска, то это означает, что процесс протекает в управляемых условиях. Если же на каком-либо шаге контроля эти значки приблизятся или даже выйдут за пределы поля допуска (см. шаги № 13, 14, 15 на рис. 3.11), то это означает, что оператор должен вмешаться в ход процесса (произвести подстройку процесса, заменить износившийся инструмент и т. п.).

Опыт практической работы с x-картами показал, что они не всегда удобны в работе. Поэтому вместо карт индивидуальных значений (x-карт) чаще используют ($\bar{X}$ -S)-, ($\bar{X}$ -R)-, ($\tilde{x}$ -R)-карты; ($\tilde{x}$ -S)-карты на практике используются очень редко.

Рассмотрим обозначения x , S , $\tilde{x}$, R , использованные в табл. 3.6. Они имеют следующий смысл:

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$
 — среднееарифметическое значение характеристик

качества $x_1, x_2, \dots, x_n$, измеренных рабочим на очередном шаге контроля;

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

качества $x_1, x_2, \dots, x_n$, измеренных рабочим на очередном шаге контроля.

В современных условиях контроля производственных процессов (с использованием компьютеров) вычисление среднего арифметического $\bar{x}$ и среднеквадратичного отклонения S не вызывает затруднений. Однако при внедрении контрольных карт на японских заводах в 50-е гг. XX в. компьютеров, пригодных для контроля производственных процессов, еще не было.

Поэтому вместо среднего арифметического значения $\bar{x}$ удобнее было использовать так называемую медиану $\tilde{x}$, значение которой определяется намного проще (без каких-либо вычислений). Если полученные при измерениях значения $x_1, x_2, \dots, x_n$, характеристики качества расположить в возрастающем или убывающем порядке, то при нечетном числе измерений n медианой будет значение, занимающее срединное положение в этом ряду. При четном числе n медиана $\tilde{x}$ будет равна среднему арифметическому двух значений, расположенных в середине ряда.

При использовании медианы $\tilde{x}$ вместо среднего арифметического значения $\bar{x}$ целесообразно производить нечетное количество измерений. Аналогично вместо среднеквадратичного отклонения $S = S_n$ оказалось удобнее использовать так называемый размах $R = x_{\max} - x_{\min}$, т. е. разность между

наибольшим $x_{\max}$ и наименьшим $x_{\min}$ значениями из ряда наблюдений $x_1, x_2, \dots, x_n$, выполненных на очередном шаге контроля. Правомерность замены средне-квадратичного отклонения $S = S_n$ размах R обоснована в работе [30] результатами расчета теоретического коэффициента корреляции между R и S , который оказался равен 0,977. Поэтому при использовании статистических методов управления качеством рассеивание процесса можно контролировать с помощью R -карты вместо S -карты.

Сведения о np -, p -, c - и u -картах приведены в правой части табл. 3.6 и в специальной литературе [1, 8, 38, 45].

Задание № 3.7.

На очередном шаге контроля на двух рабочих местах получены:

1) пять значений характеристики качества:

$$x_1 = 173,3 \text{ мм}; x_2 = 173,2 \text{ мм}; x_3 = 173,5 \text{ мм}; x_4 = 173,1 \text{ мм}; x_5 = 173,4 \text{ мм};$$

2) шесть значений характеристики качества:

$$x_1 = 293,3 \text{ мм}; x_2 = 293,2 \text{ мм}; x_3 = 293,5 \text{ мм}; x_4 = 293,1 \text{ мм}; x_5 = 293,4 \text{ мм}; x_6 = 293,1 \text{ мм}.$$

Для первого и второго случая найдите значение $\bar{x}$, $\bar{R}$, S и R .

3.7.3. Основные этапы построения контрольных карт

Рассмотрим этапы построения контрольной карты на примере $(\bar{x}-R)$ -карты. Эта карта используется для анализа и управления процессами, показатели качества которых представляют собой непрерывные величины (длина, вес, концентрация) и несут наибольшее количество информации о процессе. Величина $\bar{x}$ — есть среднее арифметическое значение для подгруппы, а R — выборочный размах для той же подгруппы. Обычно R -карту используют (вместе с $\bar{x}$ -картой) для контроля и управления разбросом (размахом) внутри подгруппы.

Перед практическим использованием $(\bar{x}-R)$ -карты необходимо подготовить бумажный бланк (или графические формы для отображения контрольной карты на экране компьютера), на котором эта контрольная карта будет изображаться (рис. 3.12). Для этого надо собрать данные о качестве протекания процесса и обработать их так, как это рассмотрено ниже [1, 8, 38, 45].

1. Сбор данных.

Пример результатов сбора исходных данных для построения контрольной карты типа $(\bar{x}-R)$ приведен в табл. 3.7.

2. Вычисление средних арифметических значений $\bar{x}_k$ для каждой k -й подгруппы наблюдаемых значений:

$$\bar{x}_k = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i = \frac{(x_1 + x_2 + \dots + x_n)}{n}.$$

Результат $\bar{x}_k$ обычно подсчитывается с одним лишним десятичным знаком по сравнению с исходными данными $x_1, x_2, \dots, x_n$.

Примечания:

1. Для получения этих данных рабочий периодически (например, раз в час или после изготовления определенного количества деталей) снимает с производственного потока n деталей, измеряет их размеры $x_1, x_2, \dots, x_n$ и для каждой подгруппы вычисляет среднее значение $\bar{x}_k$.
2. Приведенные в табл. 3.7 данные содержат по пять значений в каждой подгруппе, что соответствует $n = 5$.
3. Вычисление общего среднего значения $\bar{\bar{x}}$ по всем имеющимся подгруппам данных по формуле:

$$\bar{\bar{x}} = \frac{1}{K} \sum_{k=1}^K \bar{x}_k = \frac{(\bar{x}_1 + \bar{x}_2 + \dots + \bar{x}_K)}{K}.$$

путем деления итога столбца $\bar{x}_k$ на число подгрупп K .

Результат $\bar{\bar{x}}$ надо вычислять с одним дополнительным знаком по сравнению с ранее вычисленными значениями $\bar{x}_k$ (с двумя лишними знаками по сравнению с измеренными значениями $x_1, x_2, \dots, x_n$).

Примечание. Приведенные в табл. 3.7 данные содержат пять подгрупп, что соответствует $K = 5$.

4. Вычисление размаха R_k в каждой подгруппе путем вычитания минимального значения в подгруппе из максимального

$$R_k = x_{\max} - x_{\min}.$$

5. Вычисление среднего арифметического значения размахов $\bar{R}$ для всех подгрупп данных

$$\bar{R} = \frac{1}{K} \sum_{k=1}^K R_k = \frac{(R_1 + R_2 + \dots + R_K)}{K}$$

Таблица 3.7
Данные для подготовки к построению $(\bar{x}-R)$ -карты [45]

Номер под-группы	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	$\sum_{i=1}^5 x_i$	$\bar{x}_k$	R_k
1	47	32	44	35	20	178	35,6	27
2	19	37	31	25	34	146	29,2	18
3	19	11	16	11	44	101	20,2	33
4	29	29	42	59	38	197	39,4	30
5	28	12	45	36	25	146	29,2	33
Итого							153,6	141
Средние значения							$\bar{\bar{x}} = 30,72$	$\bar{R} = 28,20$

путем деления итога столбца размахов R_k для всех подгрупп на их число K . Этот результат надо вычислять с двумя лишними знаками по сравнению с измеренными значениями $x_1, x_2, \dots, x_n$.

6. Вычисление контрольных линий.

Вычислите значения, характеризующие положение каждой контрольной линии для $\bar{X}$ -карты и для R -карты по следующим формулам:

$\bar{X}$ -карта — Центральная линия (Central Line) $CL = \bar{\bar{x}}$.

Верхний контрольный предел (Upper Control Limit) $UCL = \bar{\bar{x}} + A_2R$.

Нижний контрольный предел (Lower Control Limit) $LCL = \bar{\bar{x}} - A_2R$.

R -карта — Центральная линия $CL = \bar{R}$.

Верхний контрольный предел (уровень) $UCL = D_4\bar{R}$.

Нижний контрольный предел (уровень) $LCL = D_3\bar{R}$.

Нижний предел не рассматривается, когда $n < 7$.

Константы A_2, D_4, D_3 — коэффициенты, определяемые объемом подгрупп n , приведены в табл. 3.8, заимствованной из [37].

Таблица 3.8 Коэффициенты для вычисления контрольных линий $\bar{X}$ -карт и R -карт [37]

Объем подгруппы, n	A_2	D_3	D_4	d_2
2	1,880	—	3,267	1,128
3	1,023	—	2,575	1,693
4	0,729	—	2,282	2,059
5	0,577	—	2,115	2,326
6	0,483	—	2,004	2,534
7	0,419	0,076	1,924	2,704
8	0,373	0,136	1,864	2,847
9	0,337	0,184	1,816	2,970
10	0,308	0,223	1,777	3,078

7. Нанесение контрольных линий.

Приготовьте лист бумаги в клеточку, затем нанесите слева вертикальные оси со значениями $\bar{X}$ и R и горизонтальные оси с номерами подгрупп. Разметьте верхний USL и нижний LSL пределы так, чтобы между ними оказалось 30—50 мм. Центральную линию CL начертите сплошной линией, а контрольные пределы — пунктирными линиями. Нанесите также на $\bar{X}$ -карту (жирными сплошными линиями) значения верхней USL и нижней LSL границ поля допуска (если эти значения USL и LSL имеются).

8. Нанесение точек.

Выберите и разметьте масштабы по осям $\bar{X}$ и R , а по каждой горизонтальной оси нанесите номера подгрупп с небольшим интервалом 2—5 мм. Для удобства дальнейшего одновременного использования $\bar{X}$ -карты и R -карты можно рекомендовать нанесение тонких вертикальных линий для обозначения границ интервалов каждой подгруппы, причем эти тонкие линии должны проходить непрерывно через всю $(\bar{X}-R)$ -карту, так, как это показано на рис. 3.12.

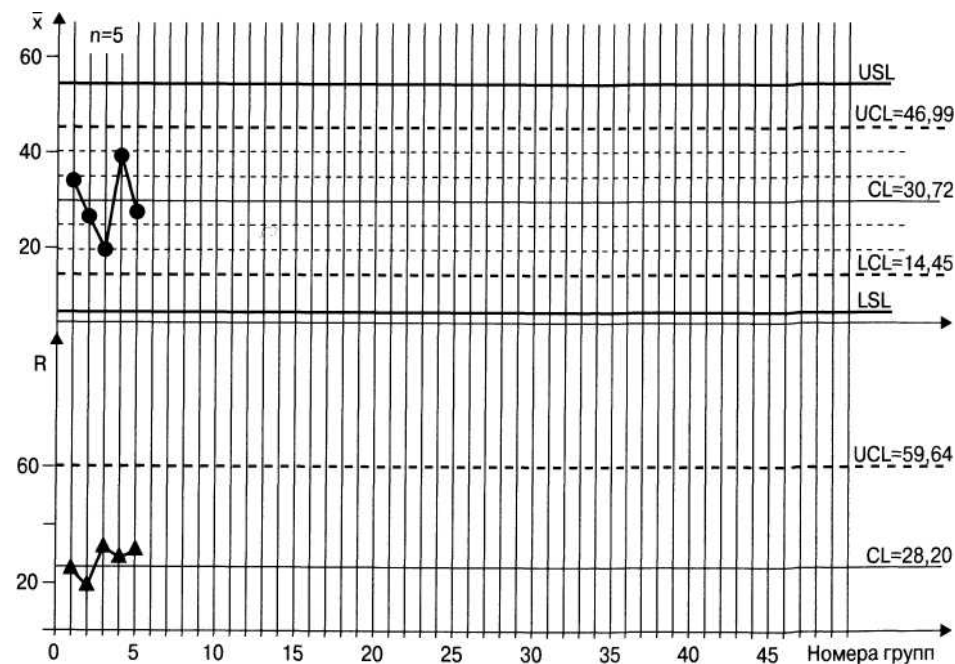


Рис. 3.12. Форма бланка $(\bar{X}-R)$ -карты.

Чтобы легче было различать $\bar{X}$ и R , возьмем для изображения $\bar{X}$ один вид значка (например, точку), а для R — другой (например, крестик), а для тех значений, которые выходят за пределы контрольных линий, — кружочки.

9. Запишите необходимую информацию, например, объем подгрупп ($n = 5$) в верхнем левом углу $\bar{X}$ -карты. Запишите также и другие необходимые сведения, имеющие отношение к изучаемому процессу, такие как название процесса и продукции, период времени ведения контрольной карты, метод измерения, условия работы, смена, сведения о рабочем и т. п.

Внимание!

На этом процесс подготовки формы (бланка) контрольной карты заканчивается.

Рассмотрим пример построения контрольной карты с использованием данных, приведенных в табл. 3.7.

Из таблицы видно, что для первой подгруппы

$$\bar{X}_1 = (47+32+44+35+20)/5 = 35,6;$$

$$R = 47-20 = 27.$$

Выполнив аналогичные подсчеты для других подгрупп, вычислим:

сначала

$$\bar{\bar{x}} = (35,6+29,2+20,2+39,4+29,2)/5 = 30,72;$$

$$\bar{R} = (27+18+33+30+33)/5 = 28,2,$$

а затем определим для $\bar{X}$ -карты

$$CL = \bar{\bar{x}} = 30,72;$$

$$UCL = \bar{\bar{x}} + A_2 \bar{R} = 30,72 + (0,577 \times 28,2) = 46,99;$$

$$LCL = \bar{\bar{x}} - A_2 \bar{R} = 30,72 - (0,577 \times 28,2) = 14,45$$

и для R -карты

$$CL = \bar{R} = 28,2;$$

$$UCL = D_4 \bar{R} = 2,115 \times 28,2 = 59,64;$$

$$LCL = D_3 \bar{R} \text{ не рассматривается, так как } n = 5 < 7.$$

Используя полученные данные, строим контрольную карту. Обратите внимание, что интервалы ($UCL - CL$) и ($CL - LCL$) следует разделить на три равные части, например, так, как это показано на рис. 3.12.

3.7.4. Использование контрольных карт при контроле и регулировании процессов

Что важнее всего в процессе управления, так это точное понимание положения объекта управления с помощью чтения контрольной карты и быстрое осуществление подходящих действий, как только в объекте обнаружится что-нибудь необычное [45]. Контролируемое состояние объекта — это такое состояние, когда процесс стабилен, а его среднее значение $\bar{X}$ и разброс данных (размах R) не меняются (остаются близкими к $\bar{\bar{x}}$ и $\bar{R}$, т. е. не выходят за пределы верхнего UCL и нижнего LCL контрольных уровней). Находится ли процесс в контролируемом состоянии или нет, определяется по контрольной карте, на основании которой осуществляется либо простой контроль без вмешательства в ход процесса (когда процесс идет успешно), либо воздействие на процесс (его регулирование) при отклонении условий протекания процесса от нормальных.

Одной из предпочтительных рекомендаций оператору, осуществляющему управление процессом с использованием контрольной карты, может быть следующая: «Не дергайся понапрасну, не вмешивайся в ход процесса без доста-

точных на то оснований». Дело в том, что во многих случаях неопытные операторы, увидев незначительное отклонение хода процесса от центральной линии CL , стараются «улучшить» ход процесса. На самом деле эти действия (существует жаргонный термин — попытки «пощипать» процесс) приводят к резкому ухудшению качества процесса (с точки зрения теории автоматического управления происходит «раскачивание» процесса, что увеличивает отклонения $\bar{X}$ и R от центральных линий). В теории управления качеством операторам рекомендуется осуществлять вмешательство в ход процесса только при появлении на контрольной карте следующих сигнальных признаков [9, 39, 40, 45], проиллюстрированных на рис. 3.13.

1. Одна или более точек оказались за верхним или нижним контрольными пределами (рис. 3.13а).
2. Серия из семи или более точек сразу оказалась с одной стороны от центральной линии (рис. 3.13б).

В данном случае под серией понимается проявление такого состояния процесса, когда ряд точек неизменно оказывается по одну сторону от средней линии. Серия длиной в семь точек рассматривается как ненормальная.

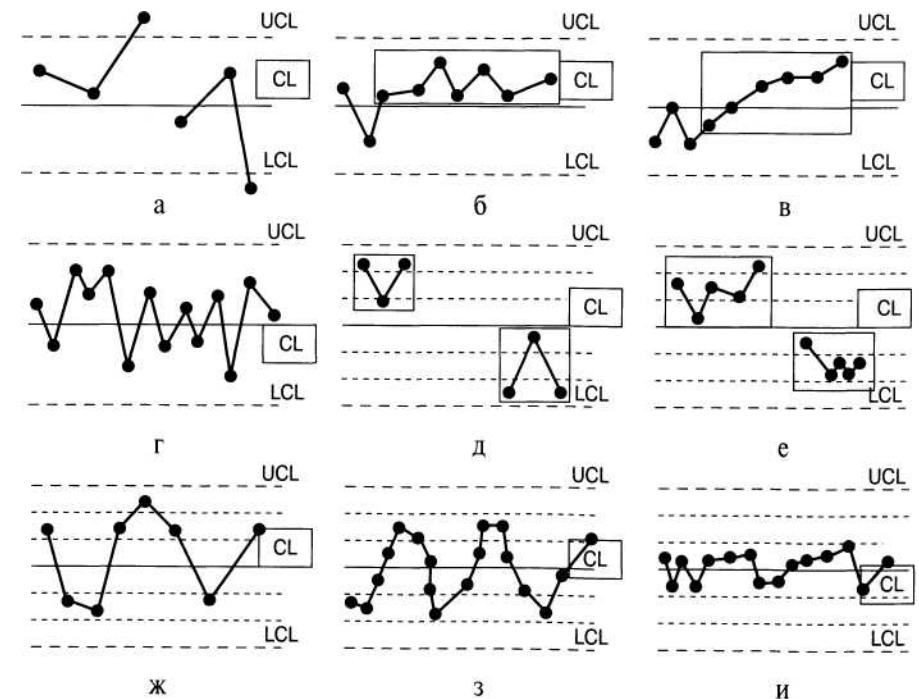


Рис. 3.13. Сигнальные признаки, свидетельствующие о неслучайном характере появившихся отклонений характеристики качества процесса.

- Примечание.** Даже если длина серии оказывается менее семи или даже менее шести точек, в ряде случаев ситуацию следует рассматривать как ненормальную, например, когда:
- а) не менее 10 из 11 точек оказываются по одну сторону от центральной линии;
 - б) не менее 12 из 14 точек оказываются по одну сторону от центральной линии;
 - в) не менее 16 из 20 точек оказываются по одну сторону от центральной линии.
3. Шесть или более точек подряд образуют ряд непрерывно возрастающих (убывающих) значений (рис. 3.13в).
Если точки образуют непрерывно повышающуюся или понижающуюся кривую, говорят, что имеет место тренд (дрейф). Это сигнализирует о ненормальности технологического процесса (изменение характеристики качества процесса происходит не из-за случайных вариаций условий протекания процесса, а из-за проявления неслучайной (специальной) причины, приводящей к изменению условий протекания процесса). Например, при обработке детали на токарном станке появление тренда (дрейфа) может быть вызвано повышенным износом резца. При этом оператор должен заменить резец на новый, чтобы не допустить выход характеристики качества процесса за контрольные пределы LCL или UCL .
4. Четырнадцать точек скажут вверх-вниз (рис. 3.13г).
При работе на токарном станке этот сигнальный признак может свидетельствовать о том, что ослабло крепление резца. Оператор должен проверить это предположение и при необходимости закрепить инструмент.
5. Две из трех точек подряд оказались в крайней трети диапазона контрольных пределов (приближение к контрольным пределам UCL и LCL) (рис. 3.13д).
Рассматриваются точки, которые располагаются в крайних трехсигмовых зонах контрольных пределов, причем если две из трех точек оказываются за двухсигмовыми линиями, то такой случай надо рассматривать как ненормальный, требующий анализа и вмешательства в ход процесса.
6. Четыре из последовательных пяти точек находятся с одной стороны от центральной линии и не попадают в центральную треть диапазона контрольных пределов (рис. 3.13е). Оператору совместно с технологом следует выяснить причины такой ненормальной ситуации и принять меры для их устранения.
7. Восемь точек расположены с двух сторон от средней линии, ни одна из которых не попадает в центральную треть диапазона контрольных пределов (рис. 3.13ж).
Оператору следует самостоятельно или с помощью инженера-технолога найти и устранить ненормальное протекание процесса.
8. Периодичность изменения контролируемой характеристики качества процесса (рис. 3.13з).

- Если точки укладываются на кривую, имеющую повторяющуюся форму (структуру) «то подъем, то спад» с примерно одинаковыми интервалами (периодами) времени, это тоже ненормально. Оператору и технологу следует найти и устранить причины этой ненормальности.
9. Пятнадцать точек подряд оказались в пределах центральной трети диапазона контрольных пределов (рис. 3.13и).
При проведении занятий со студентами или с инженерами промышленных предприятий после формулирования этого сигнального признака преподаватели часто задают вопрос: «Что в этом случае надо делать?» Наиболее часто поступают ответы, сводящиеся к следующему: «Делать ничего не надо, так как процесс идет хорошо».
- Японские и западноевропейские специалисты по качеству с этим не согласны. Они считают, что в этой ситуации нельзя бездействовать. Оператору необходимо срочно пригласить инженеров-технологов, так как в этот промежуток времени сложились очень благоприятные условия для проведения процесса. Эти условия следует зафиксировать, а затем превратить в нормативные (стандартные) условия осуществления этого процесса в будущем.
- После этого придется пересчитать уменьшившееся среднее значение размахов $\bar{R}$ и, возможно, изменившееся значение $\bar{\bar{x}}$. Затем следует определить новые значения контрольных пределов UCL , LCL и подготовить новую форму контрольной карты, с помощью которой будет осуществляться дальнейший контроль и регулирование процесса.

Примечание. По мнению авторов книги [45], приближение большинства точек к центральной линии иногда может не означать, что достигнуто контролируемое состояние процесса. Напротив, если точки лежат в пределах полутора третей диапазона контрольных пределов, например

$$CL - 1/2(CL - LCL) < X < CL + 1/2(UCL - CL),$$

то это может быть следствием того, что в подгруппах смешиваются данные из различных распределений, что делает размах контрольных пределов ($UCL - LCL$) слишком широким. В этом случае следует [45] изменить способ разбиения на подгруппы.

Задание № 3.8.

Постройте временной ряд по данным, указанным в таблице.

Месяцы	Выпуск в 2000 г.	Выпуск в 2001 г.	Месяцы	Выпуск в 2000 г.	Выпуск в 2001 г.	Месяцы	Выпуск в 2000 г.	Выпуск в 2001 г.
Январь	15300	30000	Май	26600	46000	Сентябрь	45300	56600
Февраль	17500	23000	Июнь	30200	65000	Октябрь	49100	43300
Март	10200	43000	Июль	30500	46400	Ноябрь	35500	20577
Апрель	34800	26000	Август	12700	56200	Декабрь	63100	10800

Задание №3.9.

По данным, приведенным в таблице, постройте форму ($\bar{x}$)-карты и проанализируйте технологический процесс.

Номер подгруппы	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	Σx	$\bar{x}$	R
1	47	32	44	35	20			
2	19	37	31	25	34			
3	19	11	16	11	44			
4	29	29	42	59	38			
5	28	12	45	36	25			
6	32	27	43	47	25			
7	45	18	32	19	36			
8	67	33	31	19	37			
9	31	30	12	29	46			
10	36	33	13	28	32			
11	37	20	25	32	25			
12	46	34	36	45	36			
13	32	44	37	67	37			
14	47	38	46	14	46			
15	34	25	32	43	32			
Итого								
Средние значения							$\bar{x} =$	$\bar{R} =$

3.8. Контрольные вопросы

1. Что такое «статистические методы и инструменты»?
2. Каковы области применения статистических методов в управлении качеством продукции?
3. Какие статистические методы контроля и анализа вы знаете?
4. Что такое контрольный листок и для чего он предназначен?
5. Какие виды контрольных листков вы знаете?
6. Расскажите об основных этапах сбора данных при заполнении контрольного листка.
7. Какие символы используют при заполнении контрольных листков?
8. Что такое гистограмма и для чего она применяется?
9. Расскажите об основных этапах построения гистограммы.
10. Поясните порядок вычисления основных характеристик качества процесса по гистограмме:
 - индекса P_p пригодности процесса удовлетворять технический допуск (без учета положения среднего значения);
 - показателя k настроенности процесса на целевое значение;
 - индекса P_{pk} пригодности процесса удовлетворять технический допуск с учетом положений среднего значения;
 - индекса C_p воспроизводимости процесса, оценивающего возможность удовлетворять технический допуск без учета положения среднего значения $\bar{x}$ и применяемого для стабильных по разбросу процессов;
 - индекса C_{pk} воспроизводимости процесса, оценивающего возможность удовлетворять технический допуск с учетом фактического положения среднего значения $\bar{x}$ и применяемого для стабильных и по разбросу, и по настройке процессов.
11. Расскажите об основных формах (видах) гистограмм.
12. Расскажите об использовании гистограмм при оценке и анализе качества процессов.
13. Расскажите о содержании и области применения метода расщепления (группировки, стратификации).
14. В чем заключается использование мнемонического приема 4М ... 6М?
15. Поясните содержание основных этапов выполнения стратификации.
16. Приведите пример успешного применения метода стратификации.
17. Кто первый предложил причинно-следственную диаграмму?
18. Расскажите о том, как графически изображается причинно-следственная диаграмма?

19. Поясните содержание основных этапов построения причинно-следственной диаграммы.
20. Поясните, как может быть использована «мозговая атака» при построении диаграммы Исикавы.
21. Перечислите основные советы по построению диаграммы Исикавы.
22. Расскажите об основных советах по использованию диаграммы Исикавы.
23. Что такое диаграмма Парето и почему она так называется?
24. Расскажите об основных этапах построения диаграммы Парето.
25. Перечислите основные советы по построению диаграммы Парето.
26. Поясните основные рекомендации по использованию диаграммы Парето.
27. Что такое диаграмма разброса (рассеивания) и для чего она может быть использована?
28. Перечислите основные этапы построения диаграммы разброса (рассеивания).
29. Какие числовые характеристики могут быть вычислены по таблице парных данных при работе с диаграммой разброса (рассеивания)?
30. Что такое временной ряд и для чего он строится?
31. Что такое контрольные карты и для чего они могут быть использованы?
32. Какие виды контрольных карт вы знаете?
33. Расскажите об основных этапах построения ($\bar{X}$ — R)-карты.
34. В чем состоит основная рекомендация оператору, которой он должен следовать при управлении процессом с применением контрольной карты?