

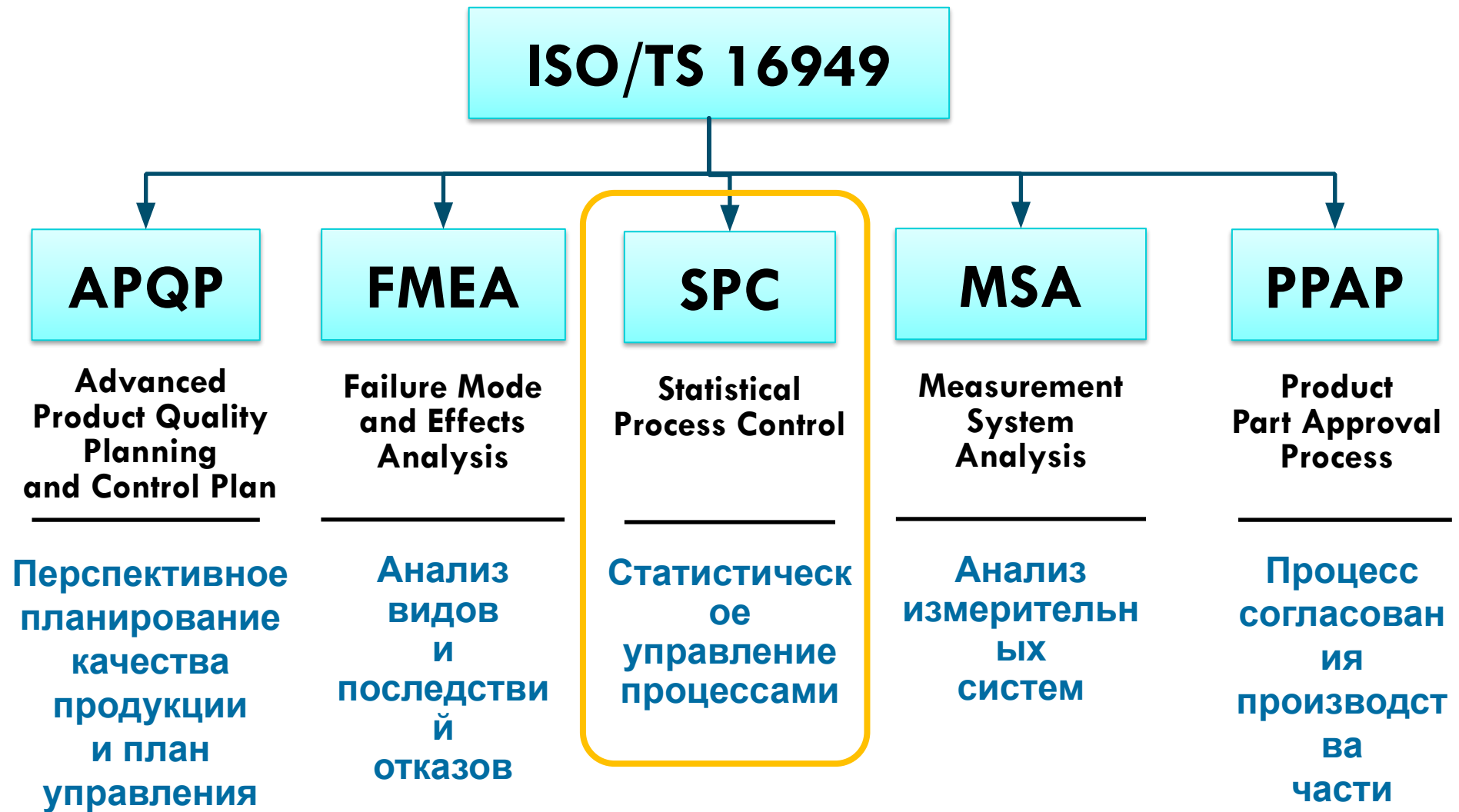
СТАТИСТИЧЕСКОЕ УПРАВЛЕНИЕ ПРОЦЕССАМИ



SPC

Statistical Process Control

Состав системы ISO/TS 16949



Что такое SPC?

метод проведения измерений, получения информации и управления изменчивостью производственного процесса

использование статистических методов (контрольные карты или анализ возможностей процесса) для **наблюдения за процессом и управления им.**

SPC

метод мониторинга производственного процесса с целью управления качеством продукции непосредственно в процессе производства вместо проведения контрольных проверок для обнаружения уже случившихся проблем.

Назначение SPC

- **Определить, находится ли процесс в рамках технических требований.**
 - Поскольку в любом процессе присутствует собственная изменчивость, как нам узнать, даст ли процесс ожидаемые результаты? SPC предоставляет средства, которые покажут, как процесс будет себя вести.

- **Определить, работает ли процесс в рамках статистического управляемого состояния.**
 - Если процесс находится в «статистически управляемом состоянии», то нам известно, как он будет себя вести в дальнейшем, и можем ли мы рассчитывать на его результаты (надежность результатов).
 - Своевременное выявление трендов для проведения корректирующих действий до того, как начнется выпуск несоответствующей продукции (поддержание процесса в «статистически управляемом» состоянии).
 - Мониторинг непрерывного улучшения процесса через снижение изменчивости.

Цели SPC

- **ПРОАНАЛИЗИРОВАТЬ процесс:**
 - Добиться статистически управляемого состояния.
 - Определить возможности.
 - **ПОДДЕРЖИВАТЬ статистически управляемое состояние (стабильность):**
 - Выявить особые причины изменчивости и действовать в соответствии с ними.
 - Вести мониторинг показателей работы процесса.
 - **УЛУЧШАТЬ возможности процесса:**
 - Изменить процесс так, чтобы лучше понимать обычные причины изменчивости.
-
- Снизить обычные причины изменчивости.

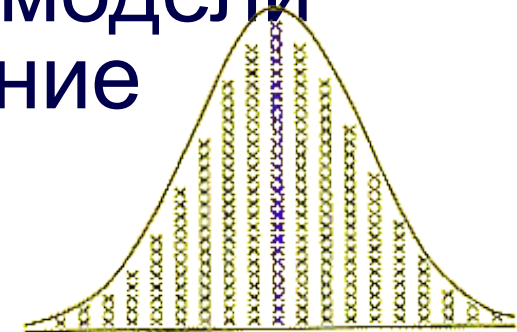
Терминология

Изменчивость процесса

- Любой производственный процесс, окончательно утвержденный для производства одинаковых деталей, подвержен изменчивости.



- Если изменчивость случайная, то распределение производственного процесса для большинства случаев может быть приближенным к модели Гаусса. Такое распределение называется «нормальным».



Управляемость процесса

При анализе изменчивости выделяют:

- Обычные причины (принадлежат системе) 
- Особые причины. 

Вклад каждой обычной причины небольшой. В этом случае говорят, что процесс находится в

 статистически управляемом состоянии (то есть **устранены особые причины вариаций**).

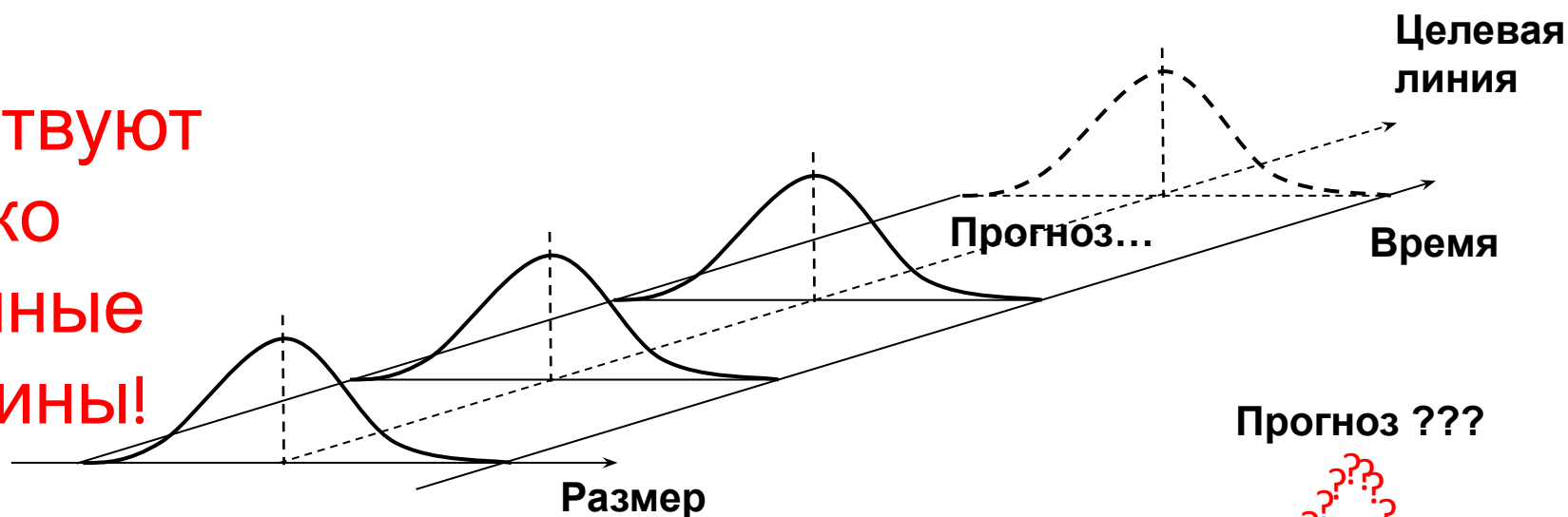
При этом выход процесса предсказуем.



Статистические методы позволяют обнаруживать особые причины изменчивости.

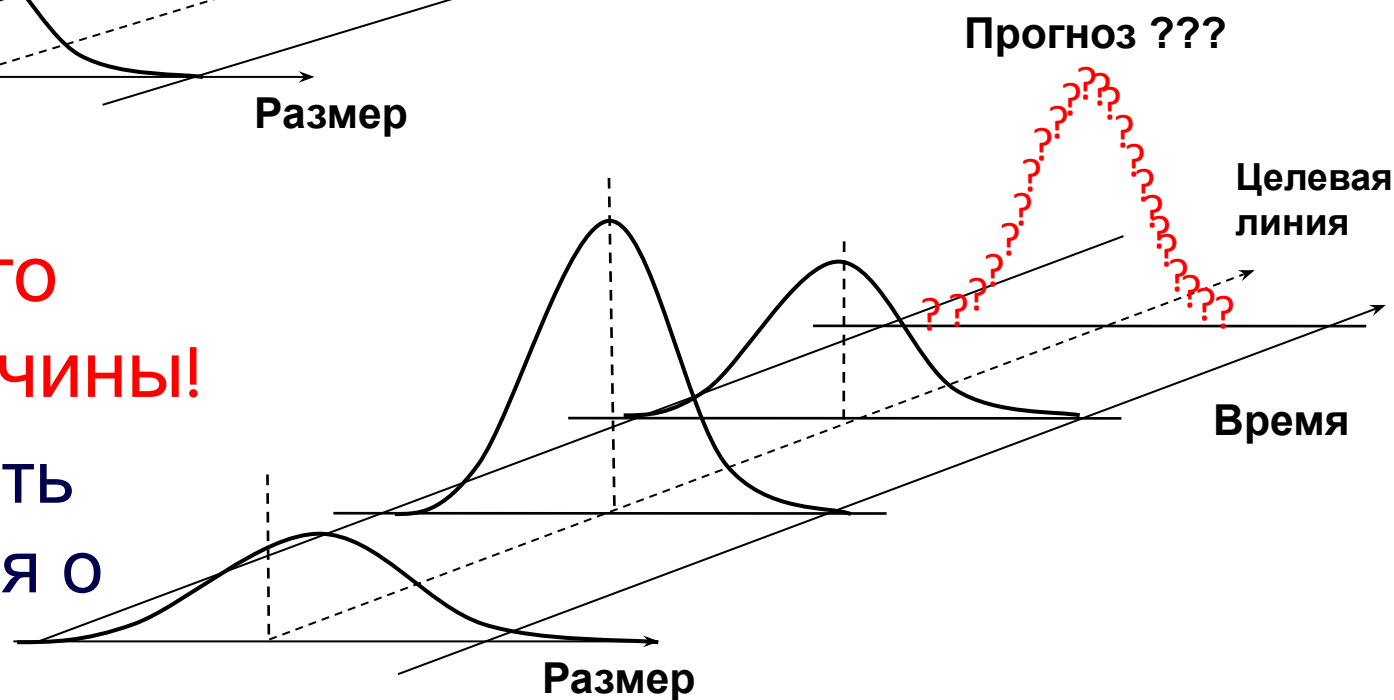
Действие обычных и особых причин

Действуют
ТОЛЬКО
обычные
причины!



Имеют место
особые причины!

Нельзя делать
предсказания о
процессе!



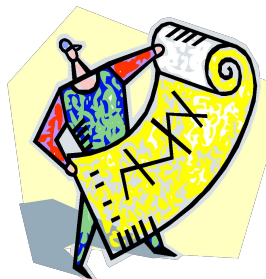
Локальные действия и действия над системой



Локальные (оперативные) действия:



- устраняют особые причины;
- выполняются рабочим персоналом;
- **исправляют около 15% проблем в процессе.**



Действия над системой:

- устраняют обычные причины;
- выполняются менеджерами по качеству;
- **исправляют около 85% проблем в процессе.**

Воспроизводимость и пригодность процесса

- **Воспроизводимость процесса** определяется изменчивостью, которая происходит от обычных причин, – это наилучшие возможности процесса в статистически управляемом состоянии.
- **Пригодность процесса** – общий выход процесса и его соответствие установленным требованиям (допуску) безотносительно к изменчивости.

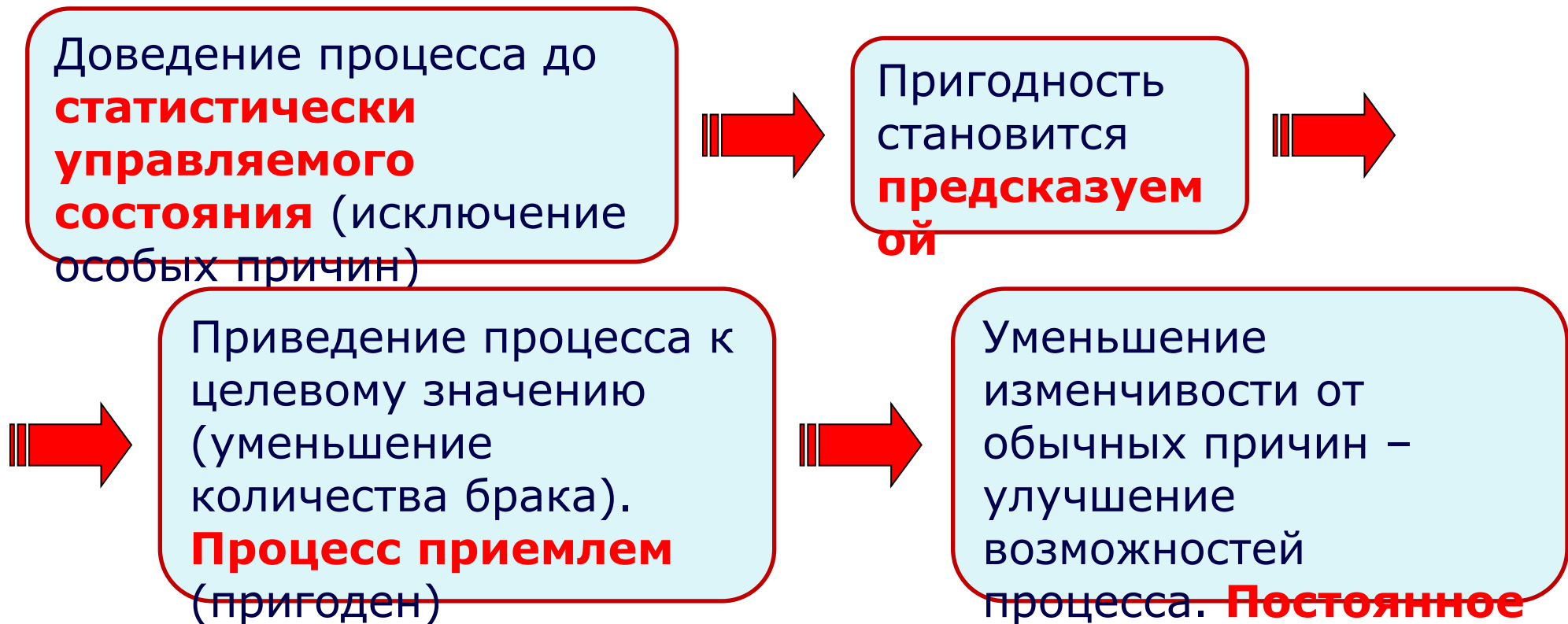


Пригодность наибольшим образом интересует потребителя (как внутреннего, так и внешнего).

Автомобильные компании зачастую выставляют требования к воспроизводимости процессов!



Управление и возможности процесса



Чтобы быть приемлемым, процесс должен находиться в статистически управляемом состоянии, и присущая ему изменчивость (воспроизводимость) должна быть меньше, чем допуск.



Центр и Разброс



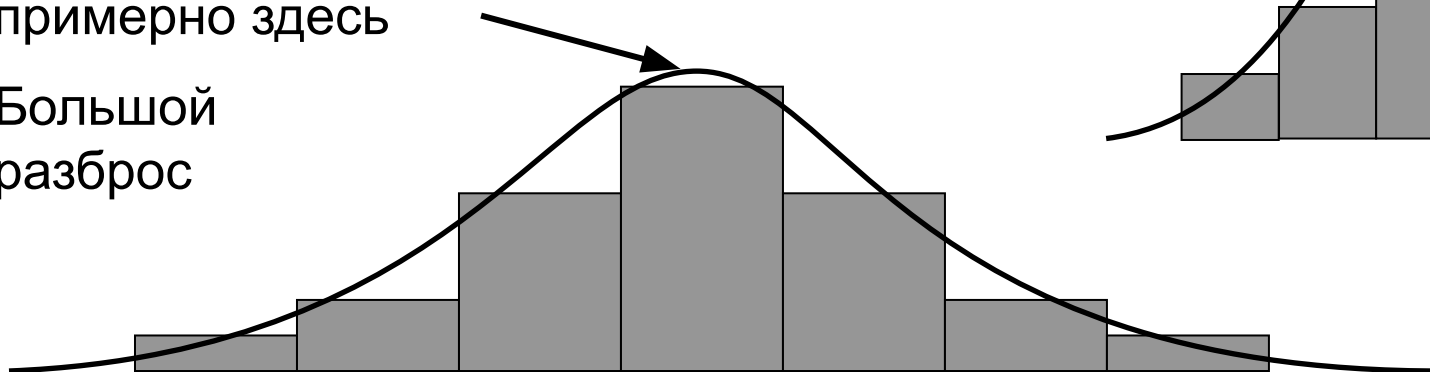
Два важнейших свойства (характеристики) любого множества данных – это:



- Центр (среднее)
- Разброс

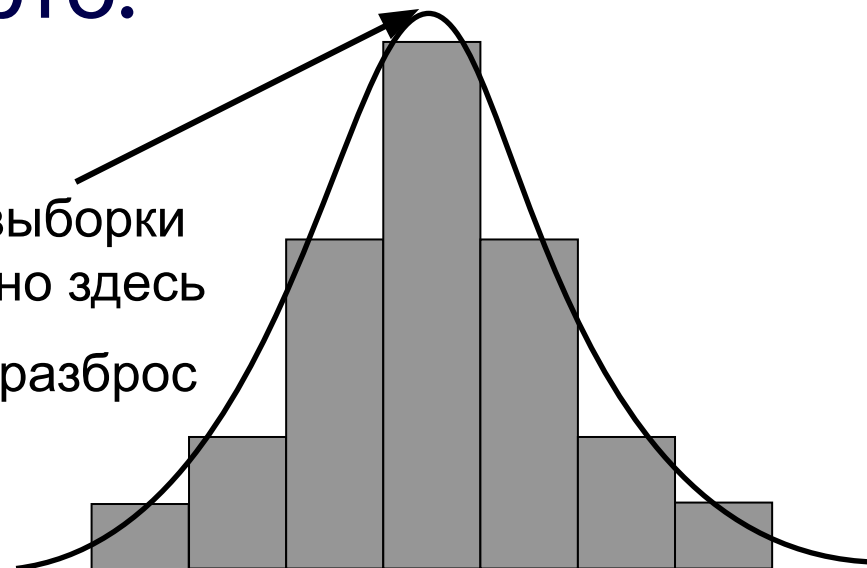
Центр выборки примерно здесь

Большой разброс




Центр выборки примерно здесь

Малый разброс




Среднее (Центр)


- Среднее арифметическое (усредненное)
 – это сумма данных, поделенная на количество частных значений.
- Средняя величина выборки представлена «x с чертой»:


$$\bar{X} = \frac{\text{сумма}}{n} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$$

Медиана (Центр)

-  Это средняя точка множества данных, в том случае, если ряд чисел упорядочен по возрастанию:
- **для нечетного количества частных данных** - это среднее число (середина множества);
 - **для четного количества частных данных** – это среднее арифметическое двух чисел, ближайших к середине.

Как измеряется разброс

 **Размах** – разброс от наибольшего до наименьшего значения.

 **Стандартное отклонение** – разброс относительно средней величины.

Стандартное отклонение

Для генеральной совокупности

$$\sigma = \sqrt{\sigma^2} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \mu)^2}{N}}$$

Для выборки

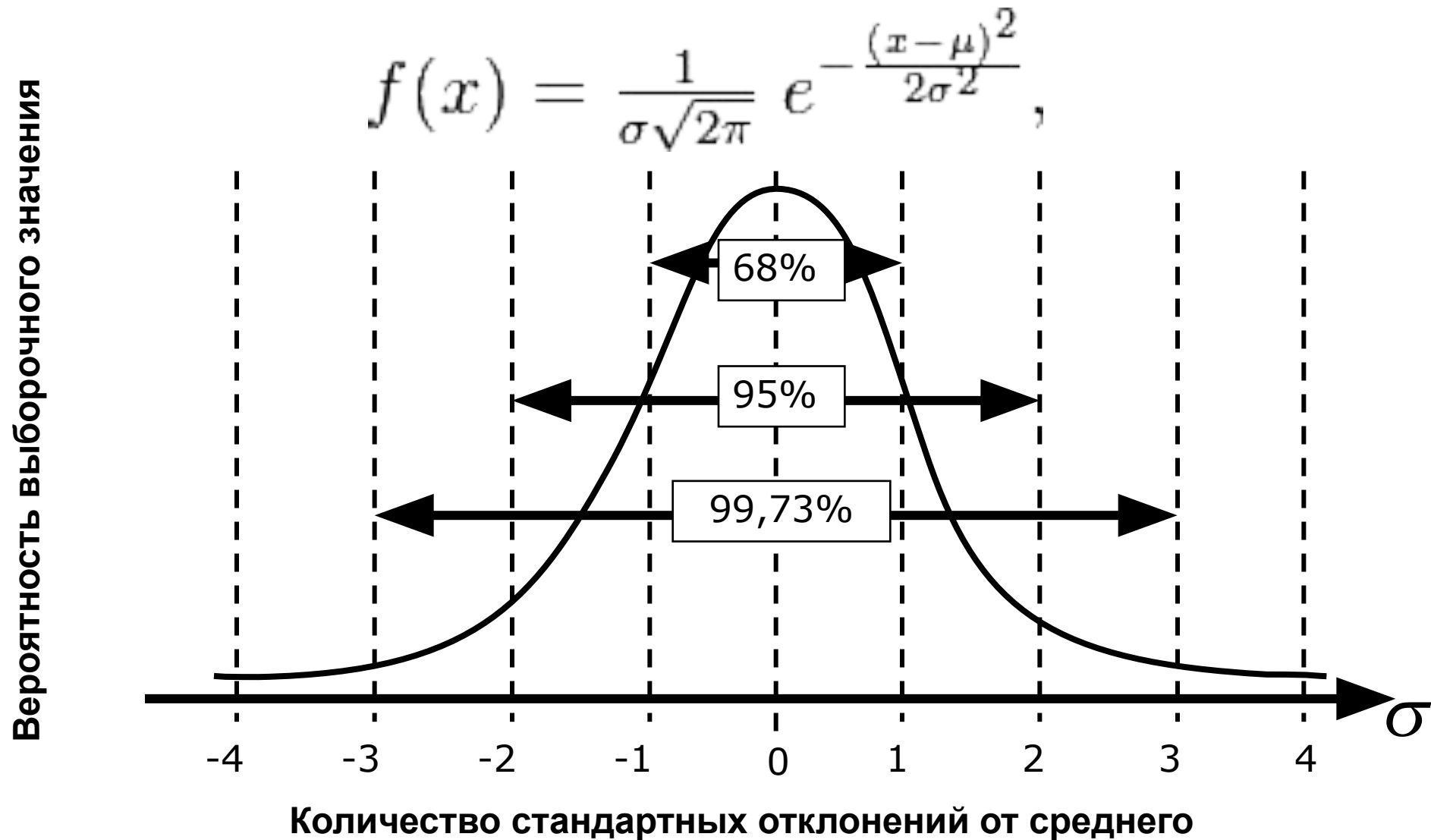
$$S = \sqrt{S^2} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}$$

σ - стандартное отклонение совокупности S – выборочное стандартное отклонение

σ^2 - дисперсия S^2 – выборочная дисперсия

μ - математическое ожидание (оценка среднеквадратического отклонения)

Стандартные отклонения от среднего



Обзор семи простых методов

Семь простых методов

– семь инструментов качества:



1. Контрольные листки;
2. Гистограммы;
3. Диаграмма Парето;
4. Диаграмма Исикавы «Причина-следствие»;
5. Диаграмма разброса;
6. Стратификация;
7. Контрольные карты.

1. Контрольные листки



- Контрольный листок служит средством сбора и упорядочения первичных данных. Используется:
 - для получения ответа на вопрос: «Как часто встречается изучаемое событие?»;
 - в качестве первичной информации для дальнейшего анализа, корректировки и улучшения процесса.
- Предназначен для:
 - а) регистрации контролируемых параметров;
 - б) облегчения сбора данных;
 - в) автоматического упорядочивания данных.
- Должен удовлетворять условиям:
 - а) простота фиксации результатов наблюдений;
 - б) наглядность полученных результатов;
 - в) полнота данных.
- Заполняет контролер или рабочий.

Виды контрольных листов (КЛ)

Виды различных КЛ исчисляются сотнями, и, в принципе, для каждой конкретной цели может быть разработан свой листок. Но принцип оформления КЛ остается неизменным.



Оформление контрольных листков

Правила составления контрольных листков:



- 1) Решить, какие данные будут собираться, определиться с очередностью сбора информации.
- 2) Определить период времени, в течение которого будет проводиться сбор информации.
- 3) Сформулировать заголовок, отражающий тип собираемой информации.
- 4) Указать источник данных.
- 5) Составить перечень контролируемых характеристик.
- 6) Разработать бланк – стандартную форму регистрации данных, максимально удобную для заполнения в соответствии с принятыми правилами.

Контрольный листок видов дефектов

Цех: _____ Участок: _____ Контролер: _____ Дата: _____	Изделие: _____ Номер партии: _____ Операция: _____	Количество деталей
Тип дефектов	Данные контроля	ИТОГО
<i>Поверхностные царапины</i>	<i>IIII IIII IIII IIII II</i>	22
<i>Трещины</i>	<i>IIII IIII IIII IIII IIII III</i>	28
<i>Раковины</i>	<i>IIII IIII IIII III</i>	19
<i>Сколы</i>	<i>IIII I</i>	6
<i>Деформации</i>	<i>IIII IIII IIII IIII I</i>	21
<i>Прочие</i>	<i>IIII IIII III</i>	14
ИТОГО		
Примечания		

Контрольный листок причин дефектов

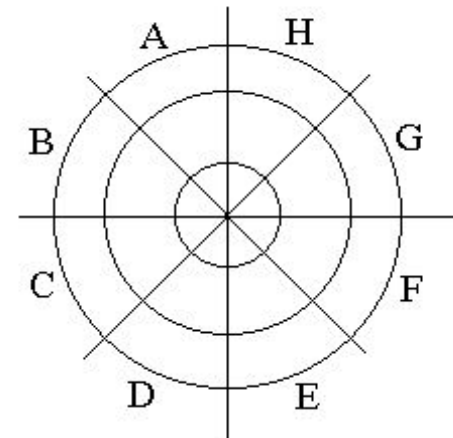
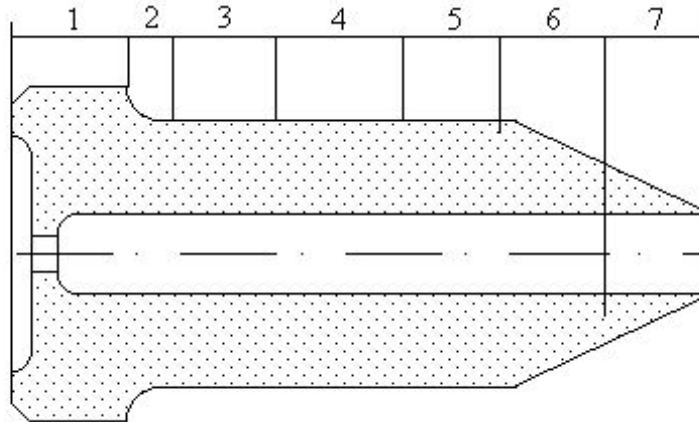


- Используется для регистрации информации о дефектах, допущенных не только по вине рабочего или причине плохой наладки станка, но и для определения появления брака, вызванного усталостью рабочего во второй половине дня или изменением условий его работы
- - Поверхностные царапины
- ♣ - Раковины
- - Неправильная форма
- ▲ - Дефекты конечной обработки

Контрольный листок причин дефектов


Станок	Рабочий	Понедельник		Вторник		Среда		Четверг		Пятница		Суббота		Всего
		до обеда	после обеда	до обеда	после обеда	до обеда	после обеда	до обеда	после обеда	до обеда	после обеда	до обеда	после обеда	
1	А	○○	○	○○○	○	○○○	○○○○	○○○○	○	○○○○	○○	○		25
		♣	♣		♣♣	♣♣♣	♣♣♣	♣	♣♣				♣♣	15
		●				●		●●					●	5
	В	○	○○○	○○○○○	○○○	○○○○○	○○○○○	○○○○○	○○○	○○	○○○○○	○○	○○○○	46
		♣♣	♣♣♣	♣♣	♣♣	♣♣	♣	♣♣	♣	♣♣		♣	♣♣	20
		●	●			●	●		●●	●			●	8
2	С	○○	○	○○		○○○○○	○○○○○	○○	○	○○	○○	○	○	25
		♣	♣				♣							3
					●				●					2
										▲		▲		2
											□		□	2
	D	○○	○	○○	○○○	○○○	○○○○○	○○	○○	○○	○	○○	○	26
♣♣						♣					♣	♣♣	6	
				●	●		●			●●			5	
			▲		▲			▲	▲▲				5	
									□		□		2	
Итого		27		29		53		33		30		25		

КЛ по месту расположения дефектов



№ сегмента	Вдоль оси							Количество дефектов
	1	2	3	4	5	6	7	
A			<i>I</i>					1
B								
C								
D								
E	<i>III</i>		<i>IIII I</i>					9
F	<i>I</i>	<i>II</i>						3
G								
H								
Итого	4	2	7					

КЛ распределения измеряемого параметра

-  Контрольный листок для регистрации распределения измеряемого параметра в ходе производственного процесса – позволяет выявить изменения параметра изделия после выполнения технологических операций.
- Как правило, такие листки заполняются для анализа технологического процесса путем построения гистограмм.

КЛ распределения измеряемого параметра

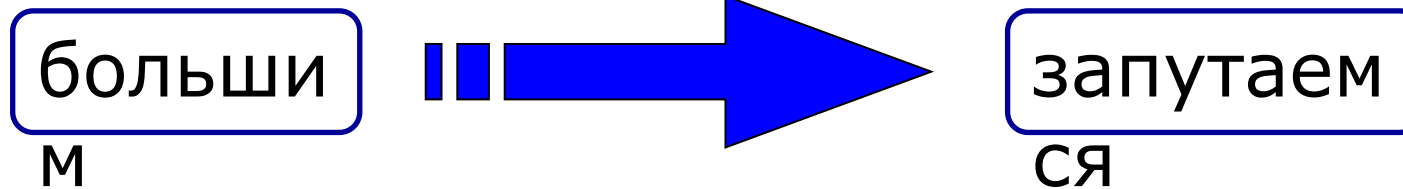
Операция_____		Номинал	Наименование изделия: <u>интегральный пинч-резистор</u>																Дата	
Участок_____		Допуск	Размер выборки: <u>50</u>																	
Контролер_____			№ и обозначение выборки: <u>№1- х; №2 - #.</u>																	
Допуск	Границы интервала	Граница интервала в кодах																	Отн. частота	
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16		
1100		ВГД																		
	1060-1080	3...4	x																	1
	1040-1060	2...3	x	#																2
	1020-1040	1...2	x	x	x	#	#	#	#	#	#									9
	1000-1020	0...1	x	x	x	x	x	x	#	#	#	#								10
	980-1000	-1...0	x	x	x	x	x	x	x	#	#	#	#	#	#	#				14
	960-980	-2...-1	x	x	x	#	#	#	#	#										8
	940-960	-3...-2	x	x	x	#	#													5
	920-940	-4...-3	x																	1
900		НГД																		

2. Гистограммы

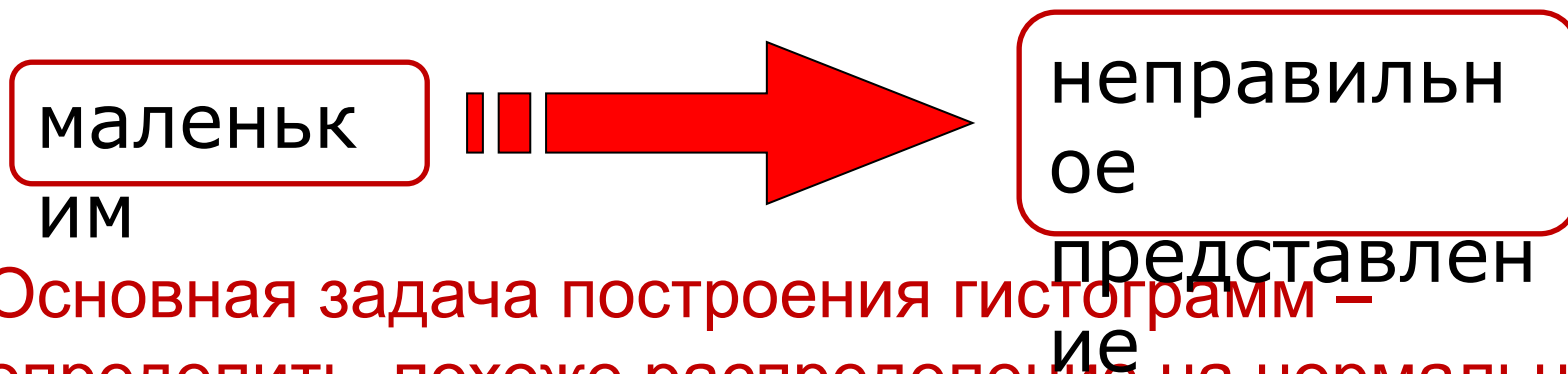


Гистограмма дает визуальное представление о виде генеральной совокупности.

При этом количество данных может быть:



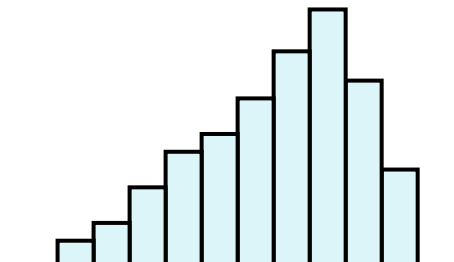
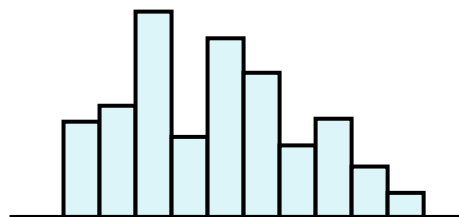
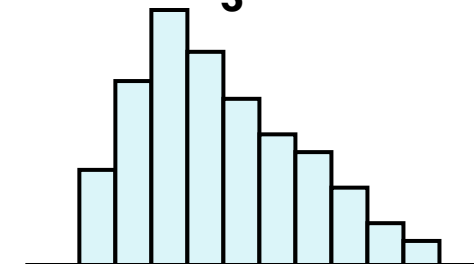
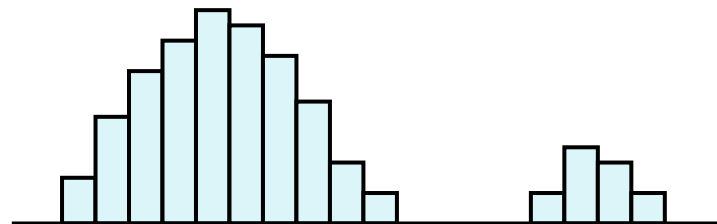
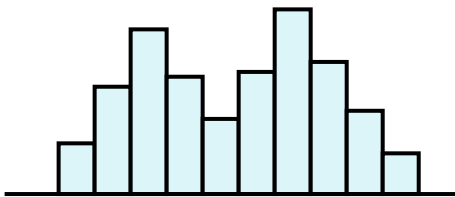
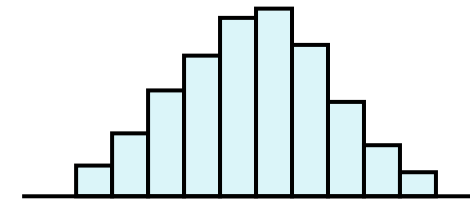
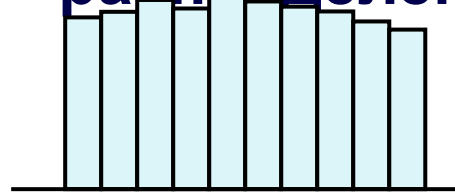
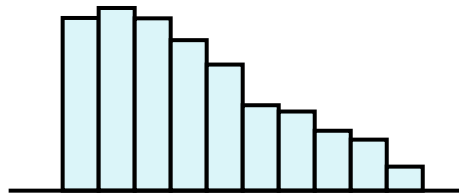
ИЛИ



Основная задача построения гистограмм – определить, похоже ли распределение на нормальное или нет.

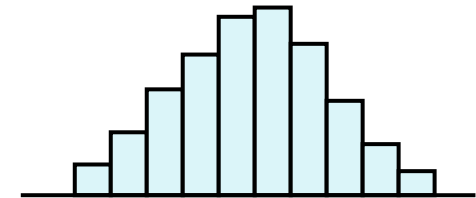
Нормальное распределение

Какой рисунок соответствует нормальному распределению?



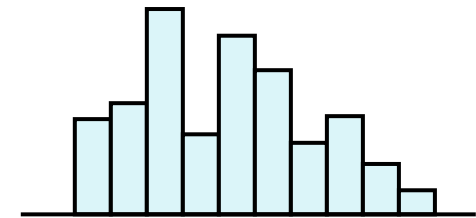
Классификация гистограмм

1. **Симметричная (обычная)** –должна стремиться к закону Гаусса (нормальное распределение)



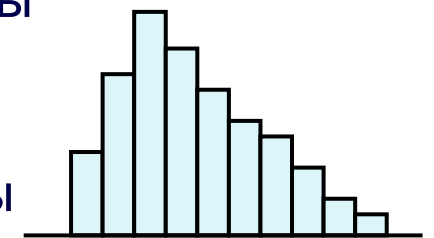
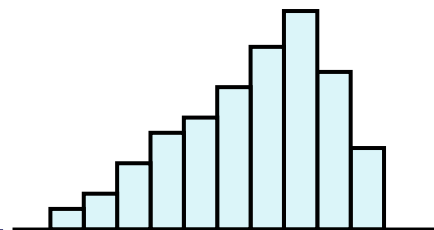
2. **Гребенка (мультимодальная)** – когда количество случайных величин:

- колеблется от класса к классу (слишком маленький размер класса);
- введено особое правило округления.



3. **Гистограмма с асимметрией** (положительная и отрицательная)

- Процесс смещен к границе допуска;
- отсортированы результаты, выпадающие за пределы границ допуска,
- физические ограничения (природа процесса не позволяет достичь значений, выходящих за границы допуска)

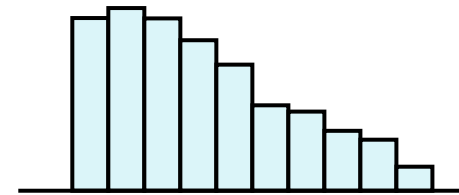


Классификация гистограмм

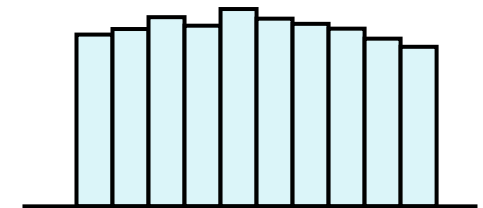
4. Гистограмма с обрывом

(слева или справа):

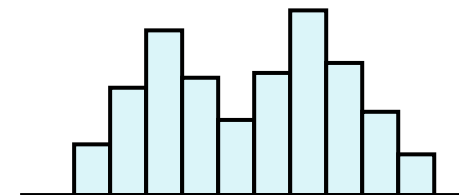
- если сортируются данные;
- регулировка.



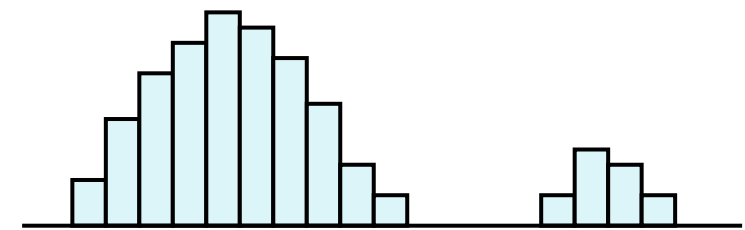
5. «Плато» – после отбраковки.



6. Бимодальная – смешаны две партии.



7. Гистограмма с изолированным пиком – может быть смесь распределений.



Методика построения гистограмм

1. Выбор размаха (диапазона)

$$D = R_{\max} - R_{\min}$$

2. Определение числа интервалов (классов)

n – величина выборки

$$k = 1 + 3,2 \cdot \lg n$$

3. Определение размера интервала (класса)

$$\Delta = \frac{D}{k}$$

4. Определение m_i – число случайных величин, попадающих в i -й интервал (сортировка)

5. Определение накопления частот k -ого интервала (абсолютных)

$$m_{ni} = \sum_{i=1}^k m_i$$

Построение гистограммы

1. На горизонтальной оси откладываются интервалы (классы) в соответствии с масштабом.
2. Важно правильно выбрать масштаб на горизонтальной оси, ориентируясь на круглые значения.
3. Перед первым интервалом и после последнего интервала оставить по 2 интервала свободного места.
4. На левой вертикальной оси наносится шкала m_i .
5. На правой вертикальной оси наносится шкала частот.
6. В соответствии с частотами попадания в

Построение гистограммы

7. На гистограмму наносятся линии, соответствующие номиналу N , границам допусков SL , SU ; среднему значению m_{Ru} ; σ_{Ru} .
8. На гистограмме строится полигон (соединяются точки середин верхних частей прямоугольников).
10. На чистом поле гистограммы показать:
 1. время создания гистограммы;
 2. число данных (n);
 3. m_u (в имен. единицах);
 4. σ_u ;
 5. коэффициент асимметрии;
 6. коэффициент эксцесса.

3. Диаграмма Парето

В 1897 г. итальянский экономист Вильфредо Парето вывел формулу, которая описывает распределение богатств в мире:



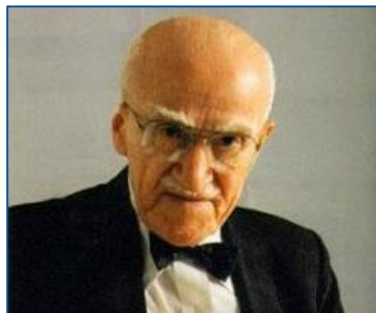
80 / 20



Vilfredo Pareto
(1848
— 1923)

**«80% богатств в мире
распределены между 20%
населения»**

В 50-х годах 20-го века Джозеф Джуран применил эти наработки в области качества и ввел понятие «*Диаграмма Парето*»



Joseph Juran
(1904

— 2008)
v.1.4/2014

Диаграмма Парето

Построение диаграмм Парето – метод определения немногочисленных **существенно важных факторов**.

Различают два вида таких диаграмм:

- **Диаграмма Парето по результатам деятельности.** Эта диаграмма предназначена для выявления главной проблемы и отражает нежелательные результаты деятельности (дефекты, поломки, затраты, нехватка запасов, несчастные случаи).

- **Диаграмма Парето по причинам.** Эта диаграмма отражает причины проблем, возникающих в ходе производства, и используется для выявления главной из них.

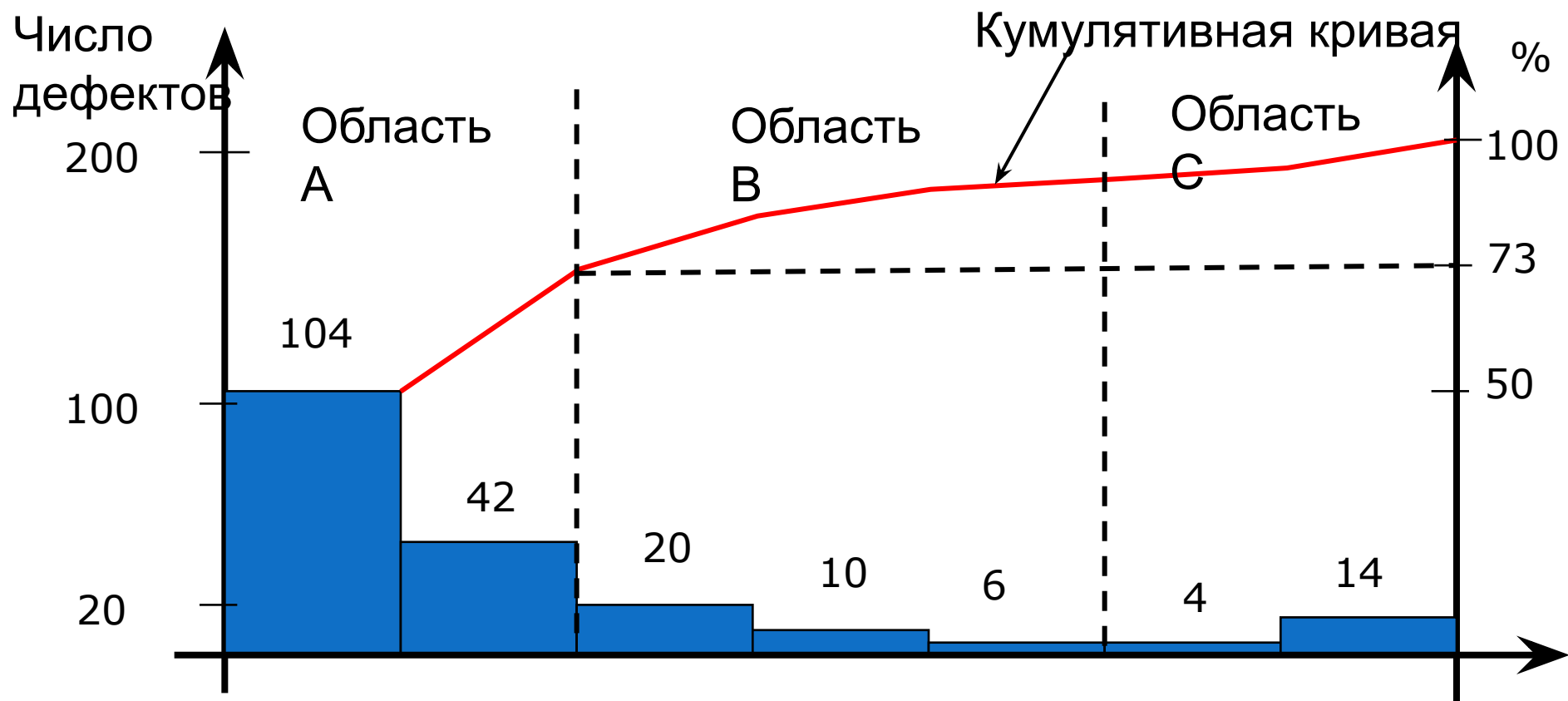
Методика построения диаграммы Парето

1. Собрать данные.
2. Разработать и заполнить таблицу Парето.
3. Построить оси, нанести шкалы.
4. Построить диаграмму.
5. Построить кумулятивную кривую (по накопленной сумме дефектов).
6. Нанести на диаграмму все обозначения и надписи (расшифровка названий дефектов, количество объектов контроля, информация о составителе диаграммы и так далее).

Пример таблицы Парето

Обо знач	Типы дефектов	Число деф-ов	Накопл. сумма деф-ов	% числа деф-ов	Накопл. %
Г	Нарушение герметичности	104	104	52	52
Б	Дефект пайки	42	146	21	73
Е	Неполная вставка трубки	20	166	10	83
А	Дефект сборки	10	176	5	88
В	Несоответствие размеров	6	182	3	91
Д	Повреждение корпуса	4	186	2	93
П	Прочие	14	200	7	100

Пример диаграммы Парето



Два дефекта определяют 73% брака. Если мы удалим их причину, то уменьшим количество брака на 73%.

Анализ:

- A – 75% (70-80)
- B – 20% (15-20)
- C – 5-10%

4. Диаграмма «Причина – следствие»

- Каору Исикава говорил, что те, кто преуспел в решении проблем качества – освоили построение диаграммы «Причина – следствие».
- Диаграмма причин и результатов – это диаграмма, которая показывает отношение между показателем качества и воздействующими на него факторами.



Kaoru Isikawa
(1915
— 1989)

Диаграмма «Причина – следствие»

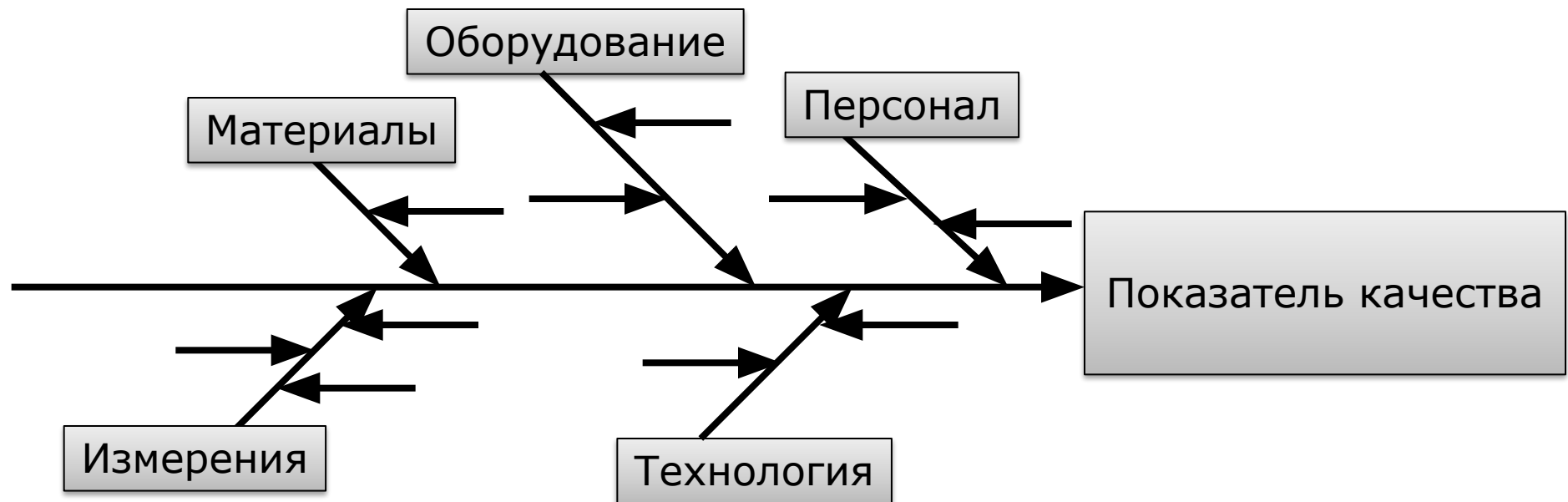
Отправной точкой служит правило 5М:

- М1 – machine (оборудование);
- М2 – material (материал);
- М3 – man (персонал);
- М4 – method (технология);
- М5 – measure (измерение).

Иногда к этим пяти основным причинам прибавляют еще две (получается правило 7М):

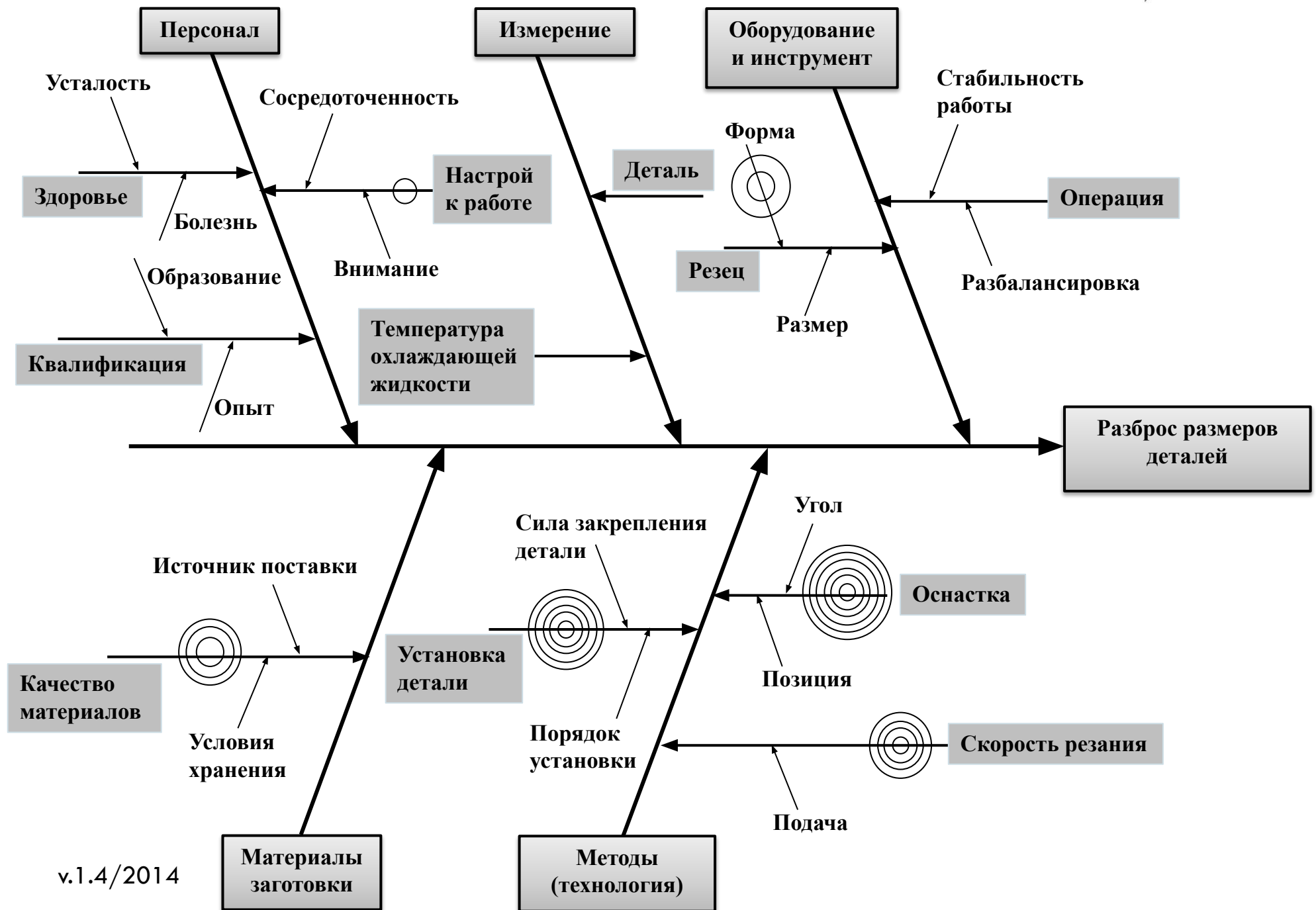
- М6 – management (управление);
- М7 – milieu (окружающая среда) или moral (этика).

Диаграмма «Причина – следствие»



Порядок составления диаграммы Исикавы:

- Определяется показатель качества, и он записывается в прямоугольник справа от большой стрелки.
- Помечаются главные причины – причины первого уровня.
- Находятся причины второго уровня.
- Причины третьего уровня.
- Методом «мозгового штурма» или «экспертным» проводятся ранжирование причин – определяются важные причины (для определения тех, с которыми проводить работу (см. раздел «Диаграмма Парето»)).
- Наносятся на диаграмму наименование, ФИО оператора и т.д.



5. Диаграмма разброса (рассеяния)



Диаграмма разброса – инструмент, позволяющий определить вид и тесноту связи между парами соответствующих переменных.

Эти две переменные могут относиться к:

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



При наличии корреляционной зависимости значительно облегчается контроль процесса с технологической, временной и экономической точек зрения.

Построение диаграммы разброса:

Этап 1. Соберите парные данные.

Этап 2. Найдите максимальные и минимальные значения из выбранных данных. Выберите шкалы.

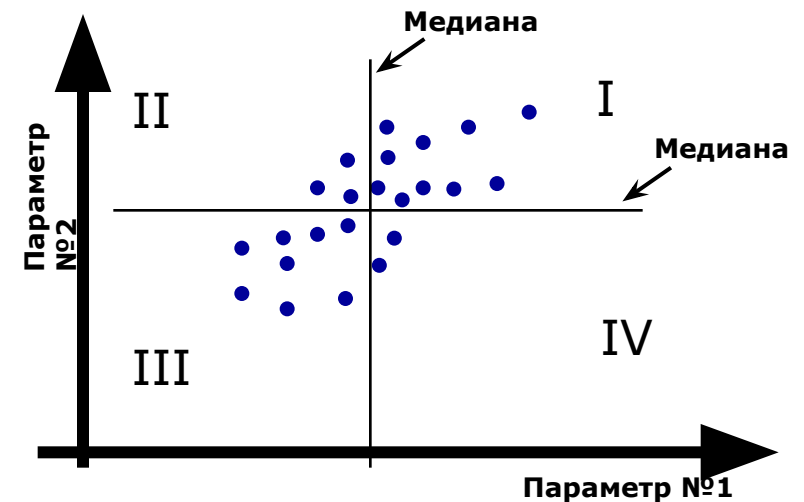
Этап 3. Нанесите на график данные.

Этап 4. Сделайте все необходимые обозначения.



Пример анализа диаграммы разброса

1. Строим медианы для каждой выборки (вертикальную и горизонтальную прямые).
2. Получаем 4 квадранта.
3. Считаем количество точек попавших в каждый квадрант.
4. Точки, совпадающие с медианами, не учитываются.
5. Складываем количество точек, попавших в противоположные квадранты.
6. Находим минимальное из них.
7. Сравниваем минимум с табличным значением для выборки данного объема.
8. Если минимум меньше – корреляция есть. Если минимум больше – корреляции нет.



К	n код	
	p=0,99	p=0,95
20	3	5
21	4	5
22	4	5
23	4	6
24	5	6
25	5	7

6. Стратификация

- Стратификация – процесс сортировки данных согласно некоторым критериям или переменным, результаты которого часто показываются в виде диаграмм и графиков.
- Проводят расслаивание статистических данных, т.е. группируют данные в различные группы (или категории) в зависимости от условий их получения или характеристик и производят обработку каждой группы данных в отдельности.
- Стратификация – основа для других инструментов, таких как анализ Парето или диаграммы рассеивания. Такое сочетание инструментов делает их более мощными.



Критерии сортировки

Расслаивание может осуществляться по следующим критериям:

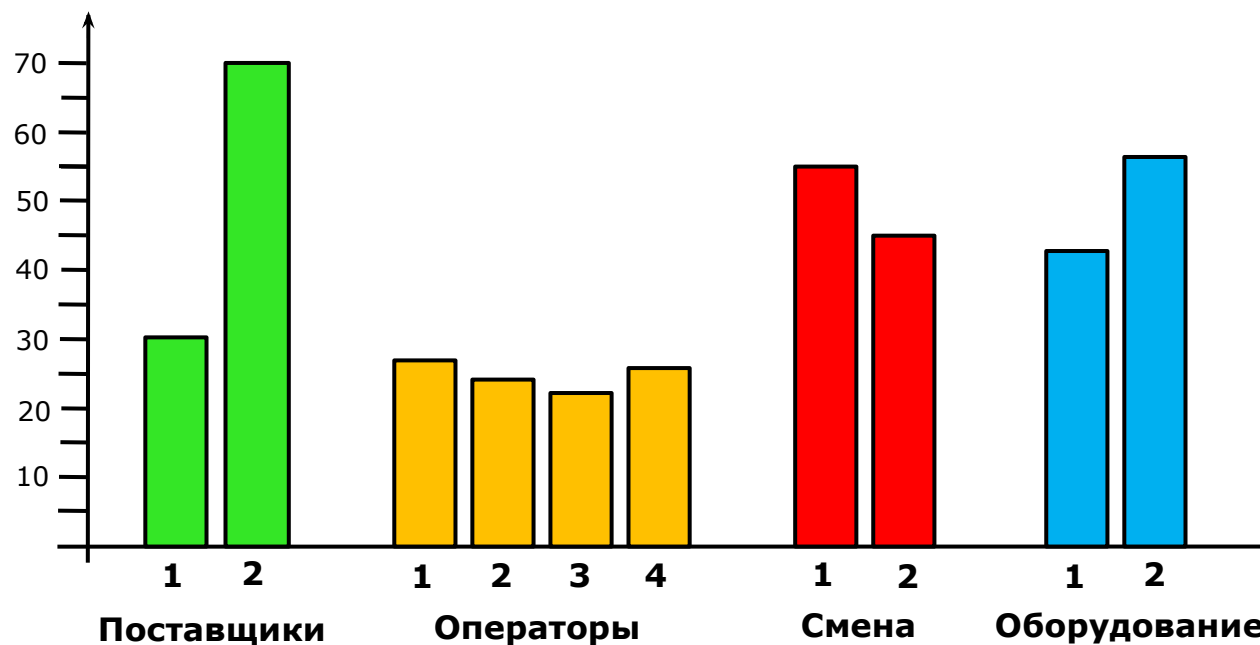


- расслаивание по исполнителям — по квалификации, полу, стажу работы и т.д.;
- расслаивание по машинам и оборудованию — по новому и старому оборудованию, марке, конструкции, выпускающей фирме и т.д.;
- расслаивание по материалу — по месту производства, фирме-производителю, партии, качеству сырья и т.д.;
- расслаивание по способу производства — по температуре, технологическому приему, месту производства и т.д.;
- расслаивание по измерению — по методу, измерения, типу измерительных средств или их точности и т.д.

Пример использования стратификации

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

% дефектов



7. Контрольные карты и анализ возможностей процесса

Контрольные карты

Контрольные карты (контрольные карты



Walter Shuhart
(1891 — 1967)

инструмент, позволяющий отслеживать изменение показателя качества во времени для определения стабильности технологического процесса, а также корректировки процесса для предотвращения выхода показателя качества за допустимые пределы.

Контрольные карты

- Наиболее универсальным, эффективным и удобным средством решения задач определения особых причин изменчивости процессов среди всех методов являются контрольные карты.



- Контрольные карты (КК) были разработаны в 1924 году Вальтером Шухартом в американской лаборатории Bell Telephone Laboratories.



- Контрольные карты эффективно концентрируют внимание на особых причинах, когда они появляются, и отражают влияние обычных



До начала применения КК должно быть

1. Создана благоприятная окружающая среда (условия для проведения измерений).
2. Определен процесс измерения.
3. Определены характеристики, которые будут наноситься на контрольную карту.
4. Определена измерительная система.
5. Минимизирована изменчивость (отсутствие случайных условий).



Виды контрольных карт

Существует 2 основных вида контрольных карт:

- **Карты по количественному признаку:**
используются при наличии результатов измерений процесса (количественные данные).

- **Карты по качественному (альтернативному) признаку:** используются при наличии **только двух значений** данных (т.е. *соответствует/не соответствует, проходит/не проходит*) или если качественные данные могут быть сосчитаны для регистрации и анализа (т.е. количество дефектной продукции в партии).

Виды контрольных карт

I. Контрольные карты Шухарта для количественных данных:

- \bar{X} -R – КК средних значений и размахов;
- \bar{X} -s – КК средних значений и стандартных отклонений;
- \bar{X} -R – КК медиан и размахов;
- \bar{X} -MR – КК индивидуальных значений и скользящих размахов.

II. Контрольные карты Шухарта по альтернативному признаку:

- np – КК числа **дефектных изделий** для одинаковых выборок;
- p – КК доли **дефектных изделий** для разных выборок;
- c – КК числа **дефектов** для одинаковых размеров деталей;

I. Количественные контрольные карты

Достоинства количественных КК:

1. Численное значение содержит больше информации, чем простое отображение альтернативной информации «да-нет».
2. Хотя получение количественных измерений обходится дороже, чем получение измерений по альтернативному признаку (например, «да-нет»), их требуется меньше для получения большей информации о процессе, что экономически выгоднее.
3. Временная задержка между изготовлением продукции и корректирующими действиями часто может быть сокращена, благодаря меньшему числу единиц, необходимых для проверки.
4. Улучшение процесса может быть оценено количественно.



Пример КК средних и размахов

Выводы: процесс стабилен

$$UCL_{\bar{X}} = 3,39$$

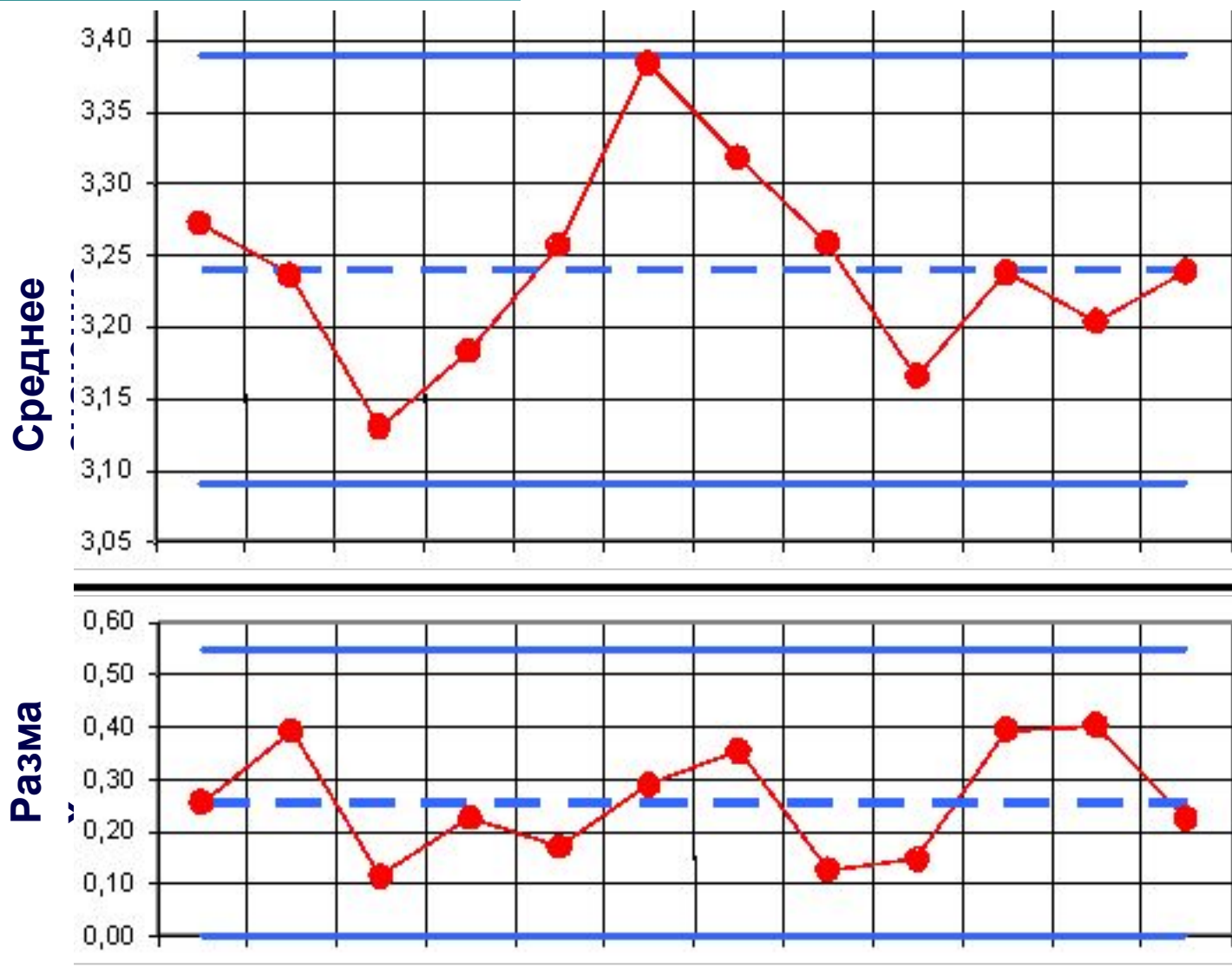
$$\bar{\bar{X}} = 3,24$$

$$LCL_{\bar{X}} = 3,09$$

$$UCL_R = 0,55$$

$$\bar{R} = 0,26$$

$$LCL_R = 0,00$$



Карты средних и размахов

Этапы заполнения:

1. Сбор данных. Подгруппы берутся последовательно во времени, например, каждые 15 минут или дважды в смену. Цель – обнаружить возможные изменения в процессе. Число подгрупп обычно 25 и более объемом 4-5 единиц (должны содержать 100 деталей и более) – дают хороший тест на стабильность.

2. Вычисление средних значений:

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

n - количество данных в подгруппе (n = 5)

Результат подсчитывается с одним лишним десятичным знаком по сравнению с исходными данными.

3. Вычисление общего среднего:

$$\bar{\bar{x}}_j = \frac{\sum_{j=1}^k \bar{x}_j}{k}$$

k - количество подгрупп (k=25)

Результат подсчитывается с двумя лишними десятичными знаками по сравнению с исходными данными.

Карты средних и размахов

Этапы заполнения:

4. Вычисляется размах R в каждой подгруппе:

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

5. Средний размах:

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

Результат подсчитывается с двумя лишними десятичными знаками по сравнению с исходными данными.

6. Контрольные линии:

1. Средняя линия (Central Line)
2. Верхняя граница управляемости (Upper Control Limit)
3. Нижняя граница управляемости (Low Control Limit)

$$CL_{\bar{x}} = \bar{\bar{x}}$$

$$UCL_{\bar{x}} = \bar{\bar{x}} + A_2 \bar{R}$$

$$LCL_{\bar{x}} = \bar{\bar{x}} - A_2 \bar{R}$$

A_2 рассчитывается исходя из предположения нормального закона распределения (берется из таблиц).

Карты средних и размахов

Этапы заполнения:

Аналогично контрольные линии
определяются для размахов:

$$CL_R = \bar{R}$$

$$UCL_R = D_4 \bar{R}$$

$$LCL_R = D_3 \bar{R}$$

(для $n < 7$ LCL не рассматривается, так как в этом случае $D_3 = 0$)



Таблица коэффициентов:

n	R			
	A ₂	D ₃	D ₄	d ₂
2	1.880	0	3.267	1.128
3	1.023	0	2.575	1.693
4	0.729	0	2.282	2.059
5	0.557	0	2.115	2.326
6	0.483	0	2.004	2.534
7	0.419	0.076	1.924	2.704

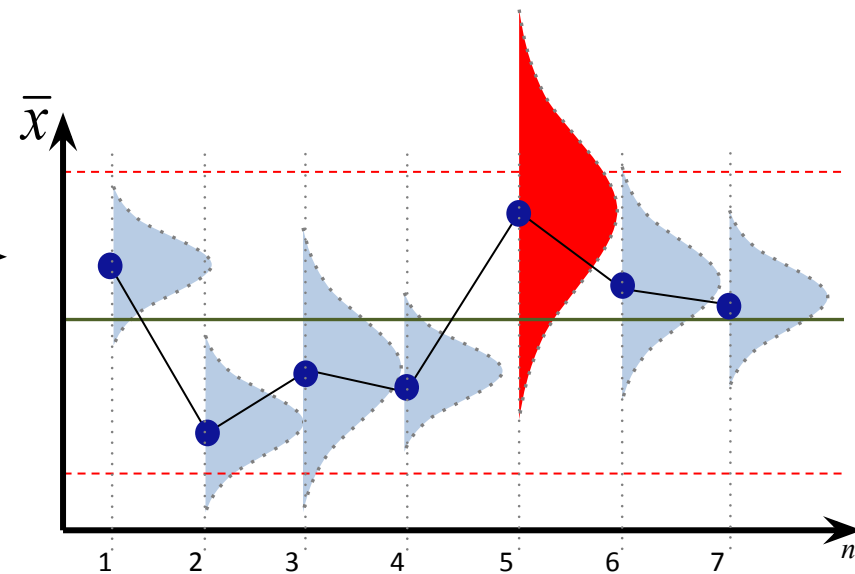
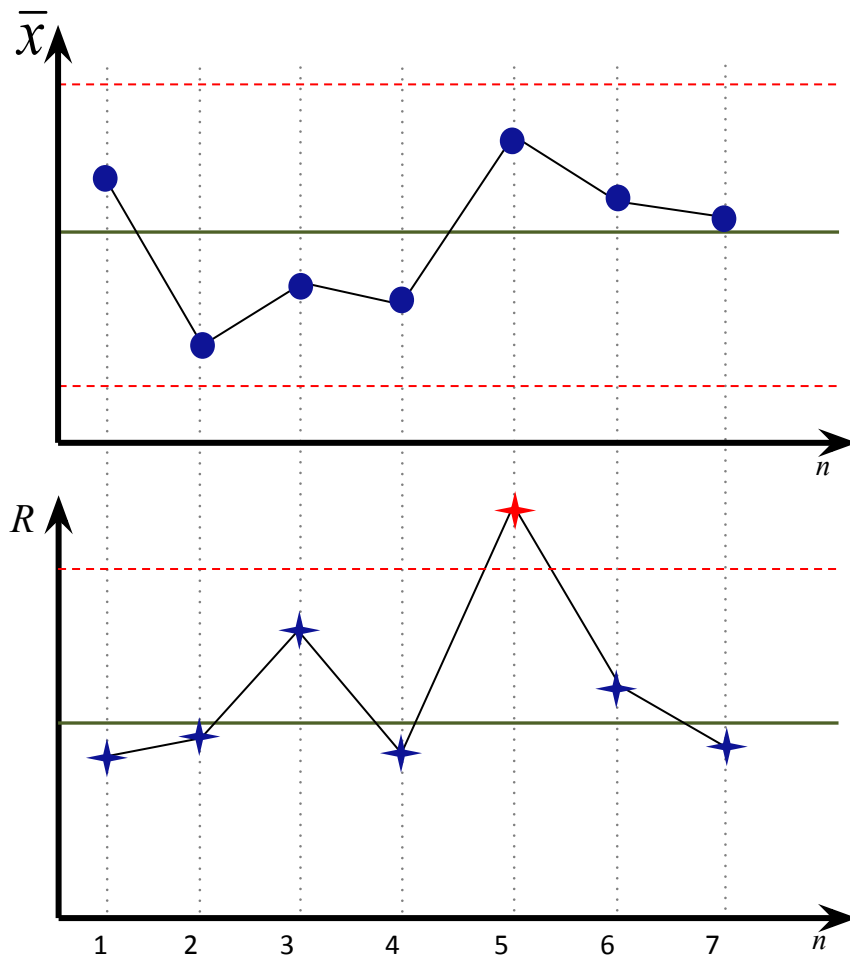
Карты средних и размахов

7. Нанесение контрольных линий. На вертикальной оси нужно построить шкалу так, чтобы верхний и нижний пределы разносились на 20-30 мм. Центральная линия делается сплошной, контрольные пределы - пунктирными. Горизонтальная ось содержит номера подгрупп.
8. Нанесение точек. Для каждой подгруппы точки наносятся одновременно на обе карты. Нужно отметить разными значками точки для карт X и R. Точки, которые выходят за контрольные линии, должны отмечаться особо (например, красным).
9. На карте должна содержаться следующая информация:
 - наименование компонента;
 - объем подгруппы;
 - название процесса;
 - период времени, когда собиралась информация;
 - метод измерения;
 - смена, оператор.

Изучение карты размахов

- Сначала изучается карта разбросов. Устраняются особые причины – процесс приводится в стабильное состояние.
- Появление одиночной точки вне контрольных границ является поводом для начала немедленного анализа процесса! 
- Все подгруппы, на которые повлияли особые причины, должны быть удалены из КК размахов (после устранения причин), контрольные границы на карте R и X должны быть пересчитаны.
- Процесс должен быть изменен так, чтобы особые причины не появились в дальнейшем! 

Изучение карты размахов

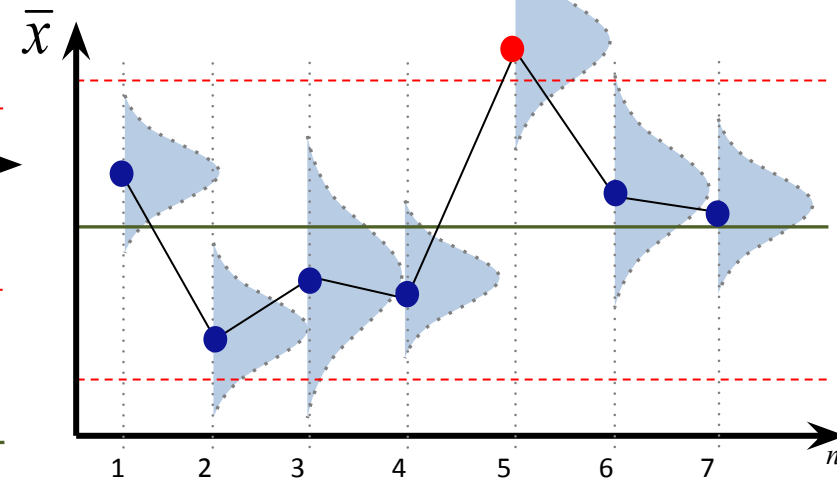
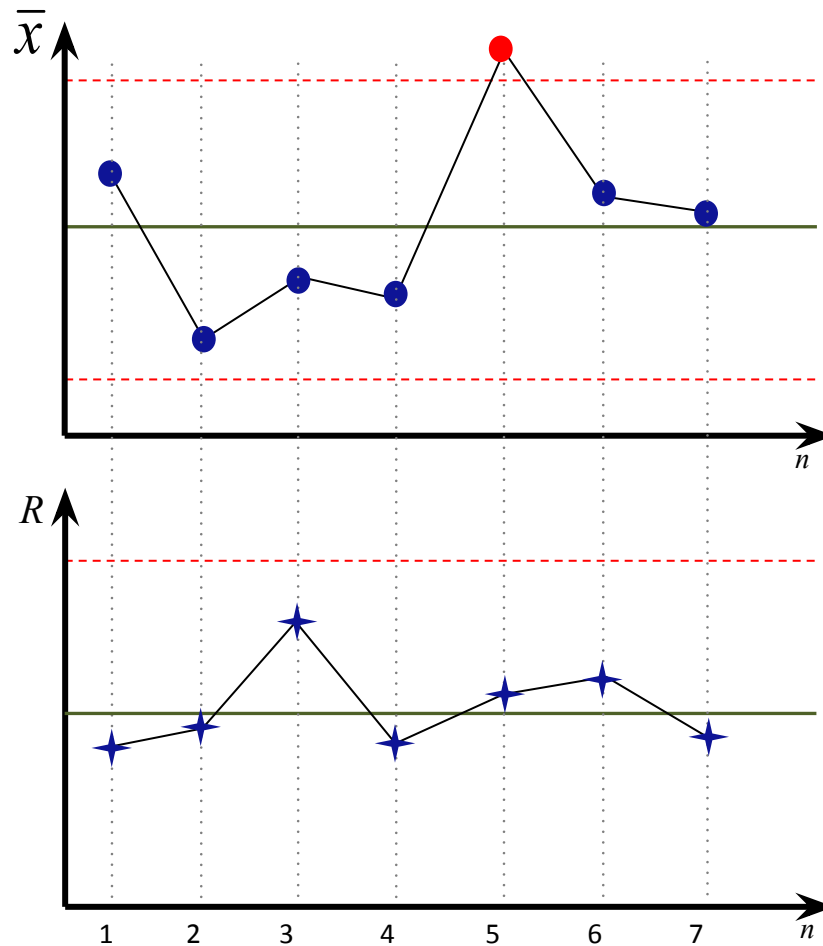


Процесс нестабилен по разбросу

Изучение карты средних

- После изучения и устранения особых причин, влияющих на разброс процесса, переходят к анализу причин по карте средних.
- По карте средних судят об управляемости процесса.
- При каждом указании на неуправляемое состояние на карте средних (выход за контрольные границы) проводится анализ работы процесса для того, чтобы определить причину.
- Точки выхода за контрольные границы удаляются, контрольные границы пересчитываются.

Изучение карты средних



Процесс неуправляемый по среднему значению

Карты индивидуальных значений и скользящих размахов (X-MR)

Ограничения контрольных карт индивидуальных значений и скользящих размахов:

1. Карты индивидуальных значений менее чувствительны при обнаружении изменений процесса (т.к. индивидуальное значение всегда менее точное, чем среднее).
2. Если распределение не симметрично, нужно проявлять осторожность при интерпретации таких карт.
3. Карты индивидуальных значений не воспроизводят повторяемость процесса от единицы к единице.
4. Значение средних линий может иметь значительную изменчивость при количестве измерений более 100.

Карты X-MR

Этапы заполнения:

1. Зафиксировать на КК индивидуальные значения (указываются слева на право по мере поступления).
2. Рассчитать и нанести значения скользящих размахов:
 1. Значений скользящих размахов на 1 меньше, чем индивидуальных значений.
 2. Иногда целесообразней вычислять скользящий размах для 2, 3 или 4 значений. Это надо учитывать при определении констант для построения контрольных границ.

Карты X-MR

Этапы заполнения:

3. Расчет контрольных границ:

- Для карты индивидуальных значений:
- Для карты скользящих размахов:

$$CL_{MR} = \bar{R}$$

$$UCL_{MR} = D_4 \bar{R}$$

$$LCL_{MR} = D_3 \bar{R}$$


$$CL_x = \bar{x}$$

$$UCL_x = \bar{x} + E_2 \bar{R}$$

$$LCL_x = \bar{x} - E_2 \bar{R}$$

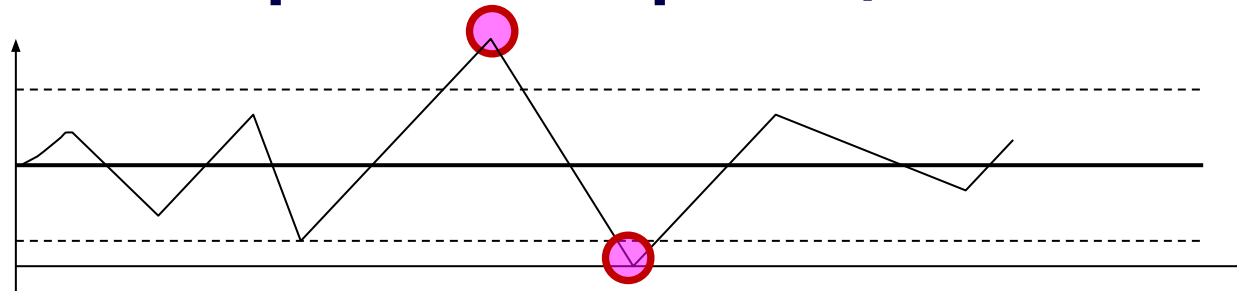
n	X	MR	
	E ₂	D ₃	D ₄
2	2,66	0	3.267
3	1,77	0	2.575
4	1,46	0	2.282
5	1,29	0	2.115
6	1,18	0	2.004
7	1,11	0.08	1.924

Анализ процесса

- Для цеховых условий – управляемый процесс – такой процесс, у которого только малый процент точек выходит за границы управляемости, а точки такого выхода сопровождаются надлежащими действиями.
-  Если процесс никогда не выходит из управляемого состояния, нужно задуматься, следовало ли строить карты для этого процесса!

Признаки неуправляемого состояния

1) Выход за контрольные границы.



Причины:

- 1) Излишнее управление (для карты X) – в случае двух последовательных выходов за противоположные границы («Труба Деминга»).
- 2) Увеличились в одной точке изменчивость «от детали к детали» или разброс распределения.
- 3) Изменилась измерительная система (поменялся измерительный инструмент или контролер).
- 4) Измерительная система потеряла надлежащую разрешающую способность.

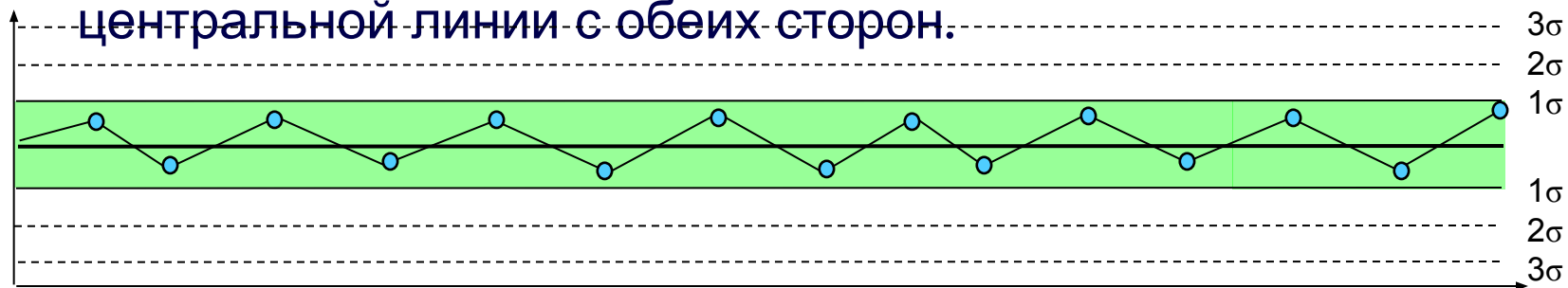
Точка вне контрольных границ – признак того, что произошел сдвиг процесса!



Признаки неуправляемого состояния

2) Отсутствие варибельности (видимых изменений) –

15 точек подряд в пределах одного стандартного отклонения от центральной линии с обеих сторон.



Причины:

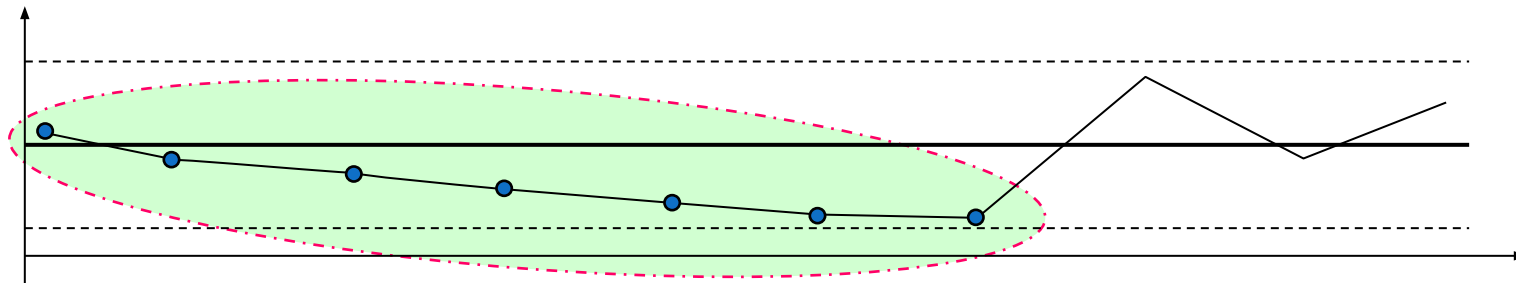
- 1) Ошибка в вычислениях контрольных пределов (для карты X).
- 2) Резкое улучшение процесса – необходимо проанализировать и зафиксировать сложившиеся благоприятные условия.

В этой ситуации нужно очень тщательно контролировать персонал, так как могут быть "подчистки" и "подгонки".

Признаки неуправляемого состояния

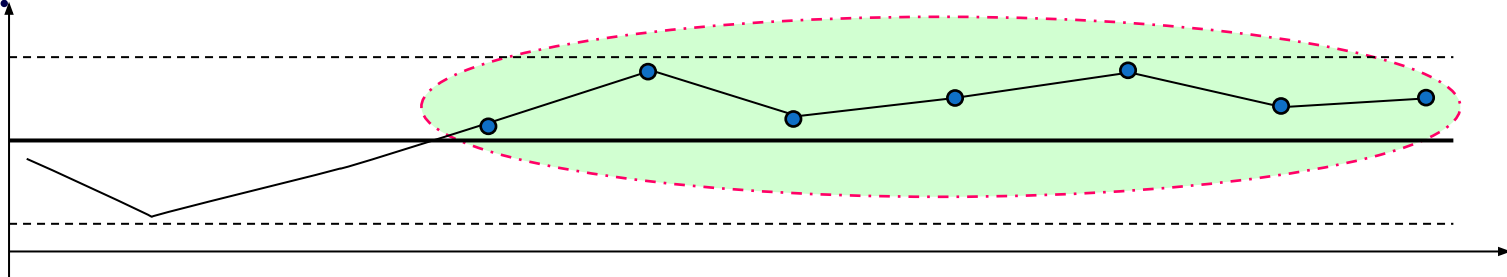
3) Тренд.

Шесть и более точек последовательно возрастают или убывают.



4) Серия точек.

Семь или более последовательных точек над или под центральной линией.



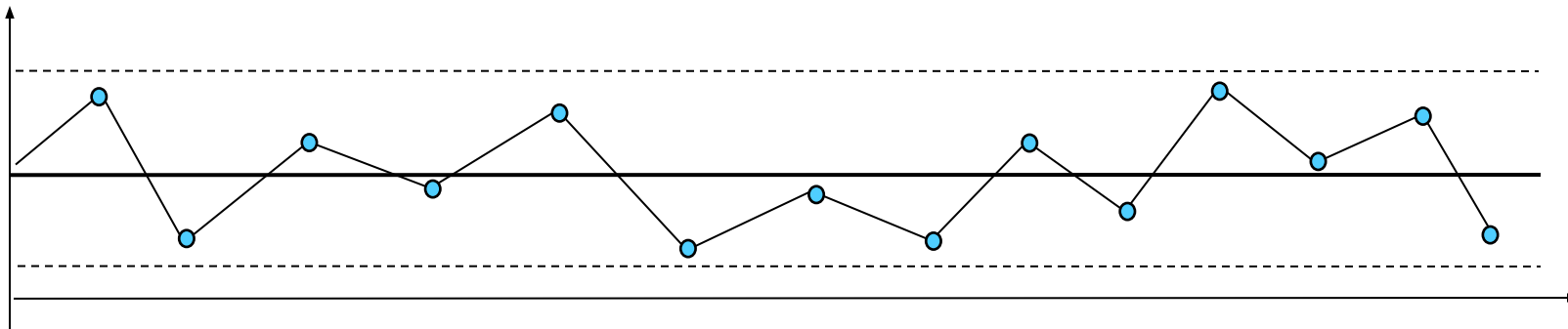
Признаки неуправляемого состояния

Причины серий и трендов:

- 1) Для X и R-карт может быть признаком нестабильного состояния процесса.
- 2) Для p-карт серия ниже средней линии – может говорить об улучшении процесса (меньше производится несоответствий).
- 3) Точки средних значений возрастают или уменьшаются из-за сбоя настроек оборудования.
- 4) Падающий тренд или серия ниже среднего значения на карте R – может свидетельствовать об улучшении процесса – необходимо изучение, или изменение в измерительной системе, которое может скрыть истинное изменение в процессе.
- 5) Растущий тренд или серия выше среднего значения на карте R – ухудшение работы рабочего, неисправность оборудования, изменение в измерительной системе (новый инструмент или контролер).

Признаки неуправляемого состояния

5) 14 точек попеременно возрастают и убывают.



Причины:

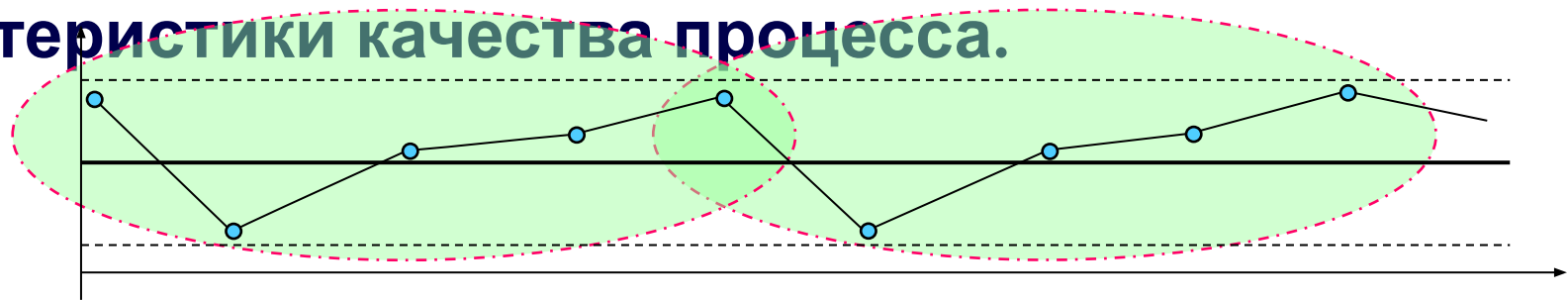
«Биения» в процессе.

Например, при работе на токарном станке этот сигнальный признак может свидетельствовать об ослаблении крепления резца. Необходимо проверить это предположение и закрепить инструмент, если требуется.

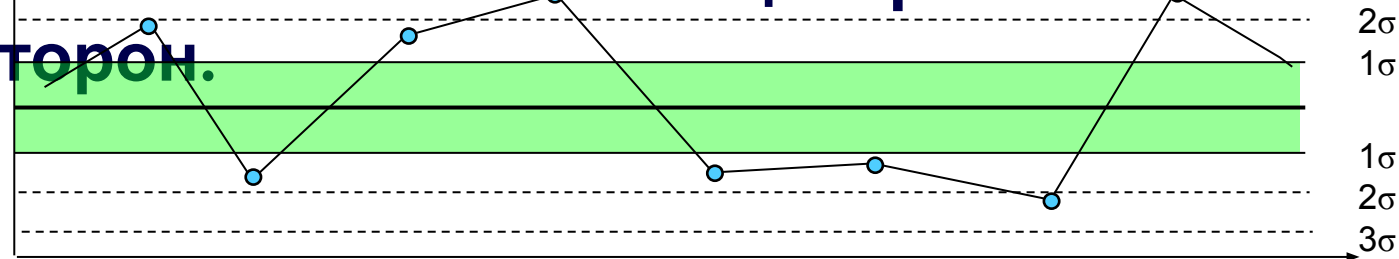
Признаки неуправляемого состояния

Случаи 6, 7, 8 и 9 рассматриваются как ненормальные, требующие анализа и вмешательства в ход процесса.

6) Периодичность изменения контролируемой характеристики качества процесса.

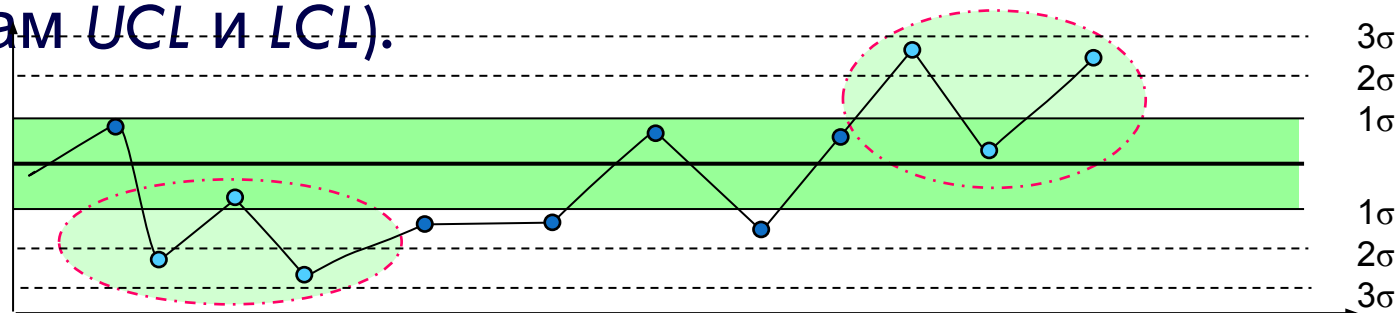


7) Восемь точек подряд лежат за пределами одного стандартного отклонения от центральной линии с обеих сторон.

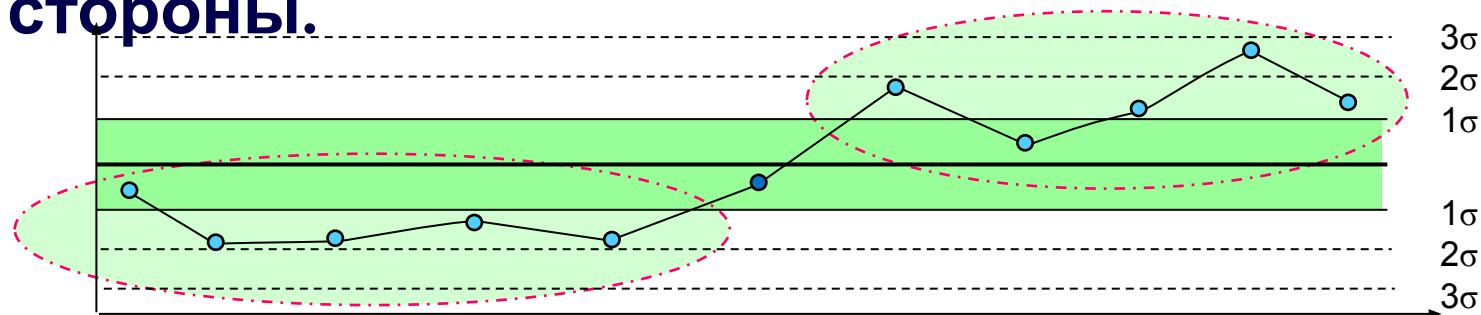


Признаки неуправляемого состояния

8) Две из трех точек подряд отстоят более, чем на два стандартных отклонения от центральной линии с одной стороны (приближение к контрольным пределам UCL и LCL).



9) Четыре из пяти точек подряд отстоят более, чем на одно стандартное отклонение от центральной линии с одной стороны.



II. КК по альтернативному признаку

- Самая большая трудность таких карт – создать точные рабочие определения соответствия.
- Альтернативные данные доступны во многих ситуациях – любом контроле, пересортировке забракованных материалов и т.п. – в этих случаях не требуется никаких дополнительных затрат на сбор данных – только усилия по переводу данных в форму контрольных



КК по альтернативному признаку

np и *p* - карты для числа несоответствующих единиц

1. Сбор данных.

Для *np*-карты формируют одинаковые подгруппы, состоящие из n деталей; n – объем подгруппы, например, n от 50 до 200, иногда более. Количество подгрупп $k \geq 25$.

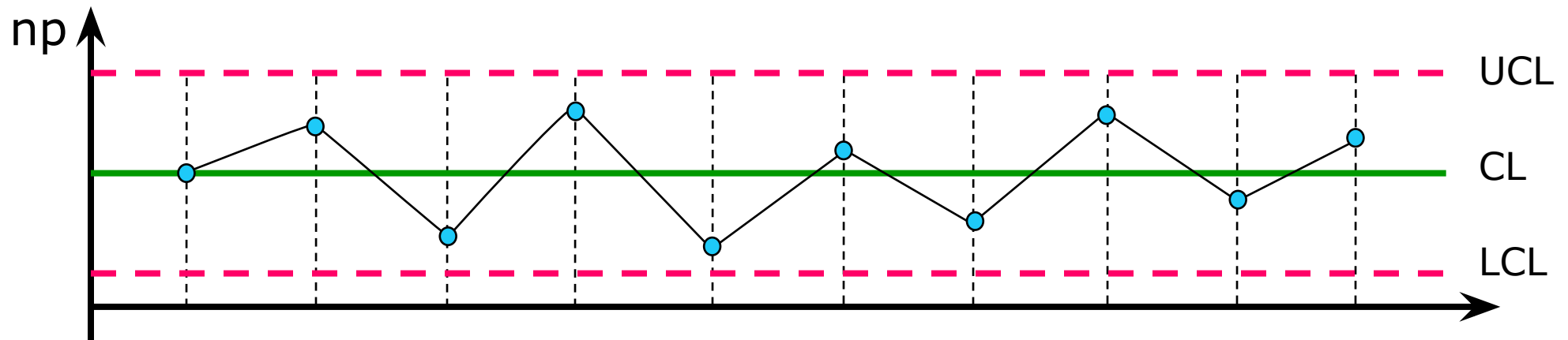
Для *p*-карт рекомендуется, чтобы объем подгрупп колебался не более чем на 25%.

Рекомендуется, чтобы средняя линия была больше 5.

2. Отбирают из подгрупп *np* дефектных деталей (единиц). В каждой подгруппе *np* может быть от 0 до некоторого значения.

*Если размер подгрупп неодинаковый, то используют *p*-карту.*

Пример КК по альтернативному признаку



КК по альтернативному признаку

np-карта

p-карта

3. Вычисление средней доли дефектов

$$n\bar{p} = \frac{np_1 + np_2 + \dots + np_k}{k}$$

$$\bar{p} = \frac{n_1p_1 + n_2p_2 + \dots + n_kp_k}{n_1 + n_2 + \dots + n_k}$$

np – число бракованных изделий

4. Вычисление контрольных линий

$$CL_{np} = n\bar{p}$$

$$UCL_{np} = n\bar{p} + 3\sqrt{n\bar{p}\left(1 - \frac{n\bar{p}}{n}\right)}$$

$$LCL_{np} = n\bar{p} - 3\sqrt{n\bar{p}\left(1 - \frac{n\bar{p}}{n}\right)}$$

$$CL_p = \bar{p}$$

$$UCL_p = \bar{p} + 3\sqrt{\bar{p}(1 - \bar{p})}/\sqrt{n}$$

$$LCL_p = \bar{p} - 3\sqrt{\bar{p}(1 - \bar{p})}/\sqrt{n}$$

III. Другие виды контрольных карт

Существуют карты другого типа, которые применяются или в особых ситуациях, или при необходимости усилить использование стандартных КК:

1. **Карты, основанные на вероятности** – используют ранжированные данные и вероятности попадания в ранг.
 - КК по типу «Светофор»,
 - КК предварительного контроля (pre-control).

КК по типу «Светофор»

- Используя этот тип карт, можно следить за настройкой и изменчивостью процесса.
- Управление по типу «Светофор» является простой, но эффективной процедурой, которая использует разделение на более, чем два класса (в отличие от КК по альтернативному признаку – «Да-Нет»), и применяет двухступенчатые выборки.
- Отслеживается доля точек, попавших в каждый из обозначенных классов.



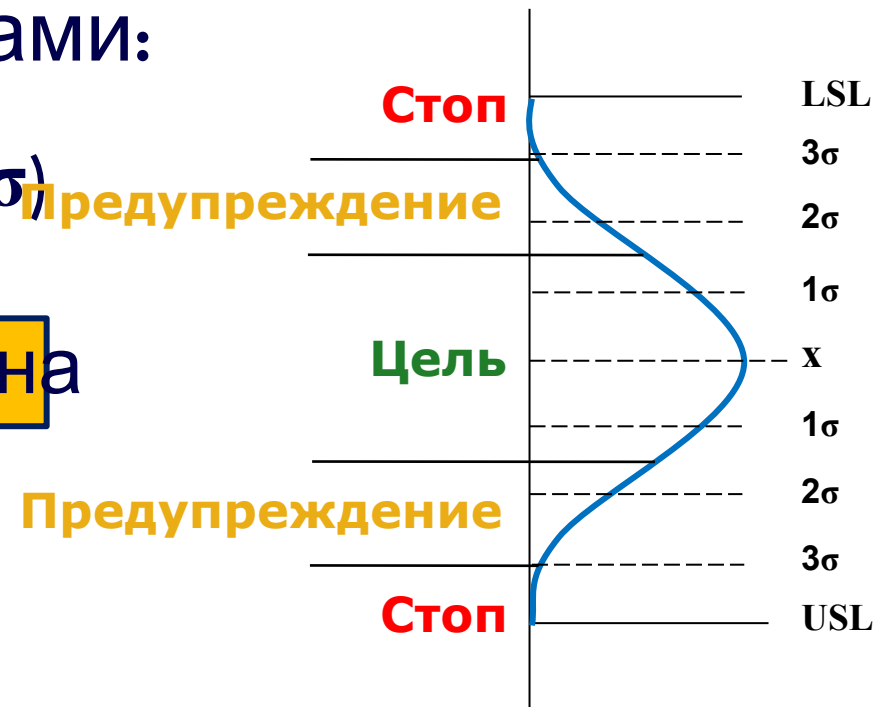
КК по типу «Светофор»

- Изменчивость процесса делят на три категории (класса) и обозначают тремя цветами:

- Целевая область ($\pm 1,5\sigma$)

- Предупредительная зона

- Стоп-зона (области за пределом ожидаемой изменчивости – $\pm 3\sigma$)



КК по типу «Светофор»

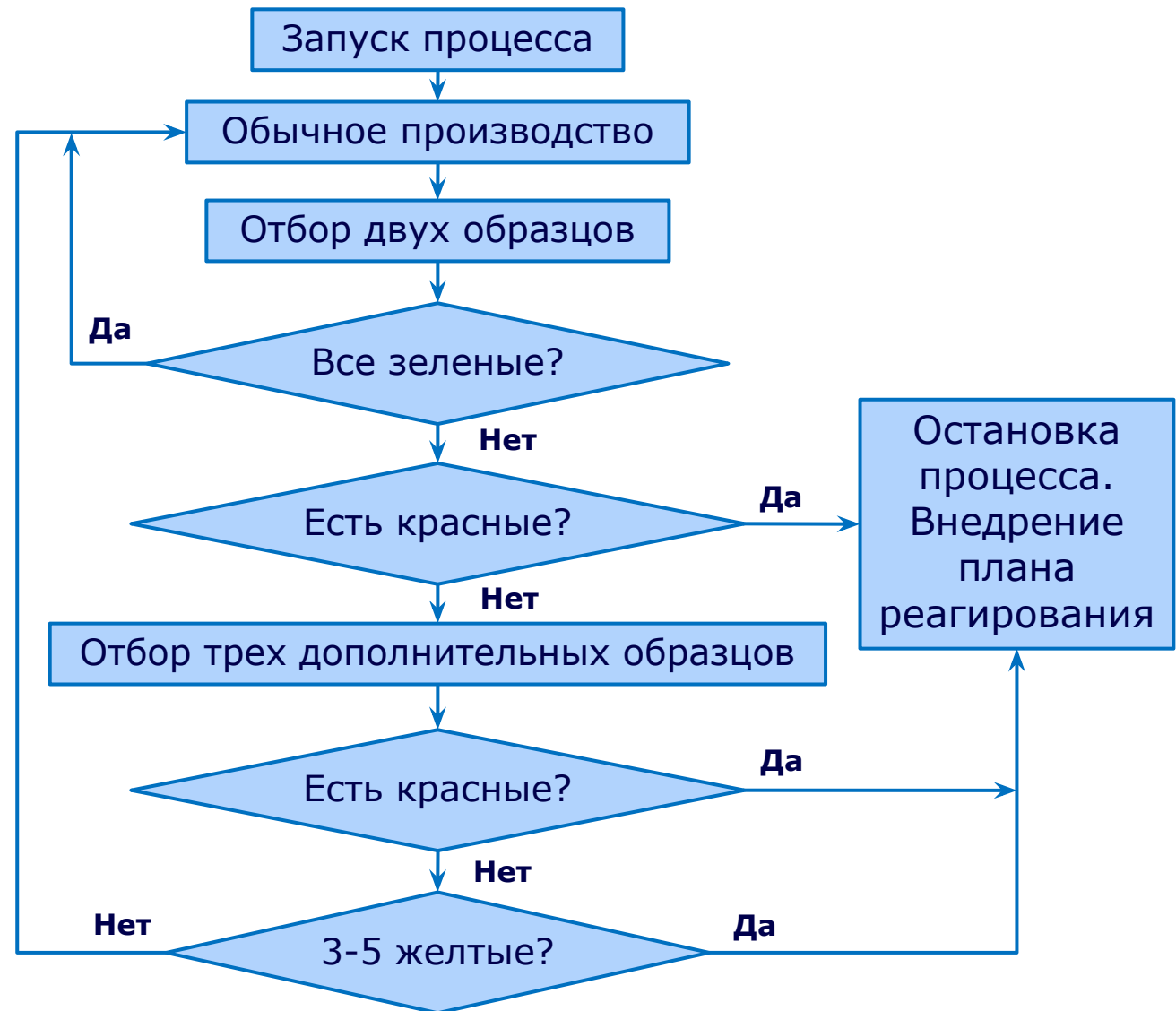


Для управления по типу «Светофор» должны выполняться следующие предположения:

- Процесс находится в статистически управляемом состоянии.
- Пригодность процесса приемлема (включая изменчивость измерительной системы).
- Процесс настроен на цель.

КК по типу «Светофор»

Порядок и правила управления по типу «Светофор», эквивалентного применению X и R-карт с объемом выборки 5.



КК по типу «Светофор»



Плюсы. 1) При разбиении общей выборки (например, объемом 5) на две части (например, по 2 и 3 единицы), этот подход может сигнализировать о выходе из управляемого состояния с такой же или лучшей эффективностью, чем КК Шухарта с тем же общим объемом выборки. **T.e.**
чувствительность метода выше!

2) Не требуется расчетов и графиков – работать легче, чем с КК Шухарта. Хотя точки на карту наносить все-таки рекомендуется.



Минусы. Ошибка первого рода (риск излишней регулировки) выше, чем при использовании X и R-карт при том же объеме выборки.

Pre-control

- При применении управления по типу «Светофор» для контроля за несоответствиями вместо управления процессом – процесс управления называется **предварительным контролем**.
- Данный вид управления основан на допусках, а не на изменчивости процесса.
- Область допуска разделяется на зоны:
 $\pm 1/4$ допуска – **зеленая зона**;
оставшаяся площадь в пределах допуска – **желтая**; площадь вне границ допуска – **красная**.

Pre-control

- Применяется, если:
 - процесс имеет «плоскую», равномерную функцию потерь – все источники особых причин изменчивости находятся под контролем;
 - полная изменчивость процесса (включая изменчивость систем измерения) меньше или равна допустимой – 99,73% всех точек находятся внутри допуска без проведения сортировки.
- Перед началом отбора выборок процесс должен произвести 5 изделий в зеленой зоне.

Другие виды контрольных карт

2. Краткие контрольные карты. Используются при анализе процессов, которые производят небольшое количество изделий (при подходах «точно вовремя» (just-in-time) и методах бережливого производства). Используется единый тип карты для управления производством с большим числом различных видов продукции.

- X и R-карты отклонения от номинала;
- стандартизованные X и R-карты;
- стандартизованные КК для альтернативного признака.

Другие виды контрольных карт

3. **Контрольные карты для обнаружения небольших изменений.** Используются при процессах, когда причинами появления проблем служат небольшие изменения (например, в химической промышленности).
- карты кумулятивных (накопленных) сумм (CUSUM-карты);
 - карты для экспоненциально взвешенного скользящего среднего (EWMA-карты).

Другие виды контрольных карт

4. Контрольные карты для распределений, отличающихся от нормального.

Если распределение не является нормальным (гауссовым), то можно использовать:

- КК Шухарта с соответствующим объемом выборки (однако при этом их чувствительность падает – требуется большой объем выборки);
- регулировочные коэффициенты для модификации контрольных границ;
- преобразования данных с целью приведения их в близкие к нормальным формы;
- контрольные границы, основанные на естественной изменчивости.

Другие виды контрольных карт

5. **Многомерные карты.** Используются, когда желательно проконтролировать две или более зависимые характеристики, которые влияют на результативность процесса или выход продукта.

Преимущество в том, что с помощью одной статистики можно отследить влияние всех переменных.

Дают возможность обнаружения сдвига среднего во взаимосвязи с изменением параметров.

Другие виды контрольных карт

6. Другие карты

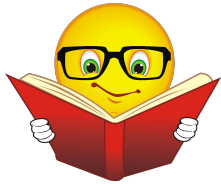
- Регрессионные КК – для мониторинга взаимосвязей между двумя коррелированными переменными.
- Остаточные карты. Эквивалентны регрессионным. Используются, когда взаимоотношения между переменными достаточно сложны.
- Авторегрессионные карты – для серийно зависимых данных из временных рядов. Выборки берутся достаточно далеко друг от друга.

Понимание воспроизводимости и пригодности процесса для количественных данных

Воспроизводимость и пригодность

- Результат стабильного процесса может быть описан его распределением.
- Распределение описывается с помощью статистик, которые вычисляются на основании данных, полученных из процесса:
 - Разброс оценивается с помощью выборочного размаха или стандартного отклонения.
 - Положение процесса (центр) – с помощью выборочного среднего или медианы.

Воспроизводимость и пригодность



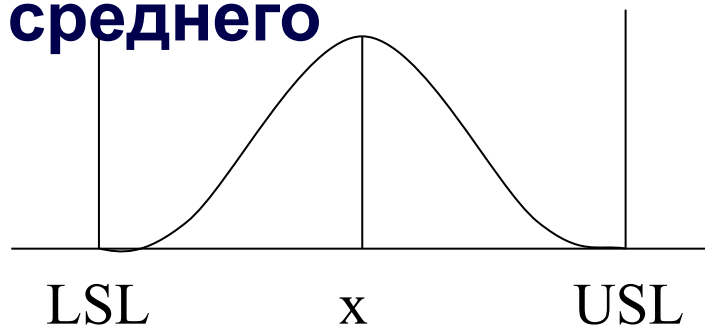
Статистики, используемые для оценки потенциальной точности процесса (возможности производить продукцию, попадающую в допуск) – **ИНДЕКСЫ ПРИГОДНОСТИ И ВОСПРОИЗВОДИМОСТИ.**

Условия применения индексов:

1. Процесс находится в статистически управляемом состоянии.
2. Измерения индивидуального показателя качества соответствуют нормальному распределению.
3. Технические требования точно представляют требования потребителя.
4. Задан центр и границы поля допуска.
5. Изменчивость измерений относительно мала.
6. Пользователи должны понимать относительность полученных значений в связи с изменчивостью процесса.

Индексы воспроизводимости и пригодности

1. Индекс воспроизводимости без учета положения среднего



$$C_p = \frac{USL - LSL}{6\sigma_{\bar{R}/d_2}}$$

где USL и LSL – верхняя и нижняя границы допуска соответственно

$\sigma_{\bar{R}/d_2}$ – воспроизводимость процесса (интервал 6σ изменчивости, присущей процессу).

Используется только для статистически стабильных

$$\sigma_{\bar{R}/d_2} = \frac{\bar{R}}{d_2}$$

– присущая процессу изменчивость

Индексы воспроизводимости и пригодности

2. Индекс пригодности процесса без учета положения среднего

$$P_p = \frac{USL - LSL}{6\sigma_s}$$

Индекс пригодности
процесса

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

Полная изменчивость

Индексы воспроизводимости и пригодности

С учетом положения среднего:

3. Верхний индекс воспроизводимости (пригодности):

$$CPU = \frac{USL - \bar{x}}{3\sigma_{\bar{R}/d2}}$$

$$PPU = \frac{USL - \bar{x}}{3\sigma_s}$$

4. Нижний индекс воспроизводимости (пригодности):

$$CPL = \frac{\bar{x} - LSL}{3\sigma_{\bar{R}/d2}}$$

$$PPL = \frac{\bar{x} - LSL}{3\sigma_s}$$

5. C_{pk} (P_{pk}) – индекс воспроизводимости (пригодности) стабильного по разбросу и настройке процесса, учитывающий центровку (положение) процесса:

$$C_{pk} = \min(CPU, CPL)$$

$$P_{pk} = \min(PPU, PPL)$$

Использование показателей процесса

- Индекс воспроизводимости C_{pk} дополнительно полезен для определения того, **насколько процесс способен** соответствовать требованиям потребителя.
- Индекс пригодности P_{pk} показывает, **пригоден ли в действительности процесс** для удовлетворения требований потребителя.
- Один индекс не должен использоваться – рекомендуется вычислять все четыре индекса.
- **Необходимо сравнивать индексы между собой для обеспечения понимания потенциальных выходов процесса и выделения приоритетов для улучшения**



Использование показателей процесса

- ❑ **Всегда** должно выполняться следующее условие:
 $C_{pk} \leq C_p$, $P_{pk} \leq P_p$, при этом значения C_p и C_{pk} (P_p и P_{pk}) должны быть близки друг к другу – это индикатор хорошей настройки процесса.
- ❑ Если $C_p (P_p) \gg \gg C_{pk} (P_{pk})$ – необходима **центровка** процесса.
- ❑ Низкие значения C_p и C_{pk} – могут свидетельствовать об увеличении внутригрупповой изменчивости.
- ❑ Низкие значения P_p и P_{pk} – возникают в результате влияния полной изменчивости.
- ❑ Большое различие между значениями C и P – признак появления особой причины (причин).

Использование показателей процесса

Если потребителем **не установлены** дополнительные требования, то используются следующие критерии приемки для показателей возможности процесса:

Значения индекса C_{pk} , P_{pk}	Комментарии
Индекс $> 1,33$	Процесс является пригодным
$1 \leq \text{индекс} \leq 1,33$	Процесс может быть пригодным. Требуется согласование с представителем потребителя
Индекс < 1	Процесс непригоден. Требуется разработка корректирующих мероприятий

Использование показателей процесса

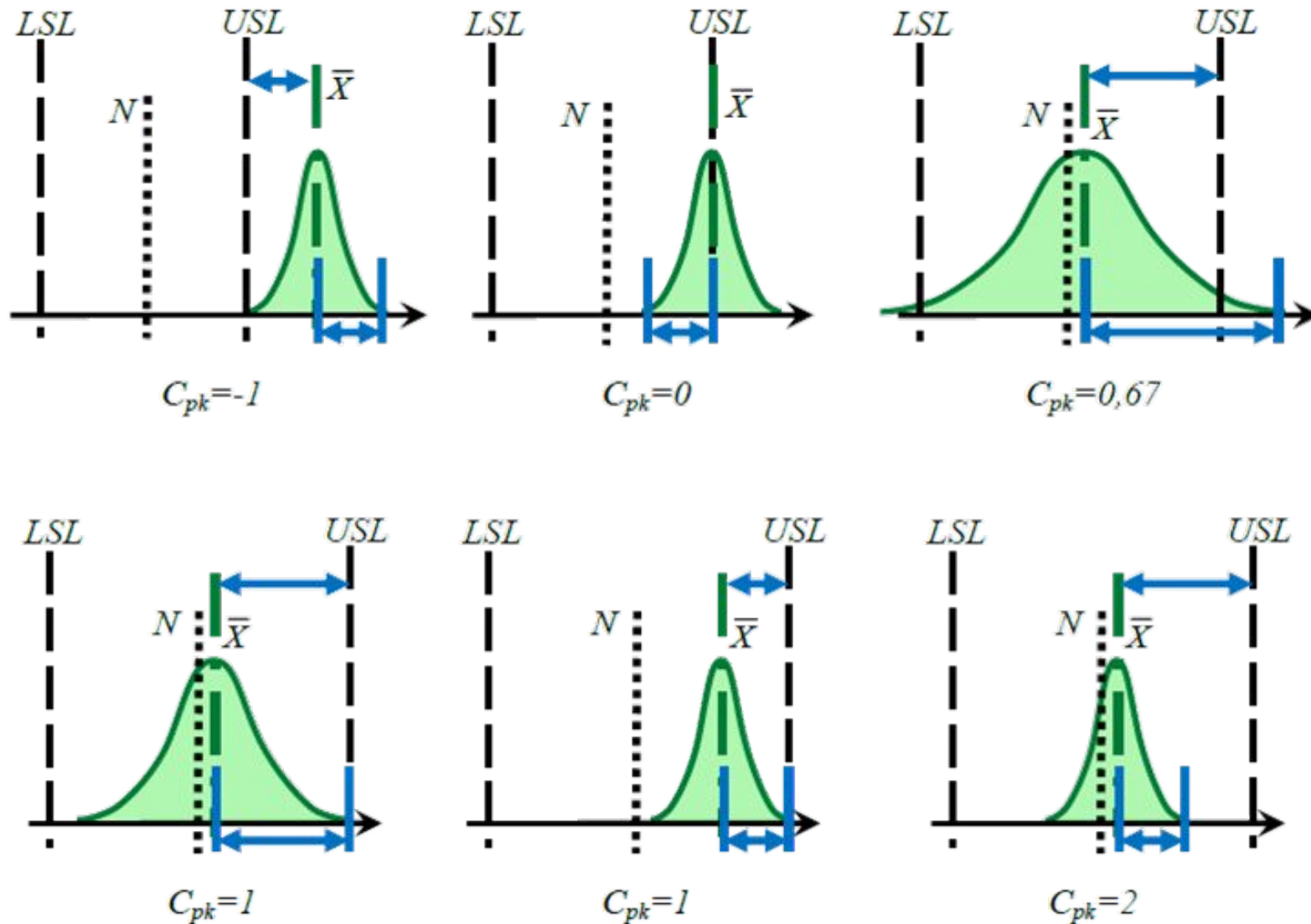
Если потребителем **установлено** выполнение требований дополнительного руководства Product Part Approval Process (PPAP), то используются следующие критерии приемки для показателей возможности

Значения индекса C_{pk}, P_{pk}	Комментарии
Индекс $> 1,67$	Процесс является пригодным
$1,33 \leq \text{индекс} \leq 1,67$	Процесс может быть пригодным. Требуется согласование с представителем потребителя
Индекс $< 1,33$	Процесс непригоден. Требуется разработка корректирующих мероприятий

Использование показателей процесса

- В сочетании с показателями процесса рекомендуется применять графический анализ;
- Примеры графического анализа:
 - контрольные карты;
 - графики функций распределения процесса;
 - графики функции потерь

Примеры ситуаций с различными C_{pk}



Функция потерь качества (QLF)

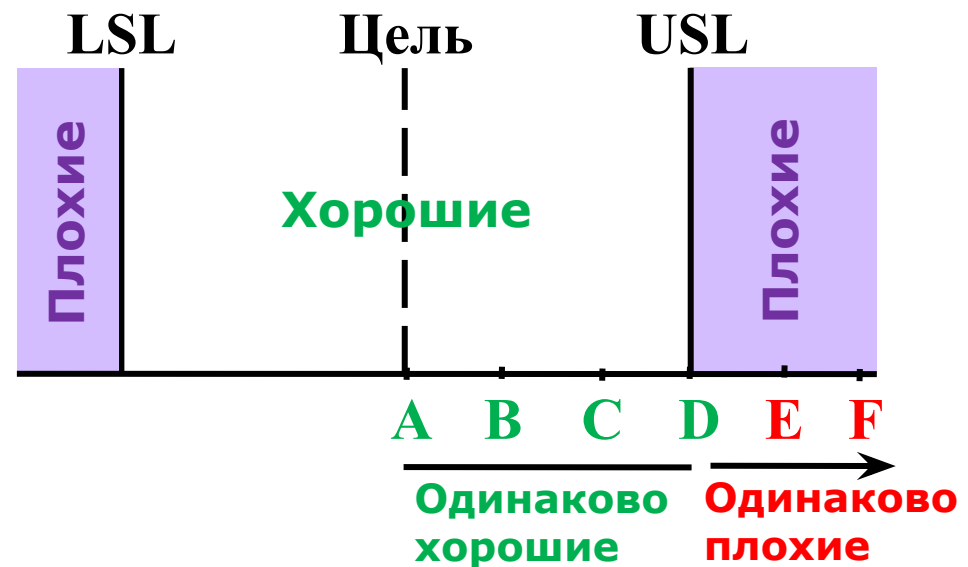
(по Тагучи)

Функция потерь качества

Вопреки бытующему мнению о том, что хорошими могут считаться все изделия, изготовленные в пределах требований Потребителя, японский ученый Генити Тагути в 1960 году предположил, что удовлетворение требований допусков – отнюдь не достаточный критерий, чтобы судить о качестве.

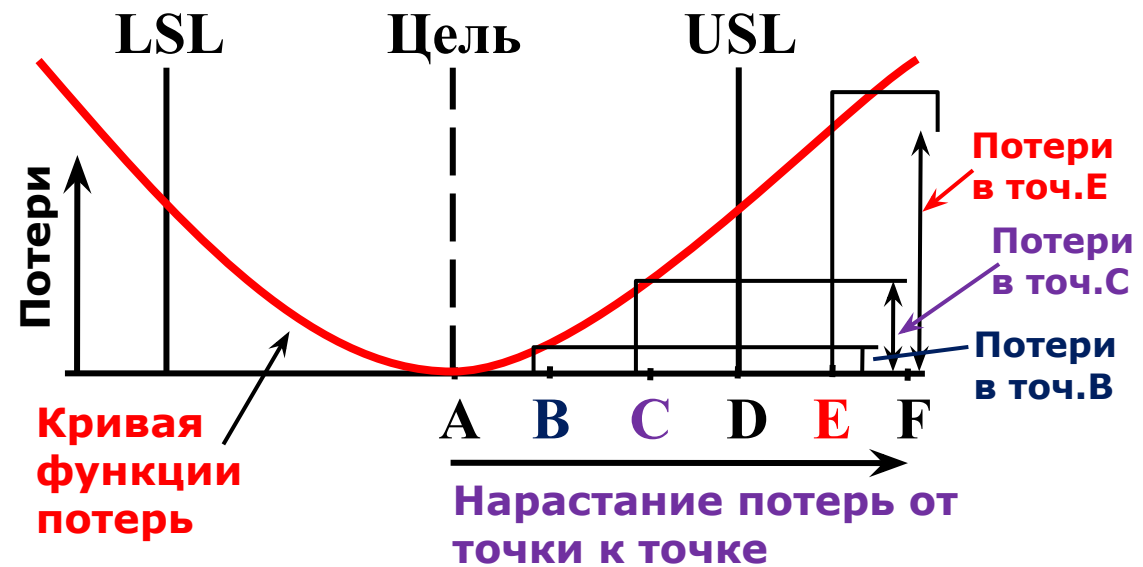


Генити Тагути
Genichi Taguchi



Функция потерь качества

- Мышление через функцию потерь – модель, имеющая большую близость к реальному миру. При отклонении характеристики от цели потребителя и (или) общество несут



- Кривая функции потерь (кривая чувствительности потребителя к несоответствиям) описывается параболой.

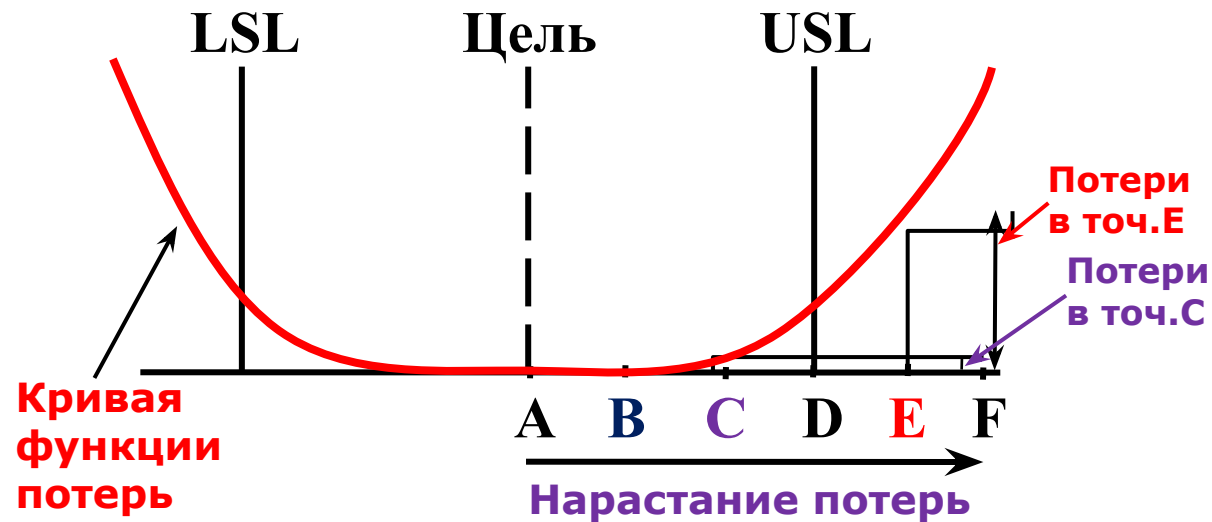
$$L(x) = c(x - x_0)^2$$

x_0 – номинальное значение (цель);
 c – коэффициент масштаба.

Функция потерь качества

- Определить чувствительность к отклонениям от цели можно и без использования допусков.

- Потребитель может быть нечувствительным к предполагаемым изменениям



- Во многих случаях потери (времени, денег, эффективности и пр.) могут возрасти с увеличением отклонений от цели.

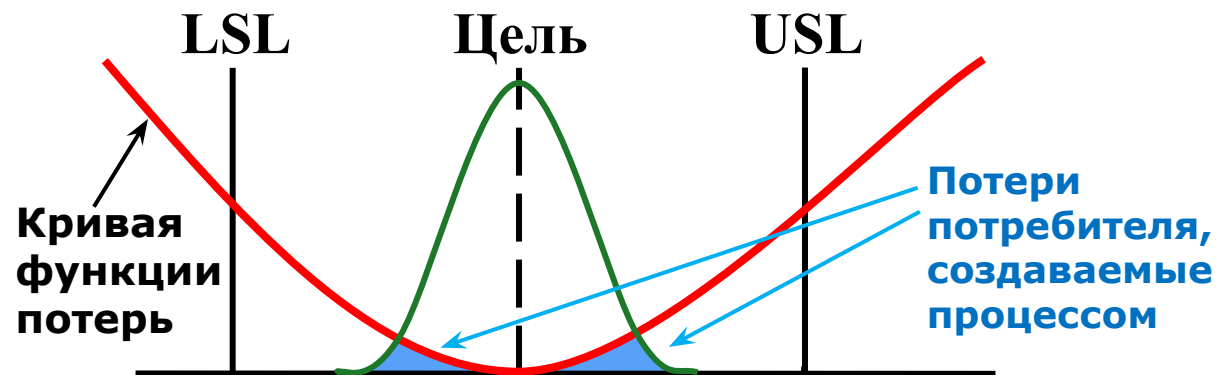
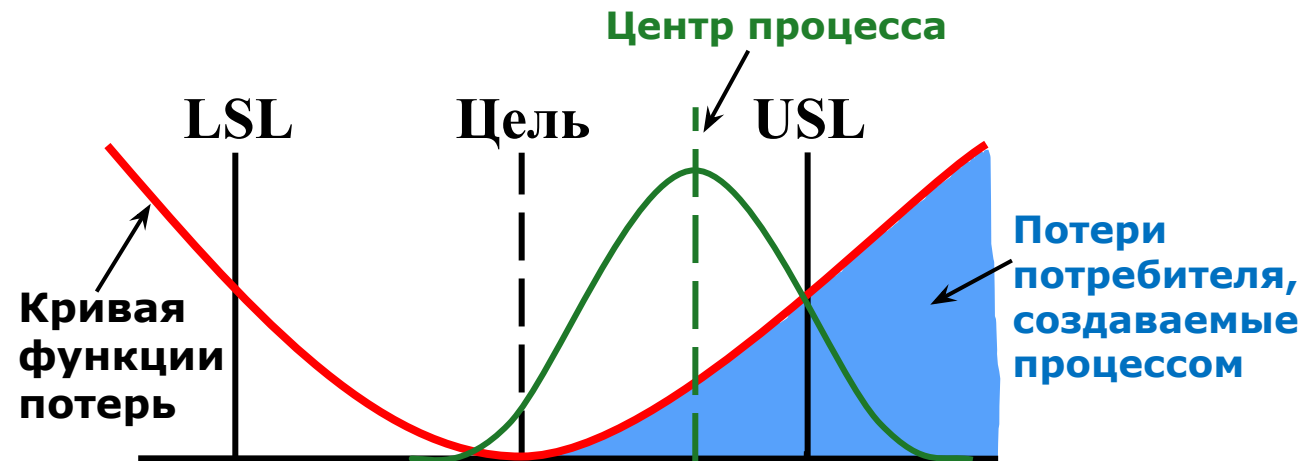
Функция потерь качества

- Сравнение функции потерь с допуском дает способ классификации характеристик.
- Если характеристика отклоняется от целевого значения, большинство потребителей способны это «почувствовать» уже потому, что им требуется больше усилий при использовании продукта.
- Это подтверждает, что «допусковое» мышление не дает ясного понимания, как в действительности влияет процесс на потребителя.

Функция потерь качества

При наложении распределения процесса на кривую функции потерь можно сделать выводы:

- Чтобы минимизировать потери потребителя желательно настроить процесс на целевое значение.
- Потребителю выгодно, если изменчивость будет снижаться.



Воспроизводимость и пригодность процесса для качественных данных

- Можно ли каким-либо образом определить пригодность и воспроизводимость процесса для качественных данных?
- Возможно ли посчитать для таких данных S_{pk} и P_{pk} ?



Z-трансформация

- **Z-трансформация** – преобразование подобия для перехода от произвольного нормального распределения к стандартному и наоборот.
- Используется для перевода любых единиц измерения в безразмерную величину Z .
- Для определения Z используются

табулированные значения

$$Z = \frac{X - \mu}{\sigma}$$

случайная величина с нормальным распределением с параметрами μ, σ .

Z – случайная величина со стандартным нормальным распределением с параметрами $\mu=0, \sigma=1$.

Воспроизводимость и пригодность

Последовательность действий:

1. Определить количество бракованных изделий в выборке.
2. Посчитать % бракованных изделий в выборке.

3. Определить по таблице: Z_S – для выборки за долговременный период, либо $Z_{\bar{R}/d2}$ – для выборки за краткосрочный период.

Соотношение:

$$Z_{\bar{R}/d2} = 1,5 + Z_S$$

Воспроизводимость и пригодность

4. Определить C_{pk} и P_{pk} .

Для этого используем формулы C_{pk} и P_{pk} для одностороннего допуска:

$$C_{pk} = \frac{USL - \bar{x}}{3\sigma_{\bar{R}/d2}} = \frac{\bar{x} - LSL}{3\sigma_{\bar{R}/d2}} = \frac{Z_{\bar{R}/d2}}{3}$$

$$P_{pk} = \frac{USL - \bar{x}}{3\sigma_S} = \frac{\bar{x} - LSL}{3\sigma_S} = \frac{Z_S}{3}$$

Инструменты управления качеством

Контрольные карты — это **наглядное**

представление полученных в ходе технологического процесса данных в виде точек (или графика) в порядке их поступления во времени.

Показатели воспроизводимости и пригодности

применяются для числовой оценки состояния процесса удобным способом. Определяют, имеет ли процесс достаточно низкую изменчивость, удовлетворяет ли допускам процесса или есть проблема настройки.

«Инструменты качества» - эффективный обмен информацией о потенциале процесса и его работоспособности на языке, который легко понимать.

**Ваши
вопросы?
Благодарю за
внимание!**

