

## 5 УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА

В настоящее время полное соответствие выпускаемой продукции техническому уровню и требования качества позволяет производителю рассчитывать на «захват» доли рынка и получение прибыли. Однако качество продукции формируется на основе базы (модели) и технологии ее производства. Поэтому и качеству технологического процесса изготовления продукции следует уделять должное внимание.

Контроль качества был известен еще до нашей эры. Тогда ответственность за качество продукции нес сам ремесленник. Во времена промышленной революции функция управления перешла от человека, выполнявшего работу, к управляющему, что сохранилось и до наших дней. Во время первой мировой войны при контроле качества свое развитие получили методы отбора образцов, а также методы статистики, используемые для наблюдения за качеством и управления им.

Однако уже после второй мировой войны рост издержек в промышленности привел к сокращению ее уровня рентабельности. Возникли трудности в нахождении рынков сбыта, которые, в свою очередь, стали более конкурентными. Этому также способствовало бурное развитие новых технологий, которые находили, практически сразу, свое применение в промышленном производстве. Стала очевидной нелепость продолжения попыток управлять качеством после того, как продукция была произведена. Пришли к пониманию того, что предотвращение дефектов до и во время производственного процесса приведет к значительному сокращению издержек производства, а, следовательно, и к значительной экономии. Появляется понятие «обеспечение качества», ключевым словом становится «**предотвращение**» вместо «**обнаружение**».

Поэтому в данной главе рассмотрим понятие «**контроль**» в более широком смысле, т.е. как **управление**, и не просто управление, а управление технологическим процессом изготовления продукции с целью обеспечения ее изготовления в нужном количестве, заданного технического уровня и качества.

Такой подход к управлению технологическим процессом основан на знаменитых 14 принципах Э.Деминга, в которых объединены как инженерные методы обеспечения качества, так и организационные методы менеджмента, а именно:

1. Всегда стремиться к улучшению продукции и услуг.
2. Отказ от старой философии производства дефектной продукции.

3. Разрушение зависимости контроля от достигнутого уровня качества.
4. Отказ от поощрения работы по ее начальной стоимости.
5. Всегда и всюду поддерживать любую инициативу.
6. Обучать и воспитывать персонал, в том числе и управляющих.
7. Организовать наблюдение.
8. Избегать утрашения.
9. Ломать «барьеры» между подразделениями.
10. Отбросить лозунги и призывы.
11. Отменить рабочие стандарты, предписывающие количественные доли отбора.
12. Ликвидировать препятствия, лишаящие рабочего его права гордиться результатами своего труда.
13. Создать эффективную программу обучения и переподготовки кадров.
14. Обязать каждого в компании работать в группах по совершенствованию организации.

Один из базовых принципов управления качеством состоит в принятии решений на основе выявленных фактов. Наиболее корректно данный принцип реализуется методом математического моделирования процессов. Однако современные статистические методы моделирования сложны для восприятия широкому кругу пользователей и требуют специальной математической подготовки. Поэтому к 1979 г. Союз японских ученых и инженеров собрал семь довольно простых статистических методов анализа и контроля производственных процессов. Данные методы сохраняют свою связь со статистикой, и в то же время понятны в применении человеку, не имеющему специального математического образования.

Рассмотрим более подробно эти семь методов.

### 5.1 Контрольные листки, стратификация

Все изделия, имеющие дефекты, появляются вследствие некоторых причин. Выявив данные причины и устранив их, мы сможем снизить процент бракованных изделий. Несмотря на многообразие технологических процессов, основной причиной появления дефектных изделий является **изменчивость**, [15]. Любой технологический процесс включает в себя пять основных элементов: человек, машина, материал, метод и измерение. Названия всех этих пяти элементов в английском языке начинается с буквы «М»: *man, machine, material, method, measurement*. Поэтому систему технологического процесса часто называют системой «5М». В

каждом элементе мы наблюдаем изменения, которые часто являются случайными.

Физические способности, мастерство рабочих, состояние самочувствия у рабочего в различные рабочие дни, индивидуальные отличия рабочих (высокий или худой; левша и т.д.) оказывают влияние на изменение качества изделий.

Износ, разбалансировка, увеличение люфтов под действием рабочих нагрузок и т.д. в машинах и механизмах, задействованных в конкретном технологическом процессе, также приводят к изменениям качества изготовленных изделий.

Изменения в свойствах материалов также отражаются на точности и качестве изготовленных изделий. Такие изменения могут быть, например, в химическом составе и механических свойствах металлического проката, полученного предприятием от различных поставщиков, или от одного поставщика, но различными партиями в течение определенного времени.

Если на предприятии используется один и тот же метод изготовления продукции, то это не означает, что в нем не могут происходить изменения. Например, при механической обработке заготовок на металлорежущих станках в процессе обработки происходит износ режущих кромок инструмента, что обуславливает потерю точности обработанного изделия. Консистенция смазочно-охлаждающей жидкости, ее химический состав при изменении температуры процесса резания металла изменяется, что может отразиться на величине дефектного поверхностного слоя изделия, т.е. на его качестве.

Изменения в контроле не имеют прямого отношения к качеству продукции, но эти изменения влияют на принятие решения о годности изделия. Кроме того, как было показано в главе 4, контроль (как проверка соответствия установленной норме) основан на измерении, результат которого всегда является случайным.

Таким образом, технологический процесс можно рассматривать как некоторую **совокупность причин изменчивости**.

Все причины изменений качества продукции классифицируют на две группы:

1. Немногочисленные существенно важные.
2. Многочисленные несущественные.

Наша задача состоит в том, чтобы выявить первые причины с последующим их устранением. Выполнить это можно, применяя статистические методы анализа данных и управления технологическим процессом.

Для этого необходимо собрать исходные данные. Цели сбора данных могут быть следующие:

- управление технологическим процессом;
- анализ отклонений от установленных требований;
- контроль продукции.

После установления цели сбора данных определяют те сравнения, которые необходимо будет сделать впоследствии, например, установить различия в качестве продукции, выпускаемой на одном станке, но различными операторами. Другими словами, при сборе данных уже следует их классифицировать на несколько подгрупп с целью дальнейшей обработки. Такое разделение группы данных на подгруппы по определенному признаку называется **расслоением**, или **стратификацией**. В основном стратификация – это процесс сортировки данных согласно некоторым критериям или переменным, результаты которой часто представляются в виде диаграмм или графиков.

Упорядочение данных является важным моментом при их сборе. Во-первых, необходимо регистрировать источник данных (день недели, номер смены, станок, рабочий, партия исходных материалов и т.д.); во-вторых, регистрация данных должна позволять легко их использовать в дальнейшем анализе. Данным требованиям удовлетворяют **контрольные листки**, каждый из которых представляет собой бланк, на котором заранее нанесены контролируемые параметры.

Приведем некоторые типы контрольных листков:

1. Контрольный листок для регистрации распределения измеряемого параметра в ходе технологического процесса.

Например, контролируются изменения делительного диаметра зубчатого колеса после термической обработки. Контролируемый размер по чертежу составляет  $190_{-0,46}$  мм. Для наглядности контроля и сравнения реальных размеров с нормой обычно используют гистограмму. Поэтому и контрольный листок также имеет вид гистограммы, рис. 5.1.

2. Контрольный листок для регистрации видов дефектов.

В таких листках указываются возможные дефекты с суммированием общего числа дефектов, а также указывается общее число забракованных изделий, рис.5.2.

3. Контрольный листок локализации дефектов.

В таких листках имеются эскизы деталей, которые разбиваются на зоны, например, по секторам круга в диаметральном сечении (обозначаются, например, буквенными символами, зоны А, Б, В, ...) и по длине детали (обозначаются соответственно цифрами 1, 2, 3, ...). Дефекты отмечаются в матрице их расположения в

соответствии с принятыми зонами детали, например, раковины находятся в зонах А1; Б3; Б6, трещины – зонах В2, Г5 и т.д.

Наименование документа		Контрольный листок распределения длины общей нормали						
<b>Предприятие:</b> АО «РМЗ» <b>Цех:</b> № 5 <b>Участок:</b> № 3		<b>Изделие:</b> колесо зубчатое 743-56АБМ <b>Операция:</b> термообработка <b>Контролер:</b> Петров С.И.					<b>К-во деталей:</b> 17	
Размер	Замеры							Частота
	2		4		6			
190,46								0
190,23	■	■						2
190,00*	■	■	■	■	■			5
189,77	■	■	■	■	■	■		6
189,54*	■	■	■					3
189,31	■							1
189,08								0
<b>И Т О Г О :</b>								17

\* - границы поля допуска по чертежу

Рис. 5.1 – Контрольный листок регистрации распределения измеряемого параметра

Наименование документа		Контрольный листок по типам дефектов	
<b>Предприятие:</b> АО «РМЗ» <b>Цех:</b> № 5 <b>Участок:</b> № 3		<b>Изделие:</b> колесо зубчатое 743-56АБМ <b>Операция:</b> термообработка <b>Контролер:</b> Петров С.И.	<b>К-во деталей:</b> 25
Тип дефекта	Результаты контроля	Итого по типам дефектов	
Трещины	///	3	
Отклонения в размерах	//// //	9	
Царапины	////	5	
Выколы	//	2	
Другие	///	3	
<b>И Т О Г О :</b>		22	
<b>Общее число забракованных колес</b>	///	3	

Рис. 5.2- Контрольный листок для регистрации типов дефектов

#### 4. Контрольный листок причин дефектов.

Данный листок применяется для последующего анализа причин дефектных изделий. Например, используется листок с расслоением данных по рабочим местам (станкам), рабочим, выполняющих данную операцию, дней изготовления продукции и смены работы рабочего, а также типам дефектов, рис. 5.3.

Оборудование	Рабочий	ПН		ВТ		СР		ЧТ	
		I см.	II см.	I см.	II см.	I см.	II см.	I см.	II см.
Станок 1	А	□□		□□□					
		/		//					
		*		**					
	Б		□		□□				
			//		///				
			***		*				
Станок 2	В	□		□□					
		///		//					
		**		*					
	Г		□□□		□				
			/		///				
			***		**				

□ - отклонения в размерах; / - царапины; \* - отклонения от формы.

Рис. 5.3 – Контрольный листок причин дефектов

## 5.2 Анализ Парето. Диаграмма причин и результатов

Из п. 5.1 следует, что, выяснив и устранив немногочисленные существенные дефекты, можно значительно сократить все потери, связанные с появлением бракованной или дефектной продукции. Установить такие дефекты, а также выявить немногочисленные существенно важные причины их появления можно с использованием диаграмм Парето, названных по имени итальянского экономиста XIX-XX в.в. В.Парето, который показал, что большая часть капитала (около 80%) находится в руках незначительного количества людей (около 20%). Классификация проблем качества на немногочисленные существенно важные и многочисленные несущественные называется анализом Парето.

**Анализ Парето** ранжирует отдельные проблемы по значимости или важности и показывает необходимость выявить и в

первую очередь устранить те причины, которые вызывают наибольшее количество проблем.

Анализ Парето, как правило, иллюстрируется диаграммой Парето, для построения которой необходимо выполнить ряд этапов:

1. Решить, какие проблемы предстоит исследовать и как осуществить сбор данных. Например, решая проблему появления дефектных изделий, необходимо сбор данных осуществлять по типам дефектов, рабочим, оборудованию и т.д.
2. Разработать форму контрольного листка.
3. Заполнить контрольный листок, произвести подсчет итогов.
4. Заполнить исходную таблицу, расположив данные по каждому признаку в порядке значимости, таблица 5.1.

Таблица 5.1- Исходные данные для построения диаграммы Парето

Тип дефекта	Число дефектов	Накопленная сумма дефектов	Процент числа дефектов	Накопленный процент
Отклонения в размерах	9	9	41	41
Царапины	5	14	22	63
Трещины	3	17	14	77
Выколы	2	19	9	86
Прочие	3	22	14	100
<b>ИТОГО:</b>	22	---	100	---

Группу «прочие» (в нее входят не включенные в таблицу незначительные дефекты), в не зависимости от ее размера, помещают в последней строке таблицы. Однако нежелательно, чтобы эта группа составляла большой процент!

5. Наносят оси координат диаграммы Парето: по оси абсцисс откладываются исследуемые проблемы или их причины, а по двум осям ординат – количественное (число дефектных изделий, N) и процентное (накопленный процент, T) выражение проблем.

6. Строят столбиковую диаграмму и кумулятивную кривую (кривую накопленного процента).

7. На диаграмму наносится название, наименование контролируемого изделия, период сбора информации, общее число объектов контроля и т.д., рис. 5.4.

Различают два вида диаграммы Парето:

1. Диаграмма Парето по результатам деятельности, которая отражает нежелательные результаты работы: количество дефектов,

поломок, отказов, рекламаций; объем потерь, связанных с ремонтом продукции и т.д.

2. Диаграмма Парето по причинам появления существенно важных проблем.

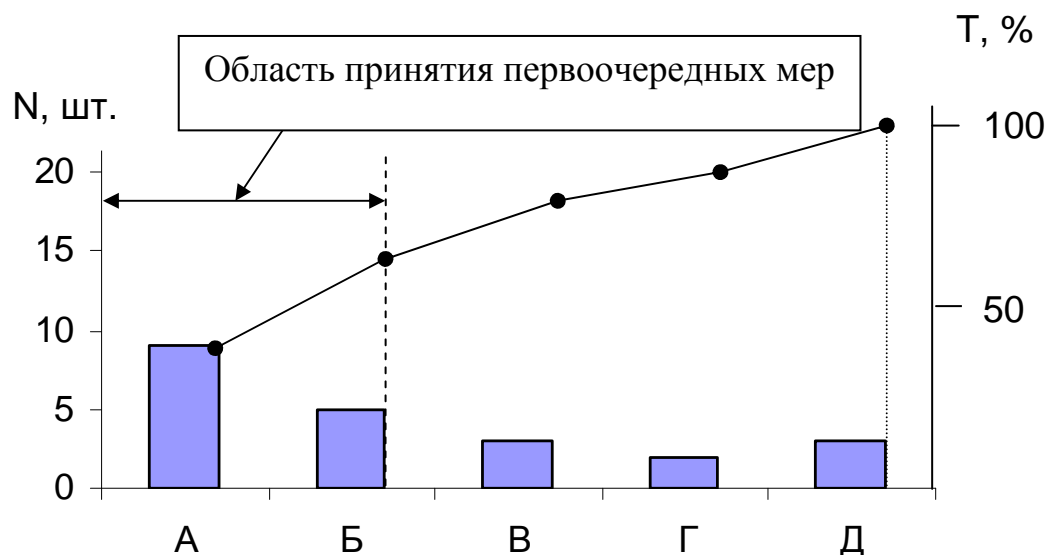


Рис. 5.4 – Вид диаграммы Парето по результатам деятельности (А – отклонения в размерах; Б – царапины; В – трещины; Г – выколы; Д – прочие)

После выявления существенно важной проблемы, например, с помощью диаграммы Парето по результатам деятельности, важно определить причины ее возникновения. Это можно решить путем составления диаграммы Парето по причинам или построением **диаграммы причин и результатов**, которую предложил в 1953 г. профессор Токийского университета Каору Исикава. Эта диаграмма также имеет и другие названия: диаграмма Исикава (по фамилии ее создателя) или диаграмма «рыбий скелет» за ее схожесть с последним.

Для построения диаграммы причин и результатов необходимо:

1. Определить 1 показатель качества. Указать его на диаграмме справа в прямоугольнике и провести от него «хребет».

2. В прямоугольниках снизу и сверху от «хребта» указать возможные главные причины и соединить их с «хребтом» «большими костями».

3. Указать вторичные причины, влияющие на главные, и расположить их в виде «средних костей», соединенных с «большими». Указать причины третичного порядка, которые влияют на вторичные, соединив их «мелкими костями» со «средними».



4. Проранжировать факторы по значимости и выделить особо важные, которые предположительно, оказывают наибольшее влияние на показатель качества.

При построении диаграммы причин и результатов необходимо определить **все** факторы, имеющие отношение к рассматриваемой проблеме. Это достигается путем наблюдений и опроса многих людей, имеющих отношение к рассматриваемой проблеме. Так, для причины «человек» следует определить факторы, связанные с удобством и безопасностью выполнения операций; для причины «машина» – взаимоотношения элементов конструкции между собой; для причины «метод» – факторы, связанные с производительностью и точностью выполнения операций; для причины «материал» – факторы, связанные с отсутствием свойств материалов в процессе выполнения операции, а также хранения; для причины «контроль» – факторы, связанные с достоверным распознаванием ошибки процесса выполнения операции.

Пример диаграммы причин и результатов приведен на рис. 5.5.

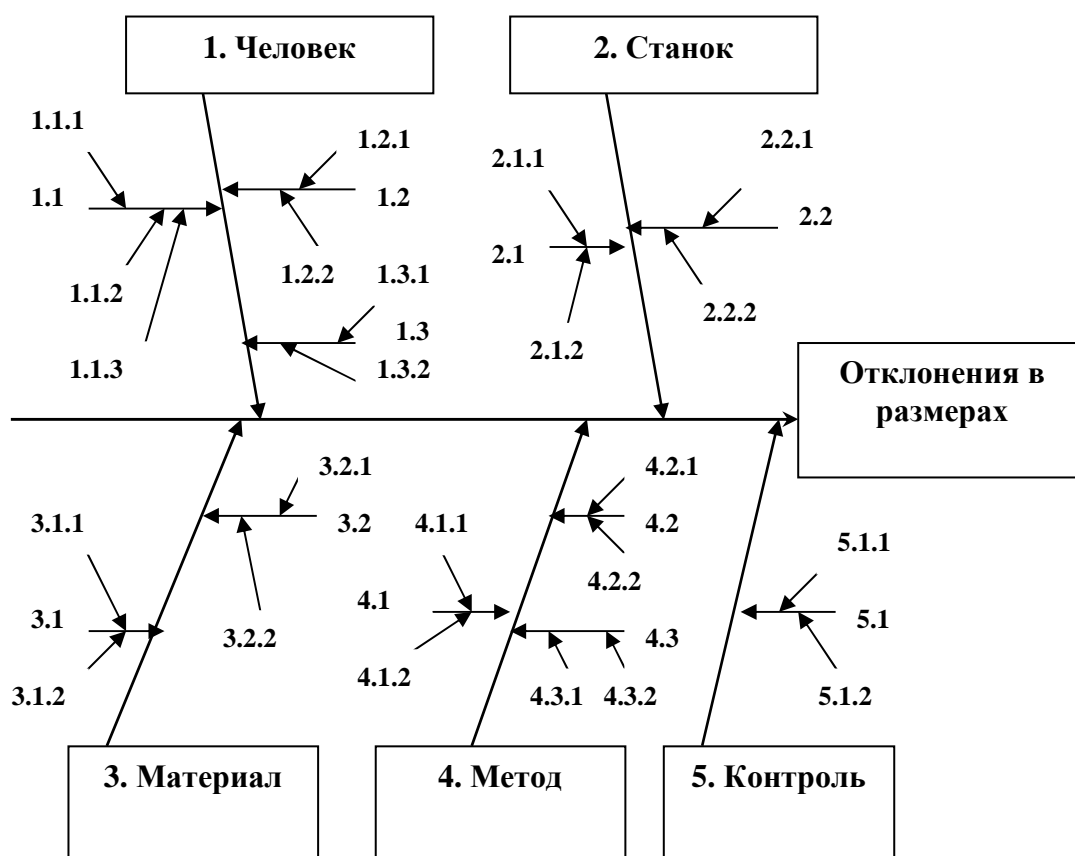


Рис. 5.5 - Диаграмма причин и результатов

Классификация причин, указанных на рис. 5.5, приведена в таблице 5.2.

Таблица 5.2 – Классификация причин появления отклонений в размерах

Главные причины	Вторичные причины	Третичные причины
1. Человек	1.1. Квалификация	1.1.1. Образование
		1.1.2. Подготовка
		1.1.3. Опыт
	1.2. Здоровье	1.2.1. Усталость
		1.2.2. Болезнь
	1.3. Моральные качества	1.3.1. Внимание
1.3.2. Сосредоточенность		
2. Станок	2.1. Состояние выполнения операции	2.1.1. Стабильность
		2.1.2. Разбалансировка
	2.2. Оснастка	2.2.1. Деформация
		2.2.2. Износ
3. Материалы	3.1. Качество материалов	3.1.1. Компоненты
		3.1.2. Хранение
	3.2. Инструмент	3.2.1. Форма
		3.2.2. Размеры
4. Метод	4.1. Установка	4.1.1. Базирование
		4.1.2. Сила закрепления
	4.2. Оснастка	4.2.1. Позиция
		4.2.1. Установка
	4.3. Режимы обработки	4.3.1. Подача
		4.3.2. Скорость резания
		4.3.3. Стойкость инструмента
5. Контроль	5.1. Метод контроля	5.1.1. Состояние средств измерений
		5.1.2. Установка

После составления диаграммы причин и результатов в результате обсуждения, как было сказано выше, выделяют наиболее вероятно весомые факторы. Такой анализ сложной ситуации основывается на последовательном сжатии множества вариантов, на отбраковке альтернатив, заведомо неконкурентоспособных. Этот метод соответствует физиологическим особенностям человеческого мозга. Здесь уместно вспомнить ответ французского скульптора О.Родена на вопрос, как он работал над скульптурой «Мыслитель».

Творец ответил: «Очень просто – я взял глыбу мрамора и отсек от нее все лишнее». Поэтому принцип последовательного сжатия альтернатив называют иногда принципом Родена. Реализация данного принципа часто опирается на интуитивные, неформальные (и часто не формализуемые) процедуры. Однако следует отметить, что схема последовательного анализа во многих случаях может опираться и на строгие математические методы.

В результате применения принципа Родена происходит локализация задачи, остается более или менее «небольшое» количество вариантов существенных факторов. Для их анализа может применяться анализ и диаграмма Парето по причинам.

### 5.3 Анализ технологического процесса с помощью гистограмм

**Гистограмма** представляет собой вариант столбчатой диаграммы, отображающий зависимость частоты попадания качества изделия или процесса в определенный интервал этих значений. При этом по гистограмме оценивается генеральная совокупность, исходя из выборочных данных. Однако в случае управления технологическим процессом под генеральной совокупностью понимается сам процесс, а в качестве выборки выступают партии изделий, из которых, в свою очередь, отбираются части партий, т.е. меньшие по объему выборки. По результатам анализа выборочных данных предпринимаются действия относительно всей генеральной совокупности, рис. 5.6.

Объем выборки определяется аналогично п. 4.3.1.

Для построения гистограммы следует выполнить ряд процедур:

1. Определить максимальное значение измеряемой величины в выборке.
2. Определить минимальное значение измеряемой величины в выборке.
3. Определить диапазон гистограммы как разницу между наибольшим и наименьшим значениями.
4. Определить число интервалов гистограммы ( $k$ ). Для этого можно воспользоваться правилом Старджесса:

$$k = 1 + 3,32 \cdot \lg n,$$

где  $n$  – объем выборки. Например, для  $n = 50$  значение  $k = 6,64$ . Принимаем  $k = 7$ .

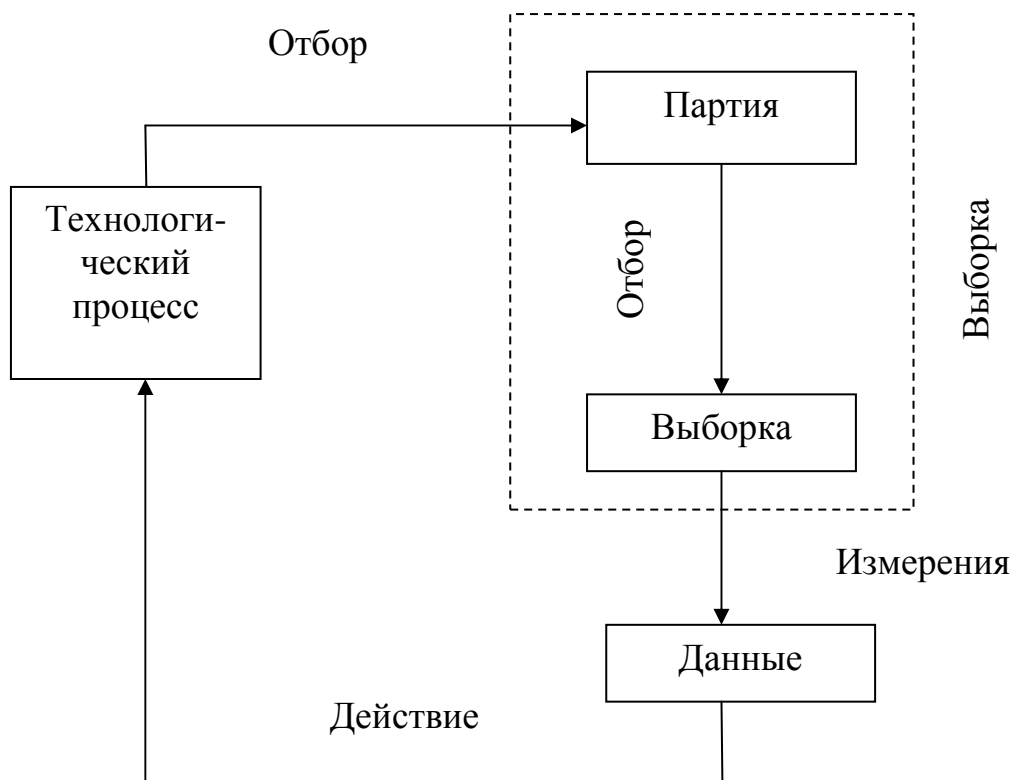


Рис. 5.6 – Отношение между генеральной совокупностью и выборкой (управление процессом)

5. Определить длину интервала гистограммы как частное деления диапазона гистограммы на число интервалов.

6. Разбить диапазон гистограммы на интервалы.

7. Рассчитать число попаданий результатов измерений в каждый интервал.

8. Определить частоту попаданий в каждый интервал как частное деления числа попаданий на объем выборки.

9. Построить столбчатую диаграмму. На диаграмме указать происхождение данных, объем выборки, выборочное среднее и среднее квадратическое отклонение.

Форма гистограммы многое говорит о характере технологического процесса. Выделяют 7 типов гистограмм, [15], рис. 5.7:

1. Обычный тип симметричной формы.

Качество изготавливаемой продукции, как было сказано выше, определяется, как минимум, 5 основными элементами – «5М», причем влияние каждого из них на качество – случайное. Поэтому в соответствии с центральной предельной теоремой теории вероятностей контролируемые параметры также являются случайными величинами, вероятности которых распределены по нормальному закону. Практически установлено, что данное распределение является наиболее типичным.

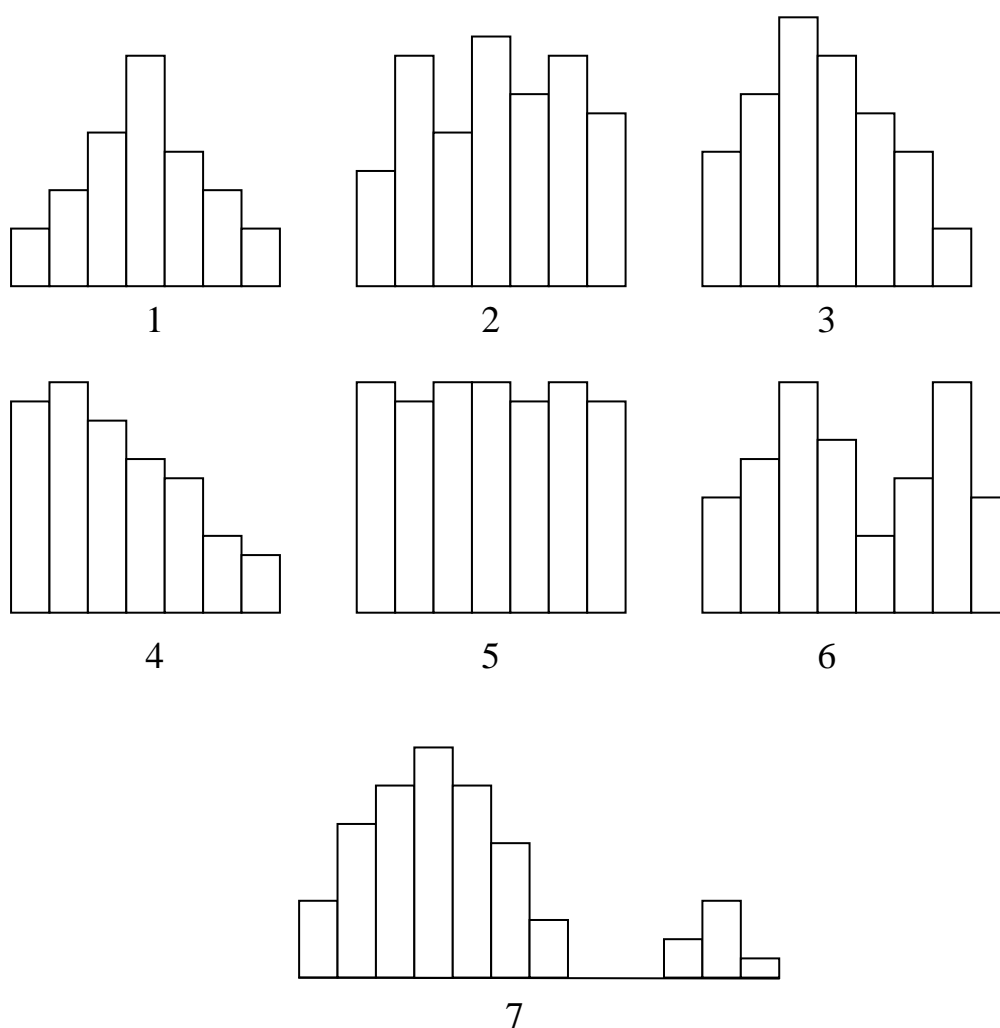


Рис. 5.7 – Формы гистограмм

2. Мультимодальный тип (классы через один имеют более низкие частоты). Такая форма встречается, когда действует определенное правило округления данных.

3. Положительное (отрицательно) скошенное распределение. Встречается, когда нижняя (верхняя) граница поля допуска регулируется или в случае недостижимости одной из границ технологически.

4. Распределение с обрывом слева (справа). Встречается, как правило, при стопроцентном просеивании изделий из-за плохой воспроизводимости процесса.

5. Равномерное прямоугольное распределение (плато). Характерно для смешивания нескольких распределений, имеющих различные средние.

6. Бимодальное распределение. Встречается, когда смешиваются два распределения с далеко отстоящими средними значениями.

7. Распределение с изолированным пиком. Встречается при наличии малых включений данных из другого распределения, например, в случае появления ошибки измерения.

Полученные гистограммы следует сравнивать с границами поля допуска, рис. 5.7.

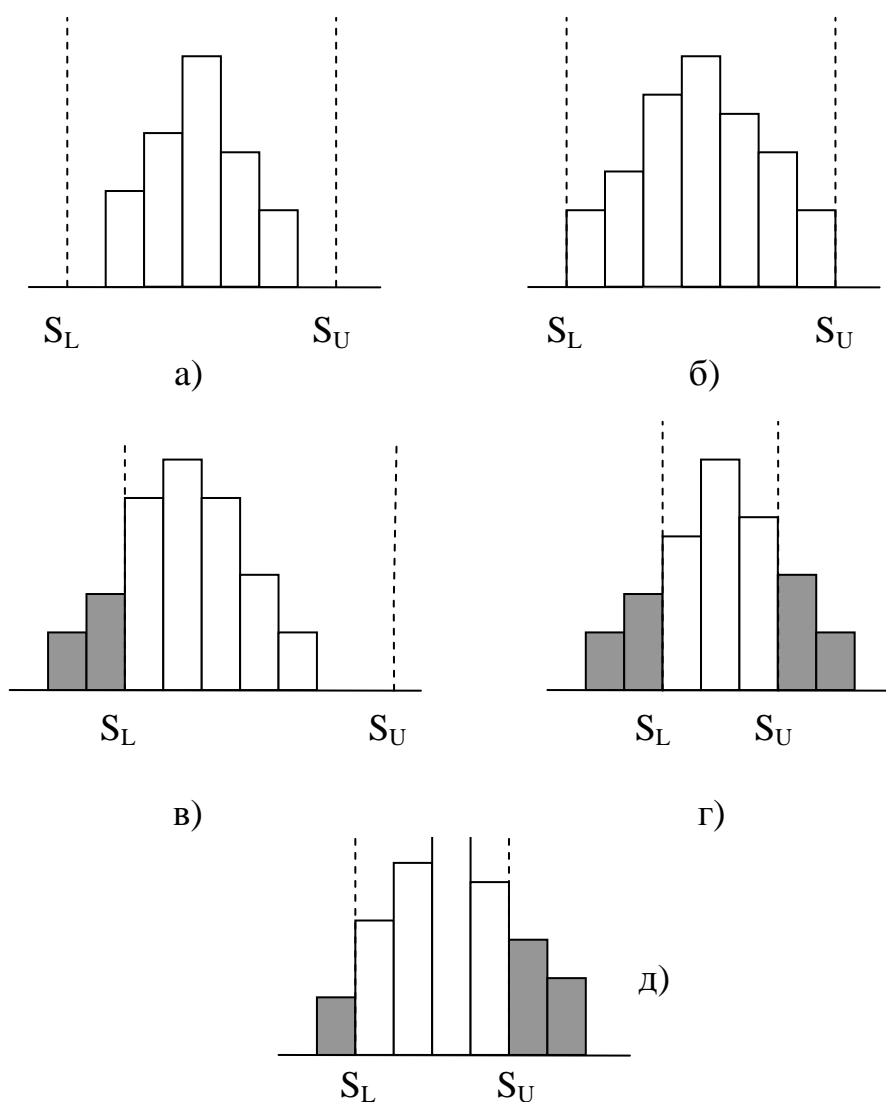


Рис. 5.7 – Сравнения гистограмм с границами поля допуска

На рис. 5.7 обозначено  $S_L$ ,  $S_U$  – соответственно нижняя и верхняя границы поля допуска.

При этом возможны 5 типичных случаев:

а) гистограмма удовлетворяет допуску. Следует поддерживать существующее состояние;

б) допуск удовлетворяется, но нет запаса. Следует сократить разброс значений;

в) гистограмма не удовлетворяет допуску. Необходимо добиться смещения среднего ближе к центру поля допуска;

г) гистограмма не удовлетворяет допуску. Необходимо сократить разброс значений (снизить вариации);

д) гистограмма не удовлетворяет допуску. Необходимы действия, указанные в п.п. в) и г).

После построения гистограмму следует проверить на соответствие теоретическому закону распределения вероятностей по соответствующим статистическим критериям, например, по критерию Пирсона, [16]. Если выявлено, что гистограмма удовлетворяет нормальному закону распределения вероятностей, часто оценивается воспроизводимость процесса. Эта оценка важна для понимания того, сможет ли процесс пересечь границы поля допуска или нет. Данную оценку проводят с помощью индекса воспроизводимости  $C_p$ , который определяется:

- для двусторонних границах поля допуска

$$C_p = \frac{S_u - S_L}{6\sigma};$$

- для односторонних границах поля допуска

$$C_p = \frac{S_u - \bar{X}}{3\sigma} \quad \text{или} \quad C_p = \frac{\bar{X} - S_L}{3\sigma},$$

где  $\bar{X}$  - выборочное среднее;  $\sigma$  - среднее квадратическое отклонение выборки.

По значению  $C_p$  оценивается процесс:

- при  $C_p \geq 1,33$  процесс удовлетворителен;

- при  $1,00 \leq C_p < 1,33$  процесс адекватен;

- при  $C_p < 1,00$  процесс неадекватен.

Также при имеющихся параметрах нормального распределения (математическое ожидание и среднее квадратическое отклонение) можно оценить процент дефектов, которые будут выходить за установленные границы поля допуска. Вероятность появления бракованных изделий определяется как суммарная вероятность попадания измеряемой величины  $x$  в два интервала:  $(-\infty; A_{min})$  и  $(A_{max}; +\infty)$ :

$$\begin{aligned}
P_{\sigma} &= P(x < A_{\min}) + P(x > A_{\max}) = P(x \in [-\infty; A_{\min}]) + \\
&+ P(x \in [A_{\max}; \infty]) \approx [\Phi\left(\frac{A_{\min} - \bar{A}}{\sigma}\right) - \Phi(-\infty)] + [\Phi(\infty) - \\
&- \Phi\left(\frac{A_{\max} - \bar{A}}{\sigma}\right)] = [0,5 - \Phi\left(\frac{\bar{A} - A_{\min}}{\sigma}\right)] + [0,5 - \Phi\left(\frac{A_{\max} - \bar{A}}{\sigma}\right)].
\end{aligned}$$

Здесь  $A_{\min}$ ,  $A_{\max}$  – соответственно минимальное и максимальное значение измеряемой величины, заданные техническими условиями;  $\bar{A}$ ,  $\sigma$  – соответственно среднее выборочное и среднее квадратическое отклонение выборки;  $\Phi$  – интегральная функция Лапласа, значения которой табулированы.

Например, контролируется высота зуба цилиндрического зубчатого колеса, значение которой задано  $22,17_{-0,20}$  мм. При контроле получены следующие выборочные значения:

$$\bar{h} = 22,037 \text{ мм}; \quad \sigma = 0,0556 \text{ мм.}$$

Тогда вероятность появления бракованных колес составит:

$$\begin{aligned}
P_{\sigma} &= [0,5 - \Phi(1,209)] + [0,5 - \Phi(2,390)] = \\
&= [0,5 - 0,387] + [0,5 - 0,492] = 0,12 \text{ или } 12\%.
\end{aligned}$$

Полученное значение вероятного количества бракованных колес значительно, следовательно, необходимо предпринять меры по сокращению флуктуаций контролируемого параметра.

## 5.4 Диаграммы разброса

**Диаграмма разброса** представляет собой график, который позволяет выявить корреляцию между двумя различными переменными. Эти переменные могут относиться к:

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

Для построения диаграммы разброса необходимо выполнить ряд процедур:

- собрать парные данные  $(x, y)$ , между которыми необходимо определить зависимость. Желательно иметь не менее 30 пар;
- установить максимальные и минимальные значения переменных. В случае, если одна из переменных является фактором, а вторая – характеристикой качества, то значения фактора



откладывают по оси абсцисс, а характеристики качества – по оси ординат;

- в выбранной системе координат нанести точки и обозначить диаграмму.

Пример диаграммы разброса приведен на рис. 2.7. После построения диаграммы следует проверить, есть ли на ней какие-нибудь далеко отстоящие точки (выбросы). Эти выбросы из последующего анализа исключаются (выбросы строго определяются с помощью статистических критериев, например, критерия Грэмбса). Однако над причинами появления выбросов стоит задуматься – они могут быть обусловлены как ошибками измерений, так и некоторыми изменениями условий работы.

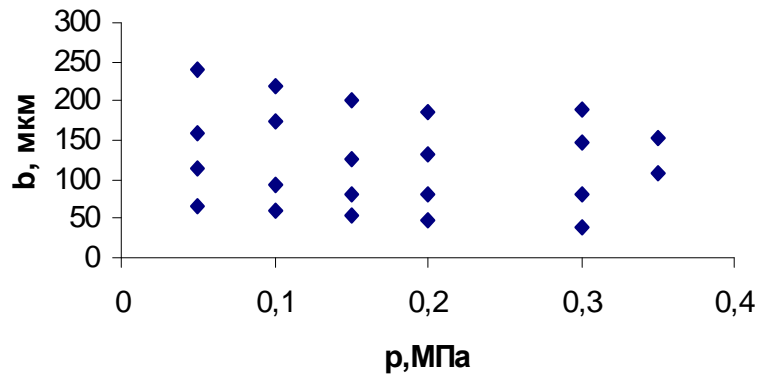
Наиболее типичные варианты скопления точек на диаграмме разброса: положительная корреляция (см. рис. 2.7.); отрицательная корреляция (угловой коэффициент линии регрессии отрицательный); отсутствие корреляции; нелинейная корреляция.

Для изучения связи между переменными  $x$  и  $y$  определяют коэффициент корреляции, см. п.2.3. Так же, как и в п.2.3, при  $|r_{xy}| \rightarrow 1$  сила корреляционной связи возрастает, а при  $r_{xy} \rightarrow 0$  – ослабевает.

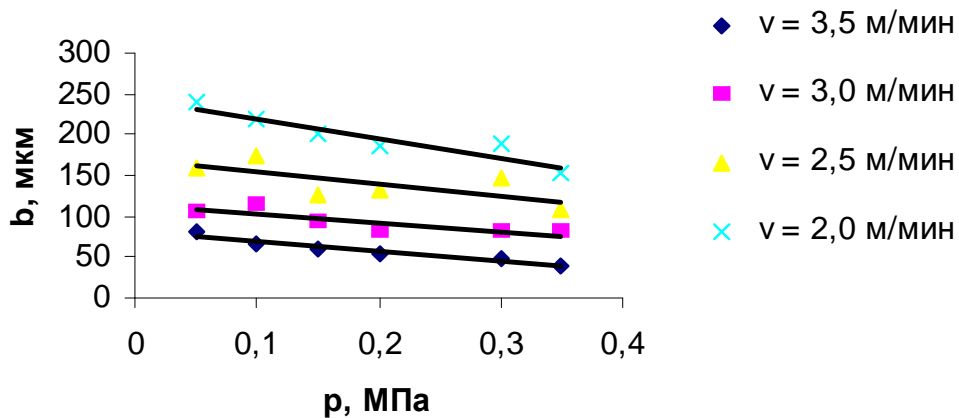
При выполнении корреляционного анализа следует не забывать о стратификации. Так, например, при исследовании зависимости размера зоны термического влияния ( $b$ ) от давления кислорода ( $p$ ) при резке лазерным излучением (с подачей газа) углеродистой стали были получены данные, представленные на рис. 5.8, а. Кажется, что корреляция отсутствует. Но стоит только ввести расслоение данных по скорости резания, рис. 5.8,б, как корреляция появляется. Можно сделать вывод, что с повышением скорости резания увеличение давления кислорода приводит к уменьшению размеров зоны термического влияния.

Результаты корреляционного анализа, следует с большой осторожностью экстраполировать за пределы полученных данных. Для этого необходима экспериментальная проверка или подходящее теоретическое исследование. Следует также помнить и о ложных корреляциях, когда между переменными отсутствует какая-либо причинно-следственная связь, но коэффициент корреляции высок.

После установления тесной корреляции между исследуемыми переменными приступают к регрессионному анализу, результатом которого является получение аналитической зависимости, связывающей данные переменные. Эта зависимость необходима для ответа на вопрос, каким образом нам необходимо изменить параметры для того, чтобы улучшить качество изделий. Последовательность регрессионного анализа изложена в п. 2.3.



а)

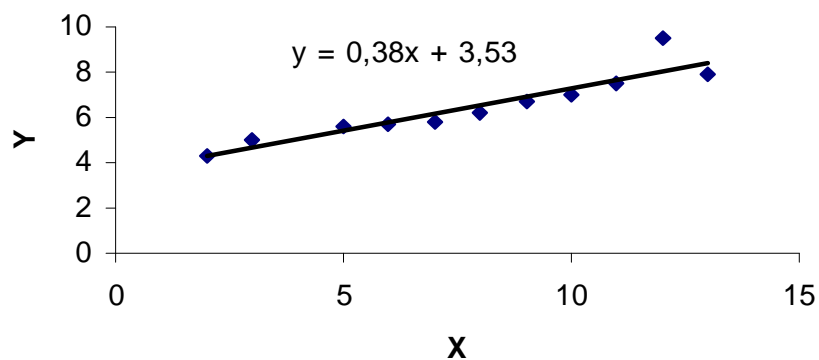


б)

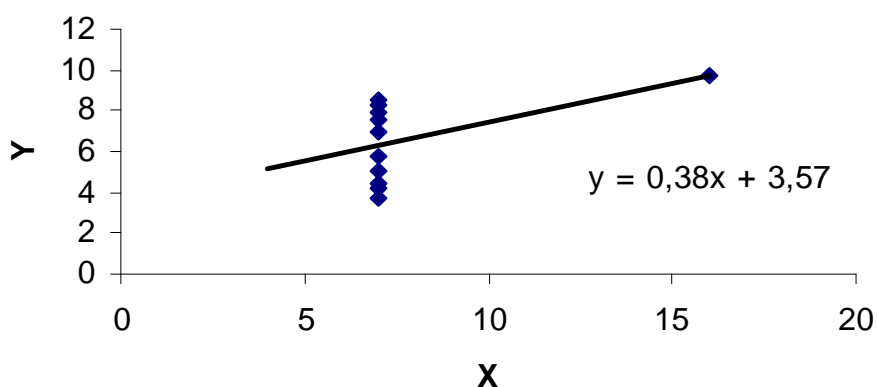
Рис. 5.8 – Зависимость размера зоны термического влияния от давления кислорода при лазерной резке углеродистой стали

Следует помнить о том, что точки на диаграмме разброса должны, в основном, равномерно распределяться вокруг вычисленной линии регрессии. В противном случае в вычислениях была ошибка, и следует проверить последовательность вычислений. Также могут возникать и ошибки, показанные на рис. 5.9.

Приведенные на рис. 5.9 диаграммы разброса (а и б), имеют практически одинаковые уравнения линии регрессии, полученные расчетным путем, хотя характер зависимостей, скорее всего, различный (в случае б) имеется выброс значения, соответствующий  $x = 16$ ).



a)



б)

Рис. 5.9 – Графики уравнений регрессии

## 5.5 Контрольные карты

**Контрольная карта** – диаграмма, на которой для наглядности отображения состояния технологического процесса отмечают значения соответствующей выборочной характеристики смежных выборок. Впервые контрольные карты были введены в 1924 г. У.Шьюхартом, работавшим в Bell Telephone Laboratories, с целью исключить вариации, обусловленные определенными причинами, от тех, что обусловлены причинами случайными. Качество продукции в процессе изготовления, как известно, неизбежно подвержено вариации. Причины вариации делят на определенные и случайные. Причем, вариации, обусловленные случайными причинами неизбежны для любого процесса, даже если он проводится с использованием стандартных методов, оборудования и т.д. В настоящее время исключение вариации, обусловленной случайными

причинами технически нецелесообразно и экономически невыгодно. Напротив, вариации, обусловленные определенными причинами, означают, что существуют факторы, допускающие изучение и управлением ими.

Любая контрольная карта состоит из центральной линии (CL), верхнего (UCL) и нижнего (LCL) контрольных пределов, а также значений характеристики или показателя качества, рис. 5.10.

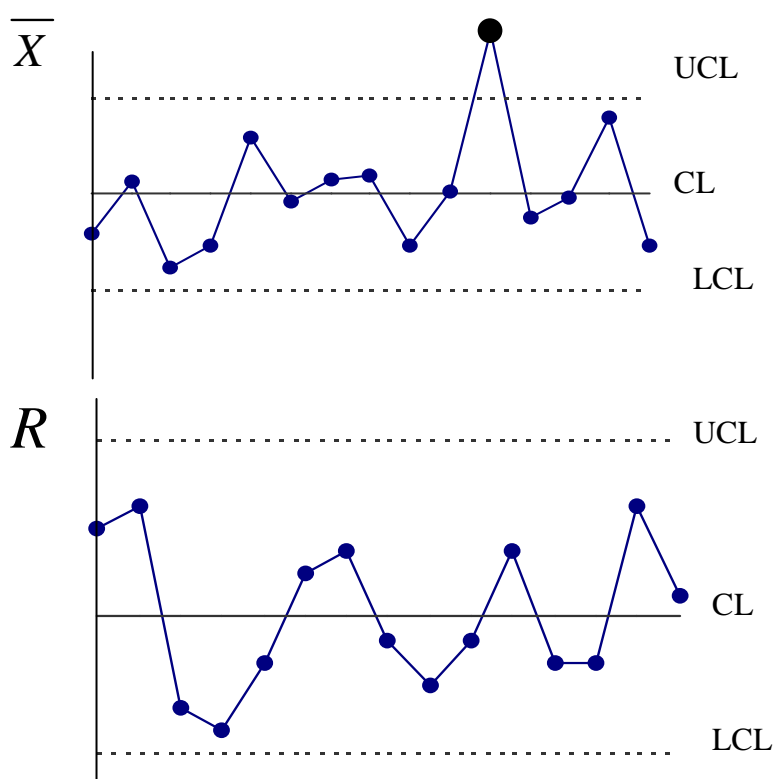


Рис. 5.10 - Вид контрольных карт

Если все значения характеристики находятся внутри контрольных пределов, то процесс может рассматриваться как находящийся в контролируемом состоянии ( $R$ - карта на рис 5.10), в противном случае – процесс вышел из-под контроля ( $\bar{X}$  - карта на рис. 5.10).

Для построения контрольной карты необходимо оценить вариацию, обусловленную случайными причинами. С этой целью полученные данные делят на подгруппы, внутри которых партии сырья, станки, рабочие и другие общие факторы остаются неизменными. Следовательно, вариации внутри подгрупп можно рассматривать как вариации, обусловленные случайными причинами.

В зависимости от показателя качества и цели управления процессом различают следующие типы контрольных карт:

1. Контрольные карты для непрерывных значений.
2. Контрольные карты для дискретных значений.

Указанные типы подразделяют на такие виды ( в нумерации видов первая цифра обозначает тип карты):

### **1.1. $(\bar{X}-R)$ – карта.**

Используется для анализа и управления процессами, показатели качества которых представляют собой непрерывные величины (диаметры детали, длина и т.д.). Такая карта несет наибольшую информацию о процессе. Величина  $\bar{X}$  - среднее значение подгруппы;  $R$  – выборочный размах для той же подгруппы. Следовательно, обе карты должны располагаться строго одна под другой, см. рис. 5.10.

Разброс может вычисляться как на основе размаха процесса ( $R$ ), так и на основе среднего квадратического отклонения процесса.

### **1.2. $x$ – карта.**

Используется в случае, когда данные о процессе поступают через большие интервалы времени или если группирование данных неэффективно. Данные наносят на график отдельными точками по мере их поступления. Для определения контрольных пределов используют текущие значения размаха  $R_s$ , который вычисляют по последовательно поступающим данным.

### **2.1. $pn$ – карта.**

### **2.2. $p$ – карта.**

Используются в случаях, когда показатель качества представлен числом дефектных изделий или их долей. Для выборок постоянного фиксированного объема используют  $pn$  – карту числа дефектных изделий, а для выборок меняющегося объема –  $p$ – карту долей дефектов.

### **2.3. $c$ - карта.**

### **2.4. $u$ – карта.**

Используются в случаях, когда показатель качества представлен дефектами продукции, например, число царапин на листе металла. Для изделий одинакового размера используют  $c$  - карту числа дефектов, а для изделий разного размера –  $u$ -карту числа дефектов на единицу.

Формулы для вычисления значений центральных линий и контрольных пределов для указанных карт приведены в таблице 5.3.

Рассмотрим алгоритмы построения наиболее часто используемых карт:  $(\bar{X}-R)$  – карты и  $pn$  – карты.

Таблица 5.3 - формулы для расчета центральных линий и контрольных пределов контрольных карт

Вид карты	Расчетные зависимости
$\bar{X}$	$UCL = \bar{\bar{X}} + A_2 \cdot \bar{R}$
	$CL = \bar{\bar{X}}$
	$LCL = \bar{\bar{X}} - A_2 \cdot \bar{R}$
$R$	$UCL = D_4 \cdot \bar{R}$
	$CL = \bar{R}$
	$LCL = D_3 \cdot \bar{R}$
$x$	$UCL = \bar{X} + 2,66 \cdot \bar{R}_s$
	$CL = \bar{X}$
	$LCL = \bar{X} - 2,66 \cdot \bar{R}_s$
$pn$	$UCL = \bar{pn} + 3\sqrt{\bar{pn}(1-\bar{p})}$
	$CL = \bar{pn}$
	$LCL = \bar{pn} - 3\sqrt{\bar{pn}(1-\bar{p})}$
$p$	$UCL = \bar{p} + 3\sqrt{\bar{p}(1-\bar{p}) \cdot n^{-1}}$
	$CL = \bar{p}$
	$LCL = \bar{p} - 3\sqrt{\bar{p}(1-\bar{p}) \cdot n^{-1}}$
$c$	$UCL = \bar{c} + 3\sqrt{\bar{c}}$
	$CL = \bar{c}$
	$LCL = \bar{c} - 3\sqrt{\bar{c}}$
$u$	$UCL = \bar{u} + 3\sqrt{\bar{u} \cdot n^{-1}}$
	$CL = \bar{u}$
	$LCL = \bar{u} - 3\sqrt{\bar{u} \cdot n^{-1}}$

Алгоритм построения ( $\bar{X}$ - $R$ ) – карты:

- собрать примерно 100 данных, разделив их на 20-25 однородных подгрупп. Данные занести в таблицу 5.4 (пример);

Таблица 5.4 - Исходные данные для построения ( $\bar{X}$ -R) – карты

№ под-группы	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$	$\sum x$	$\bar{X}$	R
1	52,5	52,9	52,9	53,5	211,8	52,950	1,00
.....							
25	54,3	53,6	53,6	53,8	215,3	53,830	0,70
ИТОГО:						1328,810	15,500
Средние $\bar{X} = 53,152$ ; $\bar{R} = 0,62$							

- вычислить средние значения  $\bar{X}$  для каждой подгруппы:

$$\bar{X}_j = \sum_{i=1}^{n_j} x_i / n_j,$$

где  $n_j$  – объем подгруппы. Данное значение вычисляют с одним лишним знаком точности по сравнению с исходными данными;

- вычислить общее среднее значение:

$$\bar{X} = \sum_{j=1}^k \bar{X}_j / k,$$

где  $k$  – число подгрупп. Данный результат вычисляют с 2 лишними знаками;

- вычислить значение размаха для каждой подгруппы

$$R_j = x_{j \max} - x_{j \min},$$

где  $x_{j \max}$ ,  $x_{j \min}$  – соответственно максимальное и минимальное значение контролируемого параметра в подгруппе;

- вычислить средний размах

$$\bar{R} = \sum_{j=1}^k R_j / k.$$

Точность вычисления среднего размаха совпадает с точность вычисления общего среднего значения;

- вычислить значения центральных линий карт и их контрольных пределов, см. таблицу 5.3. При вычислении данных значений используются постоянные коэффициенты, значения которых приведены в таблице 5.5;

Таблица 5.5 – Значения постоянных коэффициентов

$n$	$A_2$	$d_2$	$d_2^{-1}$	$d_3$	$D_3$	$D_4$
2	1,880	1,128	0,8862	0,893	---	3,267
3	1,023	1,693	0,5908	0,888	---	2,575
4	0,729	2,059	0,4857	0,880	---	2,282
5	0,577	2,326	0,4299	0,864	---	2,115
6	0,483	2,534	0,3946	0,848	---	2,004
7	0,419	2,704	0,3698	0,833	0,076	1,924
8	0,373	2,847	0,3512	0,820	0,136	1,864
9	0,337	2,970	0,3367	0,808	0,184	1,816
10	0,308	3,078	0,3249	0,797	0,223	1,777

- нанести на графики контрольные линии, нанести точки, см. рис. 5.10.

Алгоритм построения  $pn$  – карты:

- взять выборку такого объема, чтобы в каждую подгруппу, в среднем, попадало от 1 до 5 бракованных изделий. Количество подгрупп должно быть равно 20-25, таблица 5.6 (пример);

Таблица 5.6 – Исходные данные для построения  $pn$  – карты

№ подгруппы	Объем подгруппы, $n$	Число дефектных изделий, $pn$
1	100	4
.....		
25	100	3
ИТОГО:	$\sum n = 2500$	$\sum pn = 68$

- вычислить среднюю долю дефектов

$$\bar{p} = \frac{\sum pn}{\sum n};$$

- вычислить значения контрольных линий, см. таблицу 5.3;

- нанести контрольные линии и значения числа дефектов для каждой подгруппы.

Расположение точек на контрольной карте характеризует процесс с точки зрения его контролируемости. В общем случае контролируемое состояние процесса будет, когда он стабилен, а его среднее и разброс не меняются. Находится ли процесс в таком состоянии, можно судить на основании следующих критериев:



1. Выход за контрольные пределы, см.  $\bar{X}$ -карту на рис. 5.10. Точки лежат вне контрольных пределов.

2. Серия точек, которые неизменно оказываются по одну сторону от средней линии (первые семь точек на рис.5.11).

Ненормальным состоянием считается серия длиной из 7 последовательных точек, а также когда 10 из 11, 12 из 14 или 16 из 20 последовательных точек окажутся по одну сторону от центральной линии.

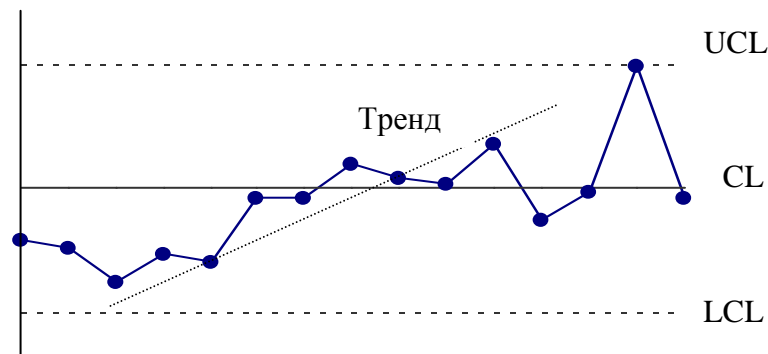


Рис. 5.11 – Серия и тренд

3. Тренд. В этом случае точки образуют непрерывно повышающуюся (см. рис. 5.11) или понижающуюся ломаную линию.

4. Приближение к контрольным пределам. В этом случае две из трех последовательных точек оказываются за двухсигмовыми линиями (в данном случае «сигма» – среднее квадратическое отклонение), рис. 5.12.

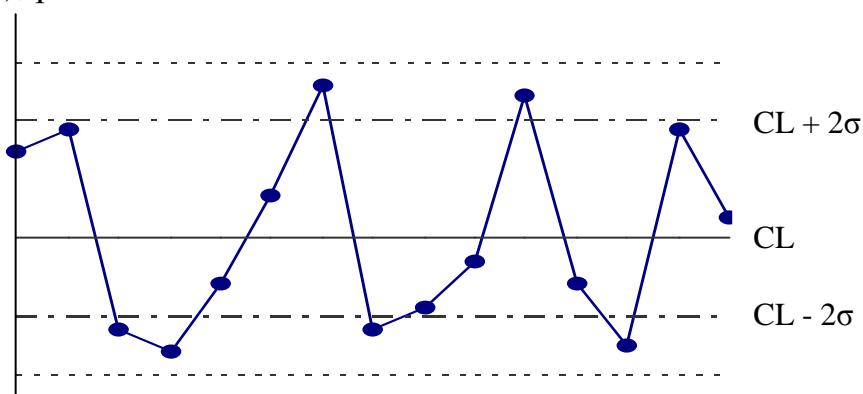


Рис. 5.12 – Выход за двухсигмовые линии

5. Приближение к центральной линии. В данном случае большинство точек концентрируется внутри центральных полуторасигмовых линий, рис. 5.13. Такое положение

свидетельствует не о том, что достигнуто управляемое состояние, а о неподходящем способе разбиения данных на подгруппы – в подгруппах смешиваются данные из различных распределений, что делает размах слишком широким. Следует изменить способ разбиения данных на подгруппы.

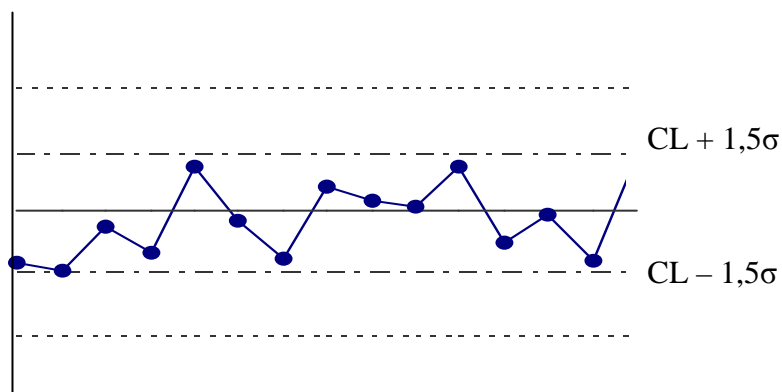


Рис. 5.13 – Приближение к центральной линии

6. Периодичность, рис. 5.14, что также является ненормальным.

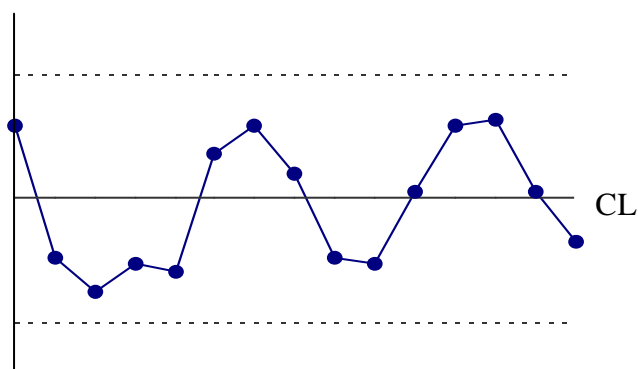


Рис. 5.14 – Периодичность точек

Целью анализа процесса с помощью контрольных карт является выявление характерных случаев вариации показателей качества процесса. Контролируемое состояние процесса будет тогда, когда выявленные вариации устранены, и вся вариация обусловлена только случайными причинами. Анализ начинается с разбиения данных на подгруппы (если это возможно). Для получения подходящего способа разбиения данных на подгруппы: технологические операции следует проводить примерно в одинаковых условиях; в группы объединять данные, собранные за относительно короткий период времени. Следует пробовать различные способы группирования данных.

Как было сказано выше, вариация делится на внутригрупповую и межгрупповую. Например, для  $(\bar{X}-R)$  – карты

межгрупповая вариация проявляется в значении  $\bar{R}$  на  $R$ - карте. Межгрупповая вариация проявляется в распределении точек  $\bar{X}$  на  $\bar{X}$  - карте.

Обозначим дисперсию внутри группы через  $\sigma_e^2$ , а дисперсию между подгруппами – через  $\sigma_z^2$ . Тогда

$$\sigma_{\bar{X}}^2 = \sigma_e^2 + \sigma_z^2 \cdot n^{-1},$$

где  $\sigma_{\bar{X}}^2$  – дисперсия величины  $\bar{X}$ .

Величина  $\sigma_z$  оценивается по значению  $\bar{R}$  :

$$\tilde{\sigma}_z = \bar{R} \cdot d_2^{-1},$$

где  $\tilde{\sigma}_z$  - оценка  $\sigma_z$ ;  $d_2$  – табулированный коэффициент (см. таблицу 5.5).

Распределение точек  $\bar{X}$  зависит не только от межгрупповой вариации, но и еще от внутригрупповой. Эта вариация однозначно определяет положение процесса в случаях, когда:

а) среднее значение процесса постоянно и межгрупповая вариация  $\sigma_e^2 = 0$ ;

б) вариация процесса постоянна, т.е. внутригрупповая вариация  $\sigma_z^2 = const$ .

Межгрупповую вариацию можно вычислить из выражения:

$$\tilde{\sigma}_e = \sqrt{\tilde{\sigma}_{\bar{X}}^2 - \tilde{\sigma}_z^2 \cdot n^{-1}},$$

где  $\tilde{\sigma}_{\bar{X}}^2$  - определяется по гистограмме для  $\bar{X}$  или из выражения:

$$\tilde{\sigma}_e = \sqrt{\tilde{\sigma}_X^2 - \tilde{\sigma}_z^2},$$

где  $\tilde{\sigma}_X^2$  - определяется из гистограммы для  $x$ .

В случае, когда одна и та же продукция выпускается на нескольких станках или несколькими рабочими, при использовании контрольных карт следует вводить расслоение. Проверку различий между расслоенными контрольными ( $\bar{X}$  - $R$ ) картами в их средних значениях выполняют при четырех условиях:

- обе карты показывают, что процесс находится в контролируемом состоянии;
- объемы подгрупп одинаковы;

- значения  $\bar{R}_1$  и  $\bar{R}_2$  практически одинаковы. Здесь индексы «1» и «2» обозначают признаки, в соответствии с которыми проведено расслоение;

- число подгрупп достаточно велико,  $k_1 > 10$ ;  $k_2 > 10$ .

Чтобы определить, существуют ли различия в вариациях между слоями после расслоения, используют следующие зависимости:

- если  $\bar{R}_1 > \bar{R}_2$ , то  $\bar{R}_1 \cdot \bar{R}^{-1} \geq 1,2$ ;  $\bar{R} \cdot \bar{R}_2^{-1} \geq 1,2$ ;

- если  $\bar{R}_1 < \bar{R}_2$ , то  $\bar{R}_2 \cdot \bar{R}^{-1} \geq 1,2$ ;  $\bar{R} \cdot \bar{R}_2^{-1} \geq 1,2$ .

Если указанные зависимости выполняются, то можно утверждать, что существуют различия в вариациях между контрольными картами, расслоенными в соответствии с признаками «1» и «2».

Следует отметить, что даже если процесс находится в контролируемом состоянии, все равно может выпускаться некондиционная продукция. С другой стороны, если брака нет (т.е. гистограмма удовлетворяет границам поля допуска), сам процесс уже может быть в неконтролируемом состоянии. При сравнении указанных двух методов управления качеством технологического процесса (гистограммы и контрольные карты) можно выделить четыре характерных случая, рис. 5.15:

а) процесс находится в неконтролируемом состоянии, а следовательно, производится брак;

б) процесс находится в контролируемом состоянии, но тем не менее брак есть;

в) процесс находится в неконтролируемом состоянии, но брака нет;

г) процесс находится в контролируемом состоянии, брака нет.

В случае б) воспроизводимость процесса не существенна для границ поля допуска. Для предупреждения возможных случаев появления брака следует улучшить воспроизводимость процесса, например, снизить флуктуации контролируемого параметра качества.

В случае в) воспроизводимость процесса достаточна с точки зрения границ поля допуска. В данном случае необходимо рассмотреть возможность улучшения эффективности производства, например, за счет стандартизации технологических приемов и методов. При разработке технологических стандартов необходимо выполнить ряд условий: стандарты разрабатываются для управления флуктуациями значимых факторов; стандарты должны быть практи-

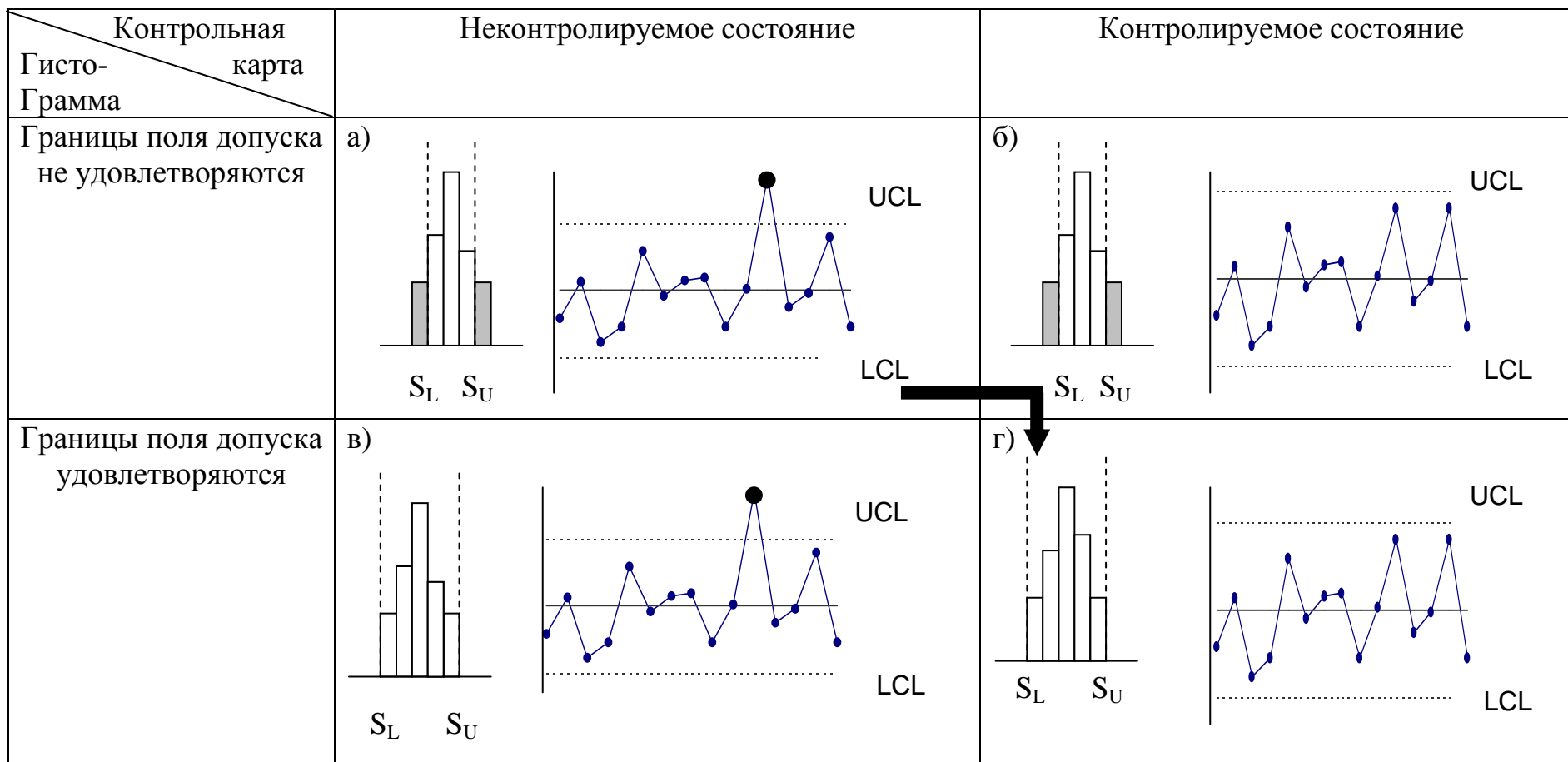


Рис. 5.15 – Сравнение гистограмм с контрольными картами

чными и служить критериями для действий; стандарты нужны для принятия текущих решений, а не для обеспечения идеальных (например, добиться уровня брака, равного нулю) целей; стандарты должны точно устанавливать все важные технологические приемы; стандарты должны быть целенаправленными, но не формальными; необходимо проводить инструктаж и обучение.

На рис. 5.15 жирной стрелкой показано направление улучшения процесса, т.е. «перемещение» из состояния а) через состояние б) в состояние г). Другими словами, сначала добиваемся контролируемого состояния технологического процесса, а затем улучшаем его воспроизводимость относительно границ поля допуска контролируемого параметра.

В заключении этой главы стоит отметить, что управление качеством технологического процесса – это процедура решения проблем, которая представляет собой замкнутый цикл. Решение проблемы заключается в улучшении плохого результата работы до приемлемого уровня.

Решение проблемы осуществляется в ходе следующих этапов:

1. Поиск проблемы – выявление конкретной проблемы, наиболее важной для данного технологического процесса.
2. Наблюдения – вникание в суть проблемы, исследование характерных признаков проблемы с различных точек зрения.
3. Анализ – отыскание главных причин, например, с помощью анализа Парето или (и) диаграммы причин и результатов.
4. Проведение мероприятий – осуществление действий по устранению главных причин.
5. Проверка – подтверждение эффективности мероприятий, т.е. убедиться в том, что проблема не возникает вновь.
6. Стандартизация – постоянное устранение причин появления проблемы.
7. Окончание работы – оценка процедуры решения проблемы и составление планов дальнейшей работы.

### ***Вопросы для самоконтроля к главе 5***

1. На основе каких факторов формируется качество продукции?
2. Что является одним из базовых принципов управления качеством продукции?
3. Что является причиной появления бракованных изделий?
4. Приведите классификационные группы изменений качества продукции.
5. Что понимают под стратификацией данных?

6. Что такое «контрольные листки»?
7. Приведите примеры контрольных листков.
8. Для чего применяют анализ Парето?
9. Из каких основных этапов состоит построение диаграммы Парето?
10. Дайте характеристику видов диаграммы Парето.
11. Для каких целей применяют диаграмму причин и результатов?
12. Из каких основных этапов состоит построение диаграммы причин и результатов?
13. Каким образом производится анализ качества технологического процесса с помощью диаграммы причин и результатов?
14. Для каких целей применяют гистограммы при контроле качества технологического процесса?
15. Приведите схему управления процессом по выборочным данным.
16. Охарактеризуйте основные семь типов гистограмм.
17. Как осуществляется сравнение гистограмм с границами поля допуска контролируемого размера?
18. Как рассчитать индекс воспроизводимости?
19. Как рассчитать вероятность появления бракованных изделий?
20. Для каких целей используются диаграммы разброса?
21. Из каких основных этапов состоит построение диаграммы разброса?
22. Как учитывается стратификация данных при анализе технологического процесса с помощью диаграмм разброса?
23. Для каких целей используют контрольные карты?
24. Охарактеризуйте типы и виды контрольных карт.
25. Как рассчитать значения центральных линий и контрольных пределов контрольных карт?
26. Приведите алгоритм построения ( $\bar{X}$  - $R$ ) – карты.
27. Приведите алгоритм построения  $pn$  – карты.
28. Укажите критерии неконтролируемого состояния технологического процесса.
29. Каким образом учитывается стратификация данных при анализе и управлении технологическим процессом при помощи контрольных карт?
30. Каким образом производится сравнение контрольных карт с гистограммами?
31. В чем заключаются основные этапы замкнутого цикла управления качеством технологического процесса?