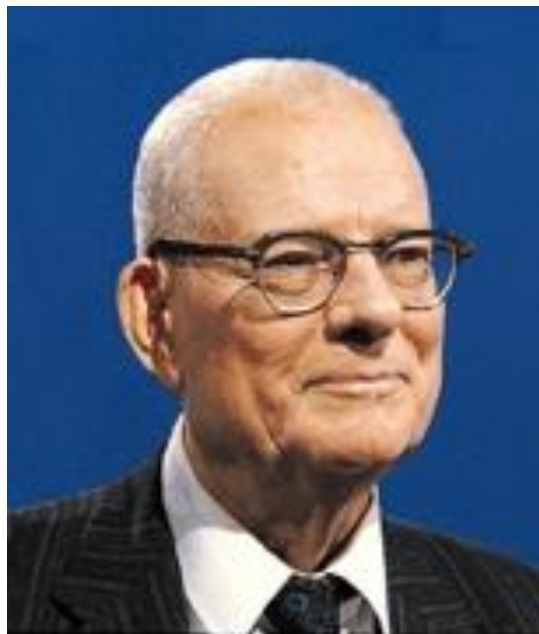


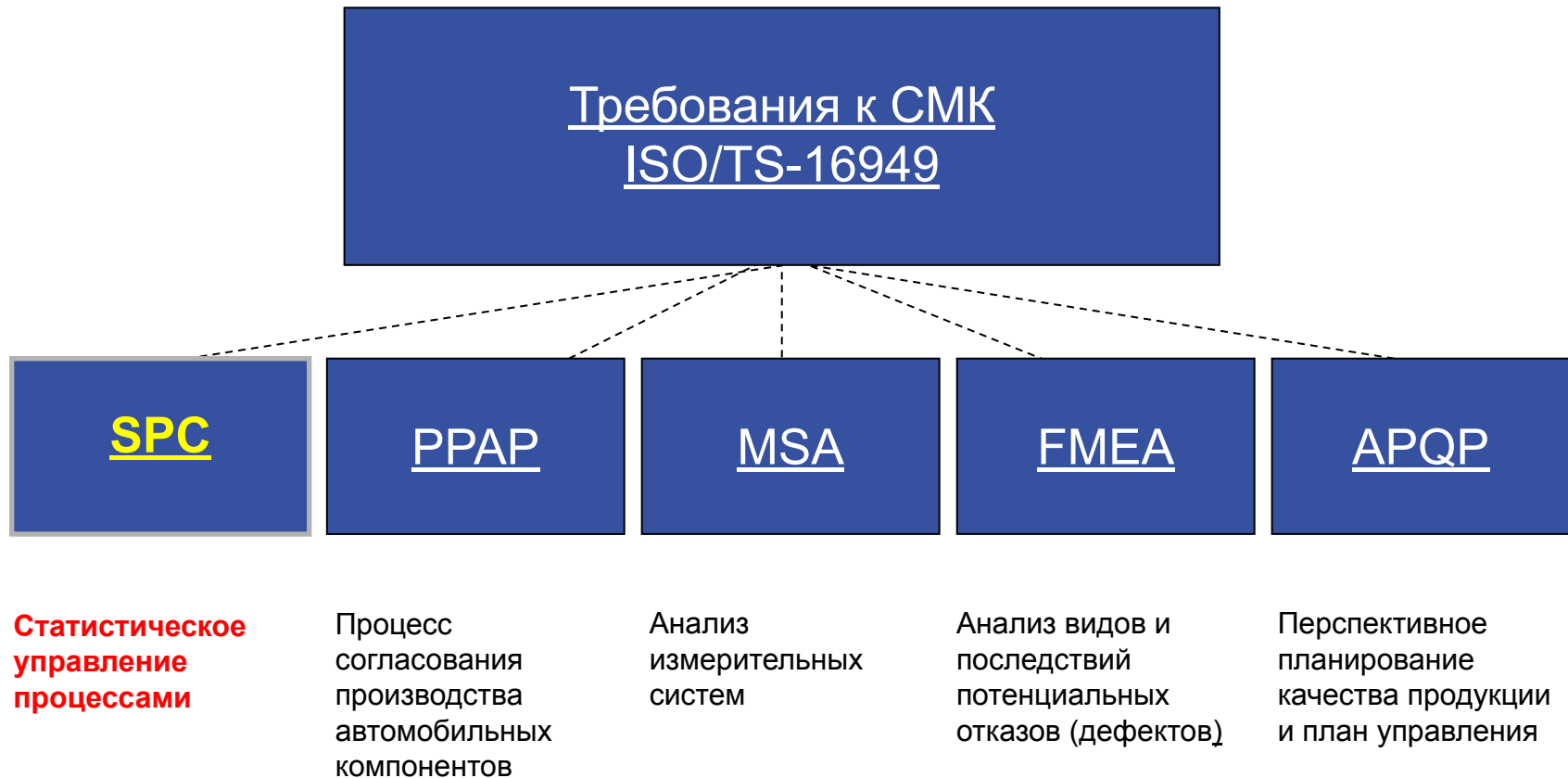


# Статистическое управление процессами



***«Использование спецификаций  
(допусков, ТЗ, ТУ) не ошибка.  
Этого просто недостаточно»  
У.Э. Деминг***

# Требования стандарта ISO/TS-16949



# Управление процессами

Для того, чтобы минимизировать изменчивость, уменьшить количество ошибок при управлении процессами, и применяется статистическое управление. Наибольший эффект достигается, когда применение статистических методов закладывается еще при проектировании, что и отражено в стандарте ИСО/ТУ 16949.

**Кроме этого, согласно п. 8.1.2 этого же документа, основные статистические понятия должны быть распространены во всей компании.**



# Введение в процесс измерений

# Измерение – Основные положения

- Определение: задание числа наблюдений в соответствии с определенными правилами принятия решений
- Измерение – это отправная точка любой науки или дисциплины.
- Без измерений мы не будем знать, куда мы идем и дойдем ли мы туда вообще – мы даже не знаем, где мы находимся сейчас!
- Если это важно для потребителей, мы должны это измерить.

# Сбор данных

- Часто данные приходится собирать вручную и затем анализировать.
- Хорошим способом сбора данных, потому что это простой способ, является использование контрольного листка.
- Для дискретных данных (частота, количество и т.д), контрольная таблица формируется по категориям или другим дискретным интервалам, в которые этот вид данных заносится и 'подсчитывается'. Этот процесс также подходит для записи непрерывных данных, при условии, что данные будут записываться в соответствующий интервал, для которого предварительно заданы верхний и нижний пределы.

# Сбор данных – Контрольные таблицы

- Итак, ниже приведенные наборы данных были собраны в двух процессах и занесены в контрольную таблицу

## Пример 1 – Регистрация

Категория	Частота
<u>Царапина</u>	
<u>Отсутствует деталь</u>	
<u>Не вкл. питание</u>	
<u>Некорректная операция</u>	

## Пример 2 – Данные

Диапазон интервала	Частота
<u>10.0 - 10.25мм</u>	
<u>10.25 - 10.50мм</u>	
<u>10.50 - 10.75мм</u>	
<u>10.75 - 11.0мм</u>	
<u>11.0 - 11.25мм</u>	

**Эмпирический метод**

Объем выборки, n	50-60	70-100	110-150	160-250	260-390	400-630	640-990	≥1000
Количество интервалов, k	8	9	10	11	12	13	14	15



# Сбор данных – Контрольные таблицы

- Воспользуемся данными колл-центра, мерой служит частота звонков. Контрольная таблица будет выглядеть следующим образом:

<u>Время для ответа (сек)</u>	<u>Частота</u>
<u>07.00 – 07.30</u>	<u>0</u>
<u>07.30 – 08.00</u>	<u>11</u>
<u>08.00 – 08.30</u>	<u>6</u>
<u>08.30 – 09.00</u>	<u>14</u>
<u>09.00 – 09.30</u>	<u>11</u>
<u>09.30 – 10.00</u>	<u>58</u>
<u>10.00 – 10.30</u>	<u>47</u>
<u>10.30 – 11.00</u>	<u>16</u>
<u>11.00 – 11.30</u>	<u>9</u>
<u>11.30 – 12.00</u>	<u>48</u>
<u>12.00 – 12.30</u>	<u>43</u>
<u>12.30 – 13.00</u>	<u>53</u>
<u>13.00 – 13.30</u>	<u>49</u>
<u>13.30 – 14.00</u>	<u>9</u>
<u>14.00 – 14.30</u>	<u>10</u>

Какие  
выводы  
мы можем  
сделать  
на  
основании  
этих  
данных?

# Контрольный листок

Компоненты, заменяемые в лаборатории Отметьте черточкой каждую замененную деталь		Ч А С Т О Т А
Отмечайте так: I II III IIII NN Время: 1 октября 2011 г. Ремонтник: Слесарь МСР Горбунов А.А.		
<b>Модель 1013</b>		
Интегральные схемы	IIII	4
Конденсаторы	NN NN NN NN NN II	27
Сопротивления	II	2
Трансформаторы	IIII	4
Переключатели		0
Трубки	I	1
Итого		38
<b>Модель 1017</b>		
Интегральные схемы	III	3
Конденсаторы	NN NN NN NN NN II	27
Сопротивления	I	1
Трансформаторы	II	2
Переключатели	NN NN NN IIII	19
Трубки	I	1
Итого		53
<b>Модель 1019</b>		
Интегральные схемы	I	1
Конденсаторы	NN NN NN NN III	23
Сопротивления	I	1
Трансформаторы	II	2
Переключатели		0
Трубки	I	1
Итого		28
Всего		119

При составлении контрольных листков следует обратить внимание на то, чтобы было указано, кто, на каком этапе процесса и в течение какого времени собирал данные, а также чтобы форма листка была простой и понятной без дополнительных пояснений. Важно и то, чтобы все данные добросовестно фиксировались, и собранная в контрольном листке информация могла быть использована для анализа процесса.

# Расчет среднего значения

- Простым способом обобщения наших данных является вычисление среднего арифметического (или «среднего значения») колонки с числами.
- Математически мы можем выразить это следующей формулой:

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n}$$

# Пример среднего значения

## ■ Давайте рассмотрим еще другие данные:

- 5, 11, 6, 14, 11, 58, 47, 16, 9, 48, 43, 53, 49, 9, 10
- Данные – это время, затраченное на обработку заказа на складе

## ■ Каково среднее значение?

- $\bar{X} = (5 + 11 + 6 + 14 + 11 + 58 + 47 + 16 + 9 + 48 + 43 + 53 + 49 + 9 + 10) / 15 = 25.67$  сек на один заказ

# Медиана – другой показатель центральной тенденции

- Среднее арифметическое – это измерение центральной (средней) тенденции, то есть того, где находится «центр (середина)» большинства данных. Другим показателем среднего значения является медиана.
- Медиана вычисляется путем перечисления данных в порядке возрастания, и нахождения затем значения, которое находится в середине списка.
- Если мы распределим наши данные из колл-центра в порядке возрастания, то мы получим следующий список:
  - 5, 6, 9, 9, 10, 11, 11, 14, 16, 43, 47, 48, 49, 53, 58
- Значение, которое находится в середине списка – это это и есть медиана.
- Медиана может быть дробным или десятичным значением – даже если все данные являются целыми числами.

# Пример использования медианы

Предположим, что в одной комнате оказалось 19 бедняков и один миллиардер. Каждый кладет на стол деньги — бедняки из кармана, а миллиардер из чемодана. По пять долларов кладет каждый бедняк, а миллиардер — \$1 млрд. В сумме получается \$1 000 000 095. Если мы разделим деньги равными долями на 20 человек, то получим \$50 000 004,75. Это будет среднее арифметическое значение суммы наличных, которая была у всех 20 человек в этой комнате.

Медиана в этом случае будет равна \$5 (полусумма десятого и одиннадцатого, срединных значений ранжированного ряда). Можно интерпретировать это следующим образом. Разделив нашу компанию на две равные группы по 10 человек, мы можем утверждать, что в первой группе каждый положил на стол не больше \$5, во второй же не меньше \$5. В общем случае можно сказать, что медиана это то, сколько принес с собой средний человек. Наоборот, среднее арифметическое — неподходящая характеристика, так как оно значительно превышает сумму наличных, имеющуюся у среднего человека.

## Неуникальность значения

Если имеется чётное количество случаев и два средних значения различаются, то медианой, по определению, может служить любое число между ними (например, в выборке {1, 2, 3, 4} медианой, по определению, может служить любое число из интервала (2,3)). На практике в этом случае чаще всего используют среднее арифметическое двух средних значений.

# Центральная тенденция – и это все?

- Кроме того, что важно знать, где находится “центр” наших данных, является ли это для нас исчерпывающей информацией?
- Что говорит нам этот показатель об эффективности склада? Чего он нам не рассказывает?

# Измерение вариабельности

- Другим важным способом обобщения наших данных является измерение среднего “разброса” или вариаций между каждым результатом данных и средним значением.
- Важно не только знать, где находится центр нашего процесса, особенно важно для сервисных подразделений знать разброс, поскольку каждый покупатель – это индивидуум, и он заслуживает предоставления ему надлежащего сервиса.
  - Будет ли Вам важно знать, что средняя продолжительность процесса заказа составляет 26 секунд, если Вам придется ждать 5 минут?
- Термин, обычно используемый в статистике для измерения такой вариабельности - это «стандартное отклонение».



# Понимание среднеквадратичного и стандартного отклонения

Среднеквадратичное отклонение:

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

стандартное отклонение (несмещённая оценка среднеквадратичного отклонения случайной величины  $x$  относительно её математического ожидания):

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

где  $\sigma^2$  — дисперсия;  $x_i$  —  $i$ -й элемент выборки;  $n$  — объём выборки;  $\bar{x}$  — среднее арифметическое выборки:

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

Следует отметить отличие стандартного отклонения (в знаменателе  $n - 1$ ) от корня из дисперсии (среднеквадратичного отклонения) (в знаменателе  $n$ ). При малом объёме выборки оценка дисперсии через последнюю величину является несколько смещённой, при бесконечно большом объёме выборки разница между указанными величинами исчезает.

# Пример стандартного отклонения

- Из предыдущего примера мы знаем, что среднее выборки равно 25.6

Данные (X's)	Среднее арифм.	$(X_i - \bar{X})$	$(X_i - \bar{X})^2$	SSQ	Отклонение	SD
5	25.67			$\Sigma(X_i - \bar{X})^2$	$(SSQ/(n-1))$	SQRT(откл-ие)
11	25.67					
6	25.67					
14	25.67					
11	25.67					
58	25.67					
47	25.67					
16	25.67					
9	25.67					
48	25.67					
43	25.67					
53	25.67					
49	25.67					
9	25.67					
10	25.67					

# Пример стандартного отклонения

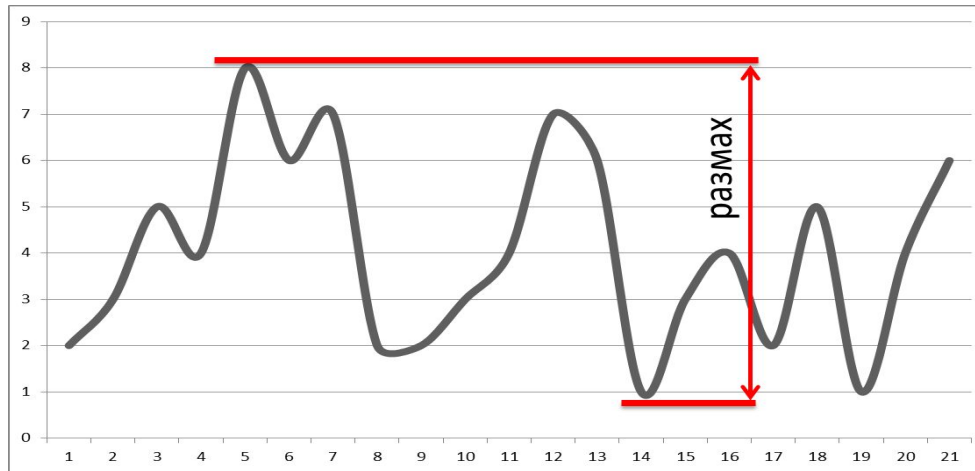
- Из предыдущего примера мы знаем, что среднее выборки равно 25.6
- Найдите стандартное отклонение выборки.

<u>X's</u>	<u>Xbar</u>	<u>X - Xbar</u>	<u>(X-Xbar)^2</u>	<u>Sum(X - Xbar)^2</u>	<u>Sqrt(SSQ)</u>	<u>SD</u>
<u>5</u>	<u>25.67</u>	<u>-20.67</u>	<u>427.249</u>	<u>5865.974</u>	<u>418.998</u>	<u>20.469</u>
<u>11</u>	<u>25.67</u>	<u>-14.67</u>	<u>215.209</u>			
<u>6</u>	<u>25.67</u>	<u>-19.67</u>	<u>386.909</u>			
<u>14</u>	<u>25.67</u>	<u>-11.67</u>	<u>136.189</u>			
<u>11</u>	<u>25.67</u>	<u>-14.67</u>	<u>215.209</u>			
<u>58</u>	<u>25.67</u>	<u>32.33</u>	<u>1045.229</u>			
<u>47</u>	<u>25.67</u>	<u>21.33</u>	<u>454.969</u>			
<u>16</u>	<u>25.67</u>	<u>-9.67</u>	<u>93.509</u>			
<u>9</u>	<u>25.67</u>	<u>-16.67</u>	<u>277.889</u>			
<u>48</u>	<u>25.67</u>	<u>22.33</u>	<u>498.629</u>			
<u>43</u>	<u>25.67</u>	<u>17.33</u>	<u>300.329</u>			
<u>53</u>	<u>25.67</u>	<u>27.33</u>	<u>746.929</u>			
<u>49</u>	<u>25.67</u>	<u>23.33</u>	<u>544.289</u>			
<u>9</u>	<u>25.67</u>	<u>-16.67</u>	<u>277.889</u>			
<u>10</u>	<u>25.67</u>	<u>-15.67</u>	<u>245.549</u>			

Стандартное отклонение  
можно легко вычислить  
(как функцию) с помощью  
большинства  
калькуляторов, а также в  
Excel

# Min, Max и размах вариации

- Простым способом измерения значения постоянства в наборе данных – это расчет Min, Max и размаха вариации.
- Min – это минимальное значение в нашем наборе данных
- Max- это максимальное значение.
- Размах вариации – это разность между Max и Min, он позволяет нам оценить “разброс” в наших данных.



- Используя наши данные колл-центра,  $Min = 0$ ,  $Max = 58$ , размах вариации составляет  $58 - 0 = 58$ .

# Центральная тенденция и вариация

- Ключевой момент в применении SPC – это понимание того, как центральная тенденция и вариация работают вместе для описания процесса путем обобщения его данных:
  - **Центральная тенденция** находится там, где “центр” процесса – это там, где мы ожидаем большинство из результатов обработки данных.
  - **Вариация** показывает нам, какой “разброс” имеется в данных – чем меньше вариация, тем выше непротиворечивость процесса.
- Оба показателя – как мера центральной тенденции, так и вариация - необходимы для описания набора данных – они являются “правой” и “левой” рукой измерений Lean Six Sigma

# Упражнение

Дана выборка:

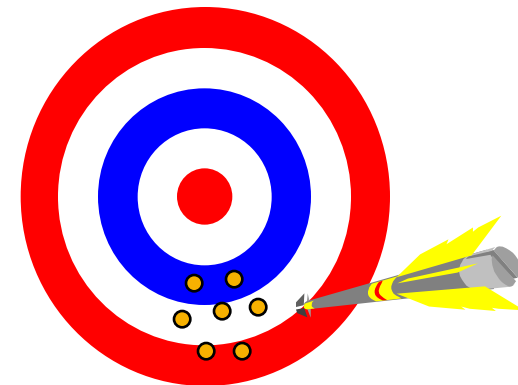
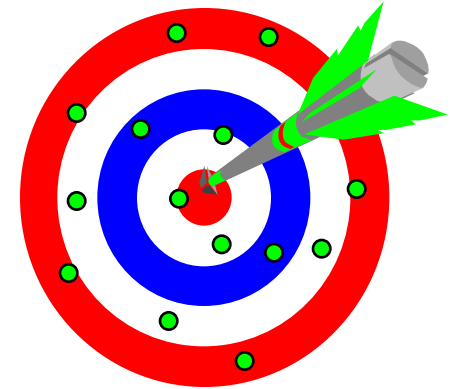
5, 6, 3, 6, 4, 5, 3, 7, 6, 7, 5, 6

Найдите:

1. Среднее значение
2. Медиану
3. Стандартное отклонение
4. Минимальное значение
5. Максимальное значение
6. Размах

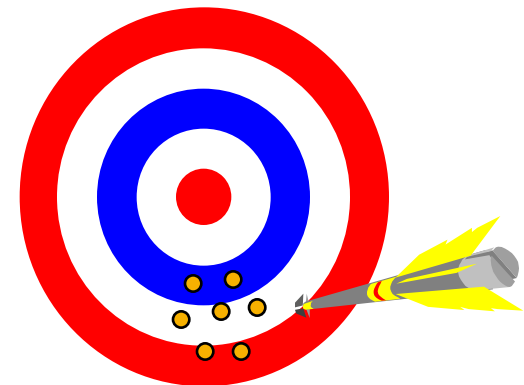
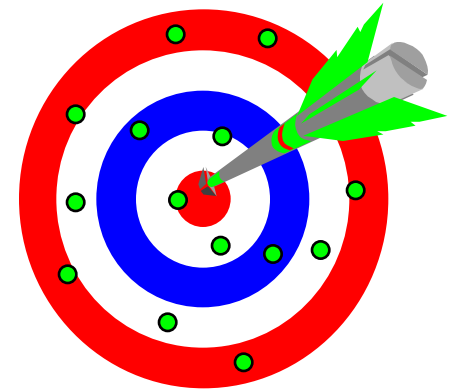
# Понимание аккуратности и точности

- Пусть изображения справа представляют игроков в дартс, то какой из них лучше?
  - Зеленый?
  - Желтый?
- Кто из них более аккуратный (лучше средний результат)?
- Кто из них более точный (более стабильный)?



# Учебная стрельба

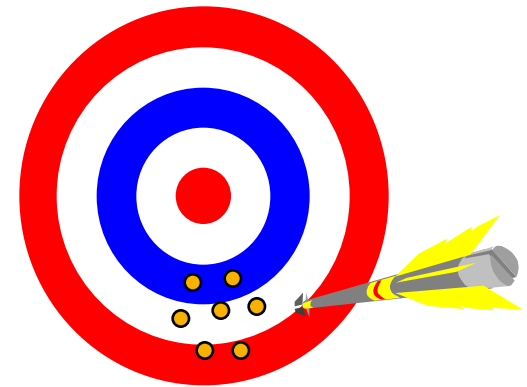
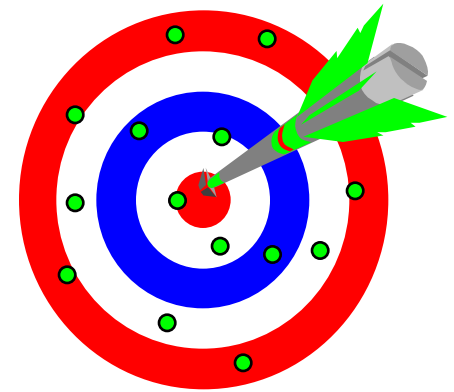
- В среднем, результаты зеленого игрока сосредоточены вокруг яблочка, следовательно, он более аккуратный.
  - Аккуратность – это мера “среднего расстояния от цели”
  
- Однако, желтый игрок более стабилен, и значит, более точный .
  - Точность - это мера “среднего расстояния друг от друга”





# Учебная стрельба

- Каким образом зеленый игрок может улучшить результаты?
- Каким образом желтый игрок может улучшить результаты?
- Как Вы думаете, у кого из игроков больше шансов выиграть чемпионат по дартсу?

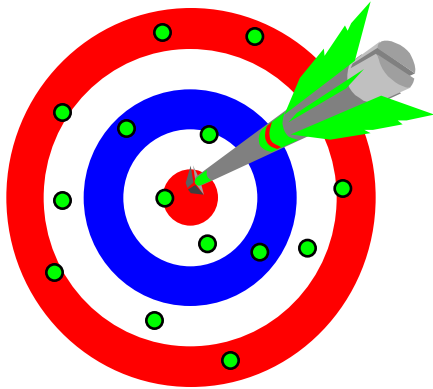


Обычно, легче сдвинуть среднее, чем уменьшить вариацию

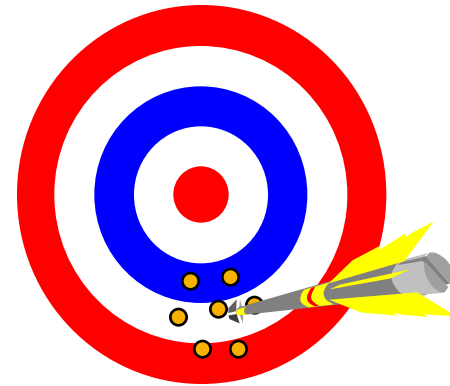
# Задача -

сдвинуть среднее и/или уменьшить вариацию

Слишком большой разброс

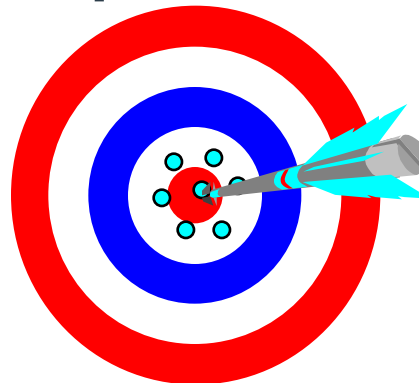


Не по центру



Центрирован  
правильно

Уменьшение  
разброса

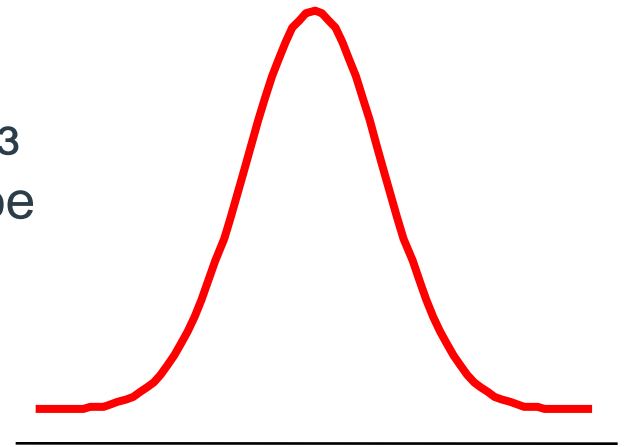


Центрирование

Результатом является улучшение удовлетворенности покупателей и  
снижение затрат

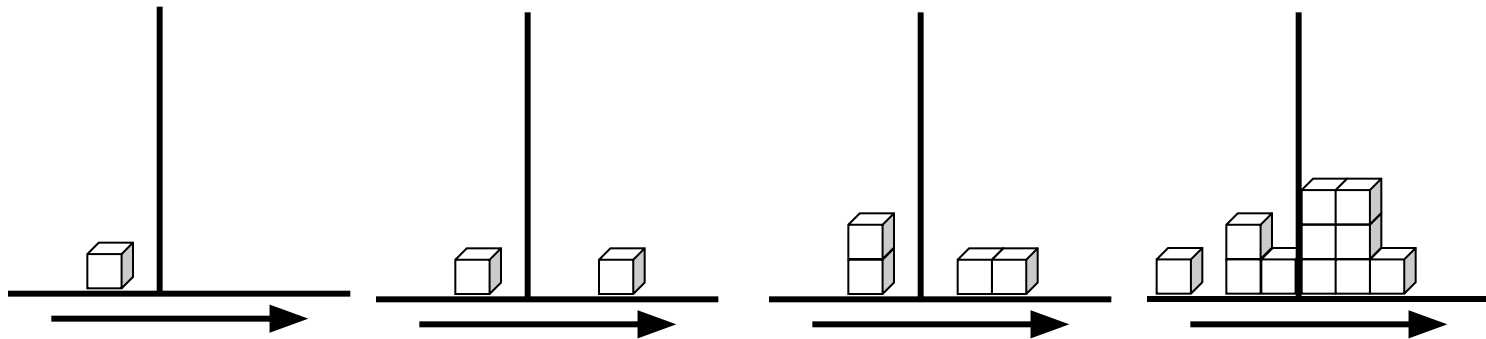
# Введение в «Распределение»

- До сих пор мы использовали показатели среднего и стандартного отклонения для обобщения данных, генерированных процессом.
- Другой способ обобщения данных – это показать их распределение.
- Распределение показывает нам количество раз (“частоту встречаемости”), с которой конкретное значение данных появляется в нашем наборе данных.
- “Пик” распределения показывает нам центральную тенденцию; “разброс” распределения говорит нам о степени variability, присутствующей в данных.



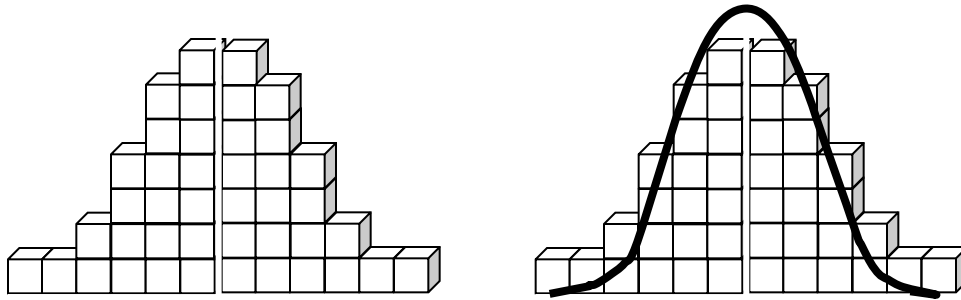
# Вариации: обычные и особые причины

**Вариации** – это различия между индивидуальными выходными данными процесса.

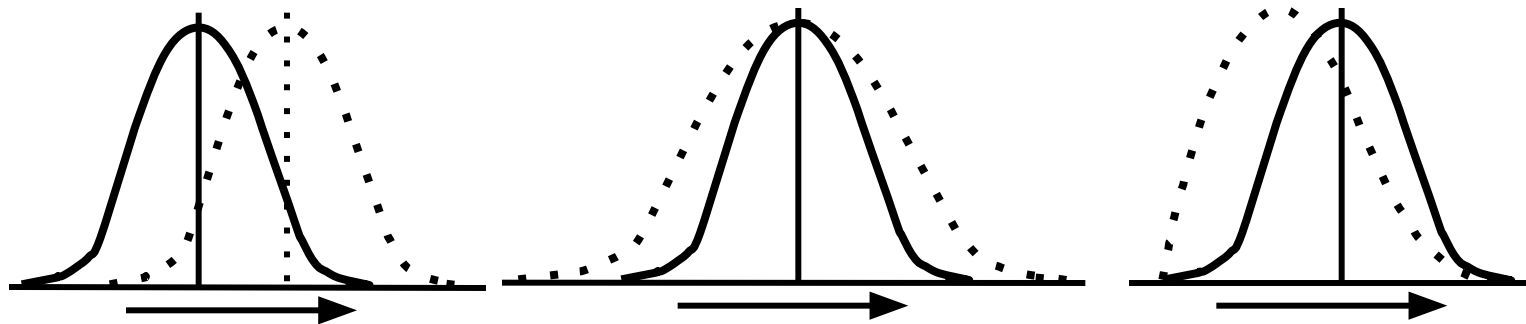


# Вариации: обычные и особые причины

НО ОНИ ОБРАЗУЮТ СТРУКТУРУ И, ЕСЛИ ОНА СТАБИЛЬНА, ТО МОЖЕТ БЫТЬ ИЗОБРАЖЕНА В ВИДЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ

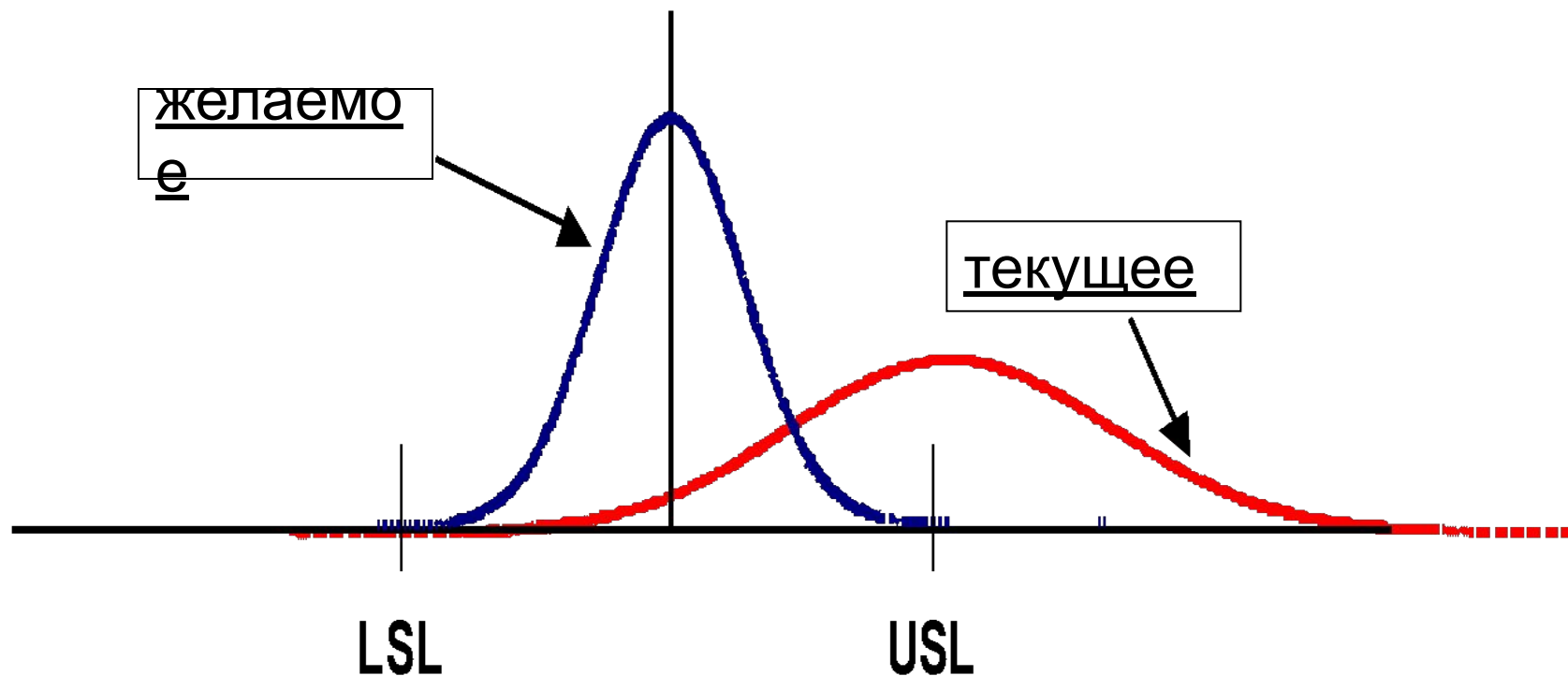


РАСПРЕДЕЛЕНИЯ МОГУТ РАЗЛИЧАТЬСЯ:

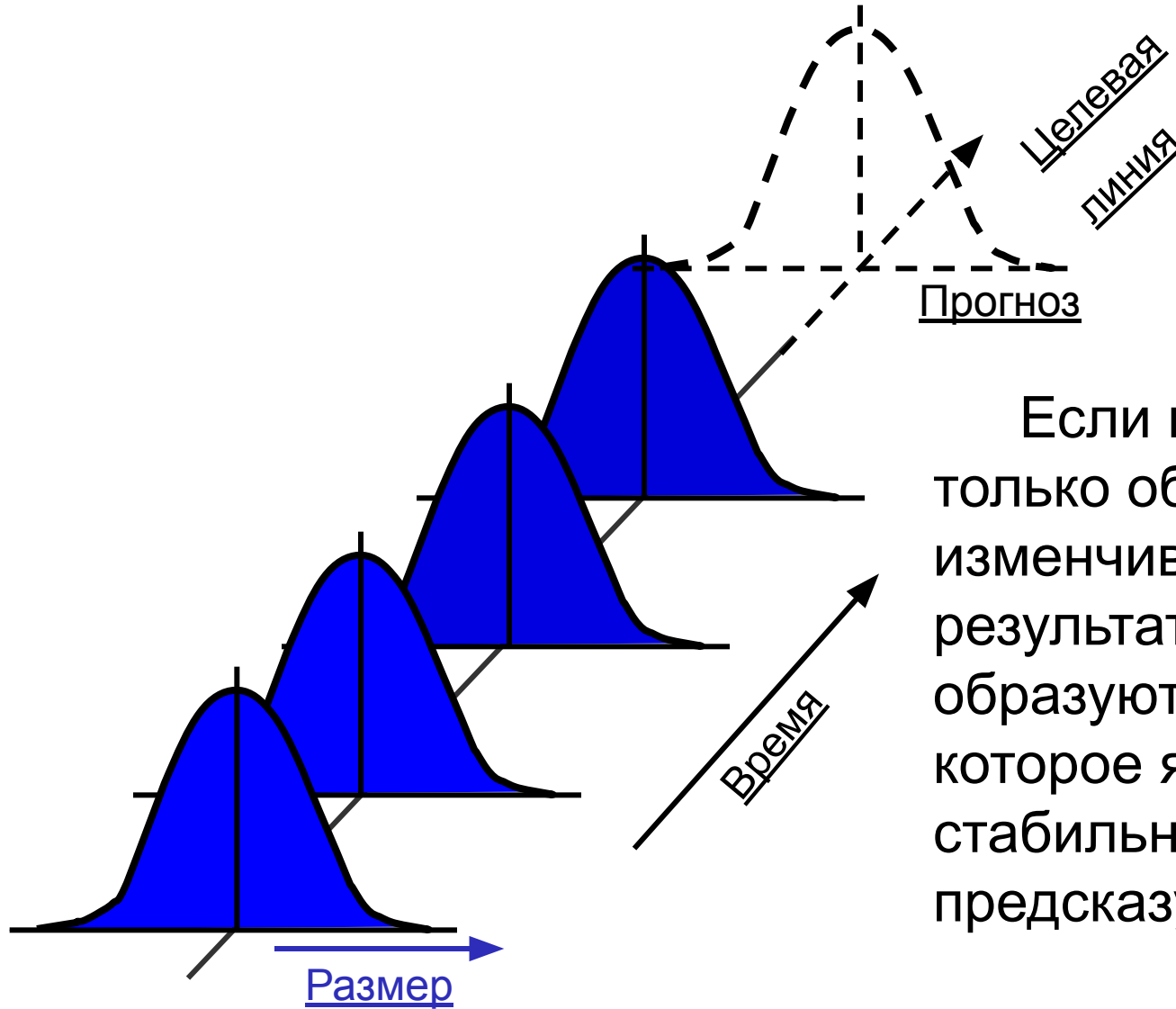


Управление качеством продукции.  
Статистическое управление процессами

# Смещение среднего и уменьшение вариации

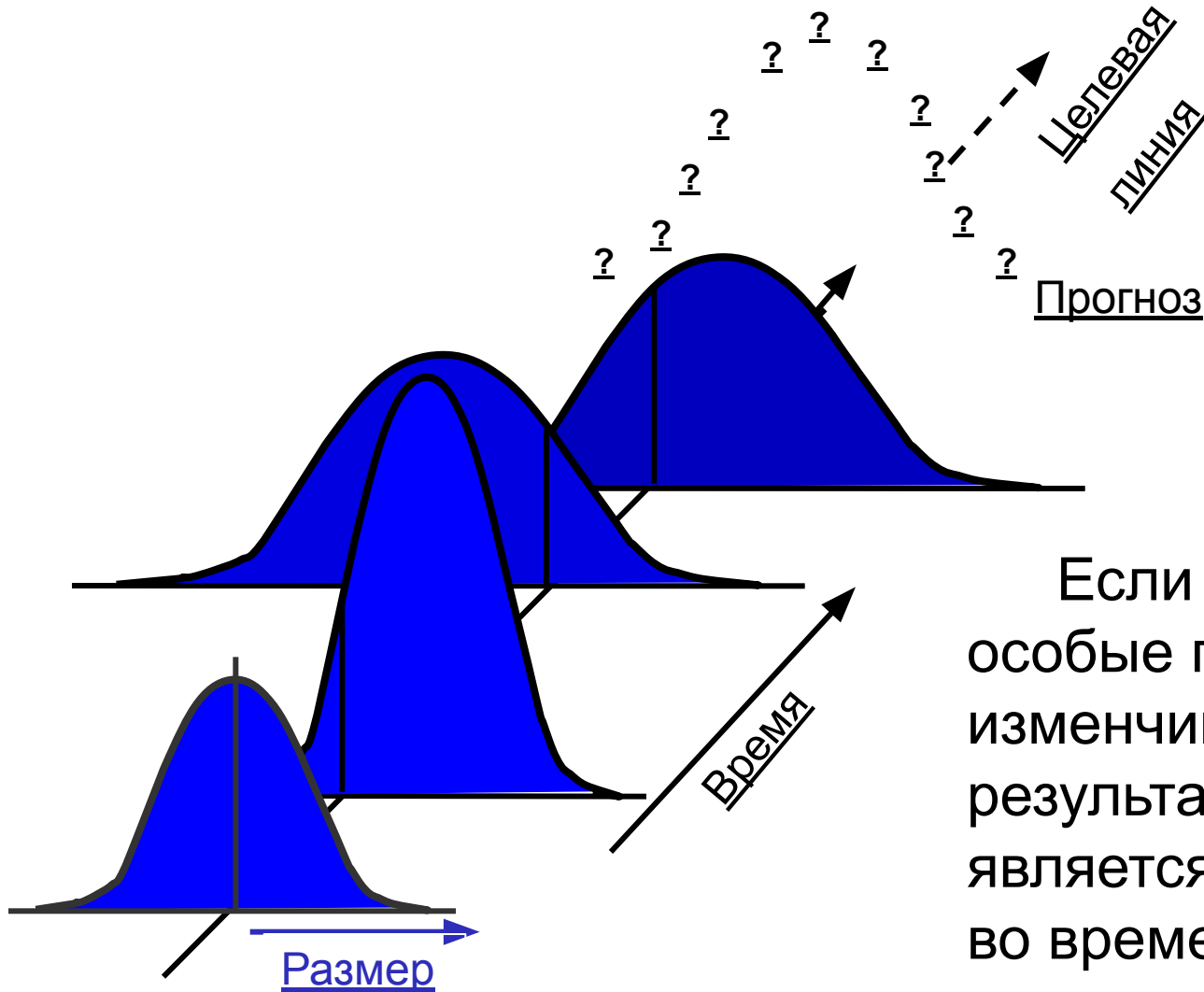


# Вариации: обычные и особые причины



Если имеют место только обычные причины изменчивости, то результаты процесса образуют распределение, которое является стабильным во времени и предсказуемым

# Вариации: обычные и особые причины



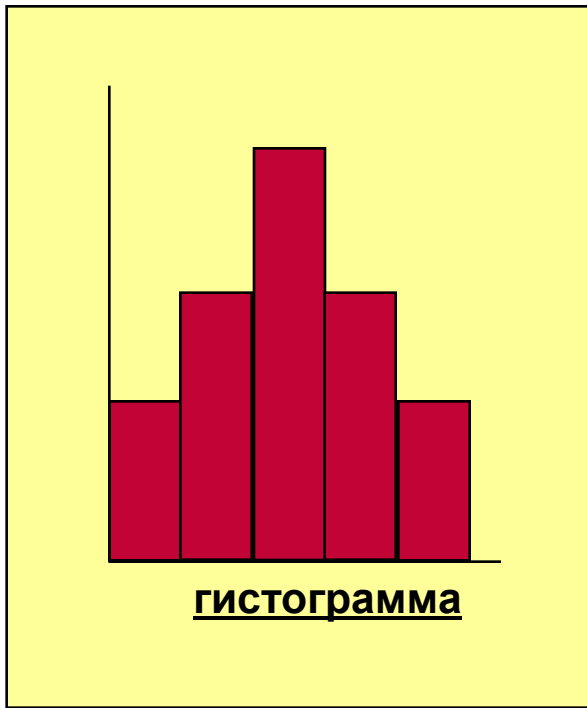
Если имеют место особые причины изменчивости, то результат процесса не является стабильным во времени



# Распределение

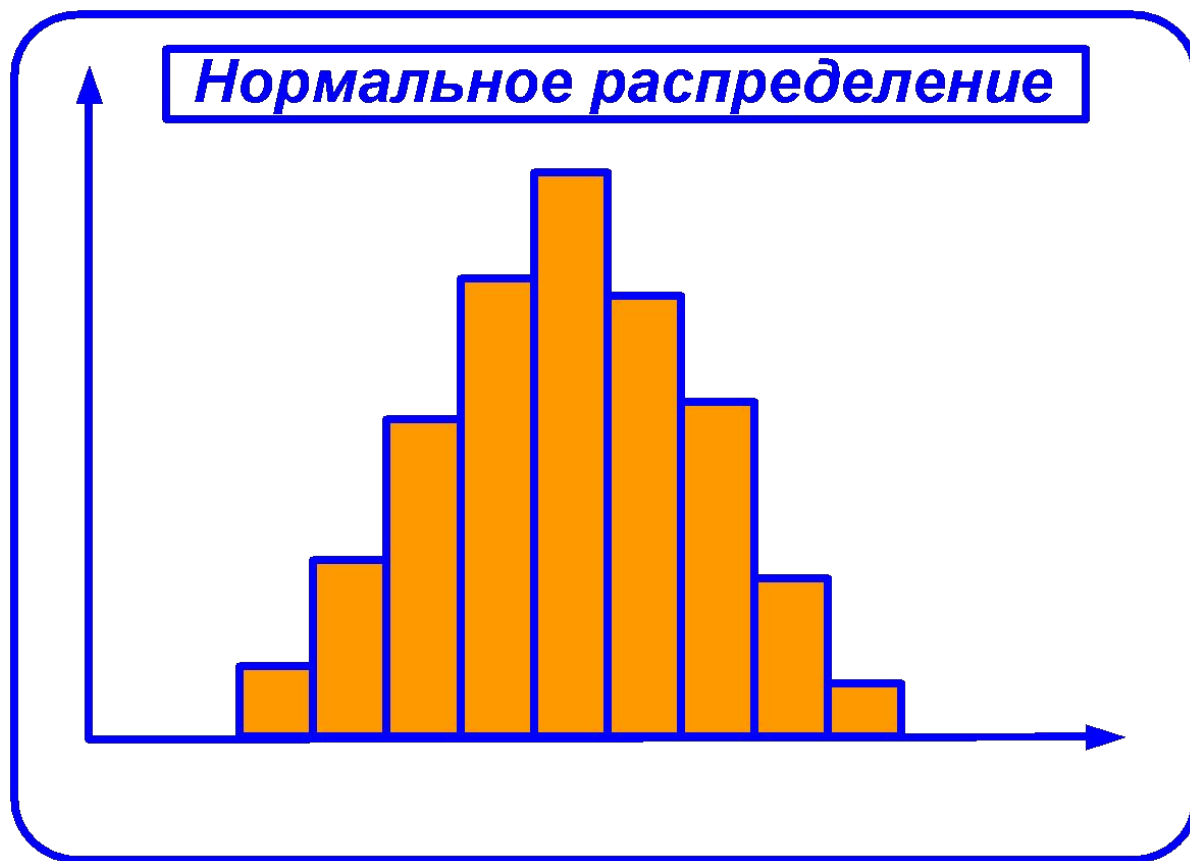
- Анализируя распределение, мы можем увидеть модели, которые сложно увидеть в простой таблице чисел
- Различные процессы и явления порождают различные модели распределения
- И обычные, и особые причины вариаций представлены в распределении
- Приведенные примеры показывают различные типы распределения

# Использование гистограмм



- Гистограмма – это традиционный графический инструмент, используемый для представления распределения.
- Гистограмма построена на разнице между миним. и макс. результатами наблюдений, она делит их на интервалы одинаковой ширины.
- Число наблюдений в каждом интервале затем подсчитывается и их частота отображается как высота каждого столбика.
- Гистограмма, в сущности, является простым способом отображения распределения, который генерирует данные, нанесенные на карту.

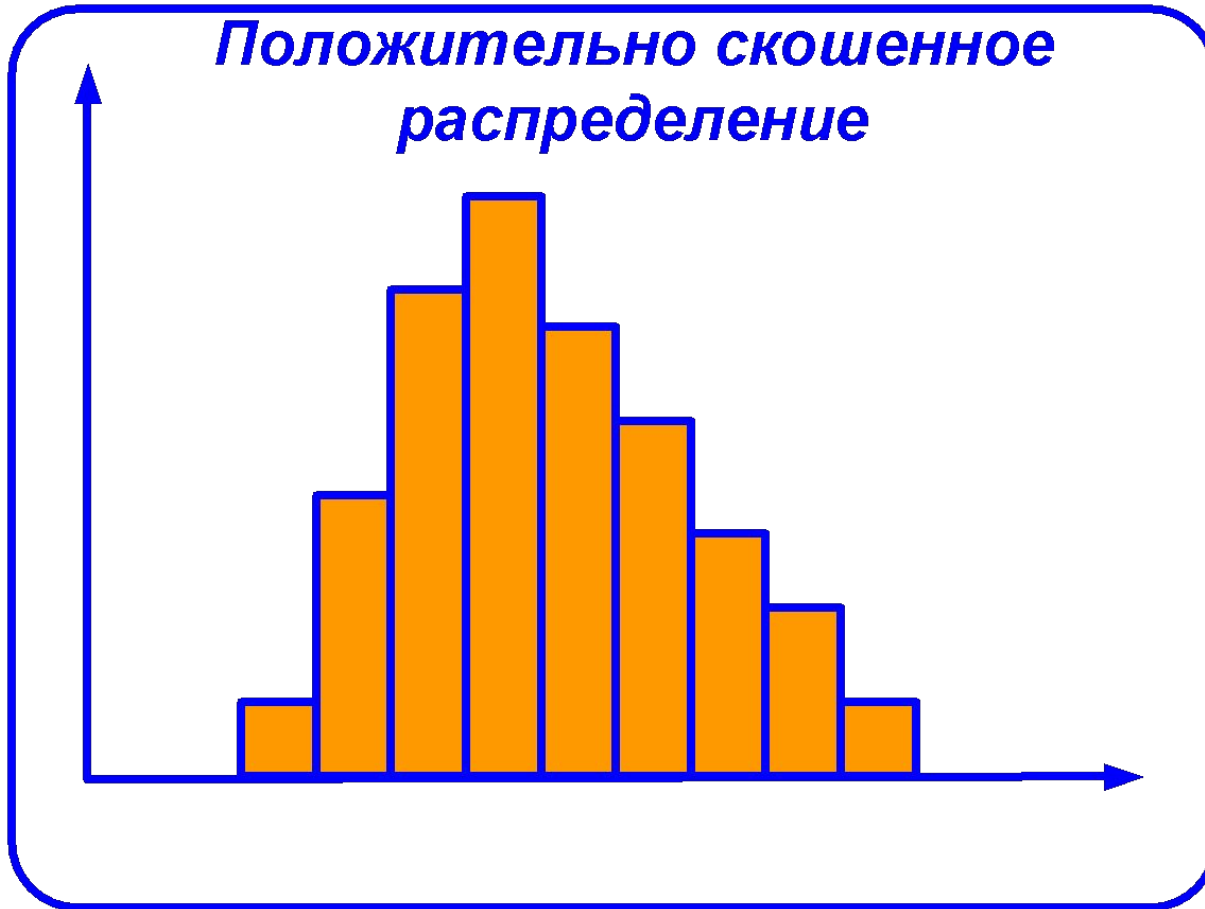
# Виды гистограмм



**Данный тип  
распределения  
соответствует  
нормальному  
(распределению  
Гаусса)**

**Нет явных  
оснований  
подозревать ошибку**

# Виды гистограмм

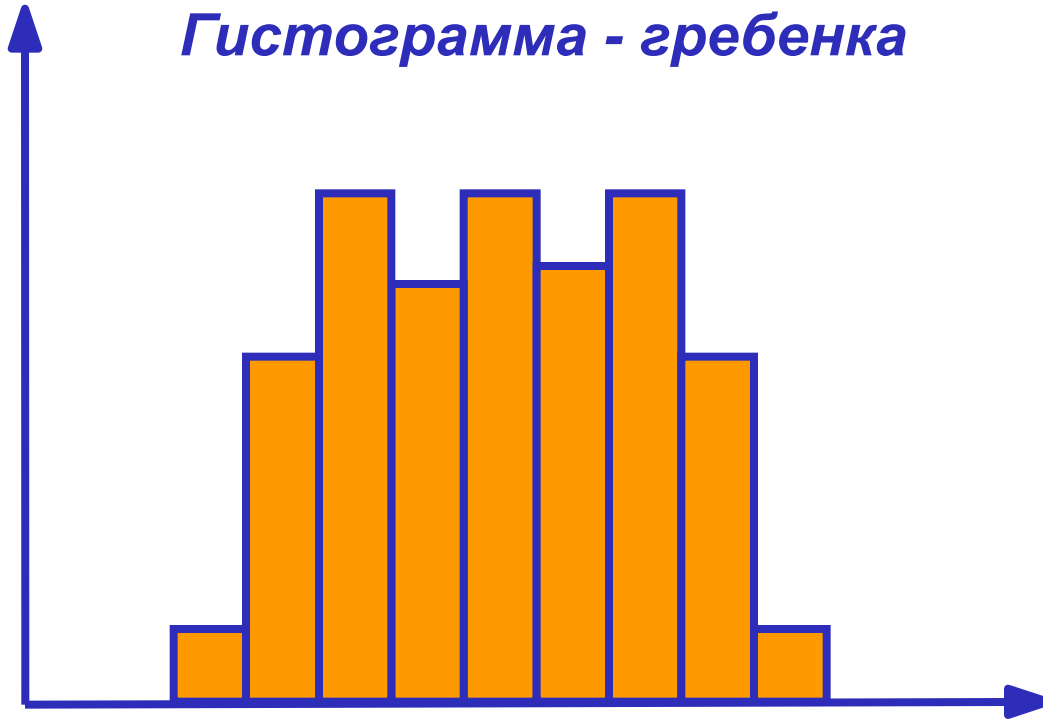


**Соответствует  
распределению  
Рэля**

**Характерно для  
одностороннего  
допуска**

# Виды гистограмм

*Гистограмма - гребенка*



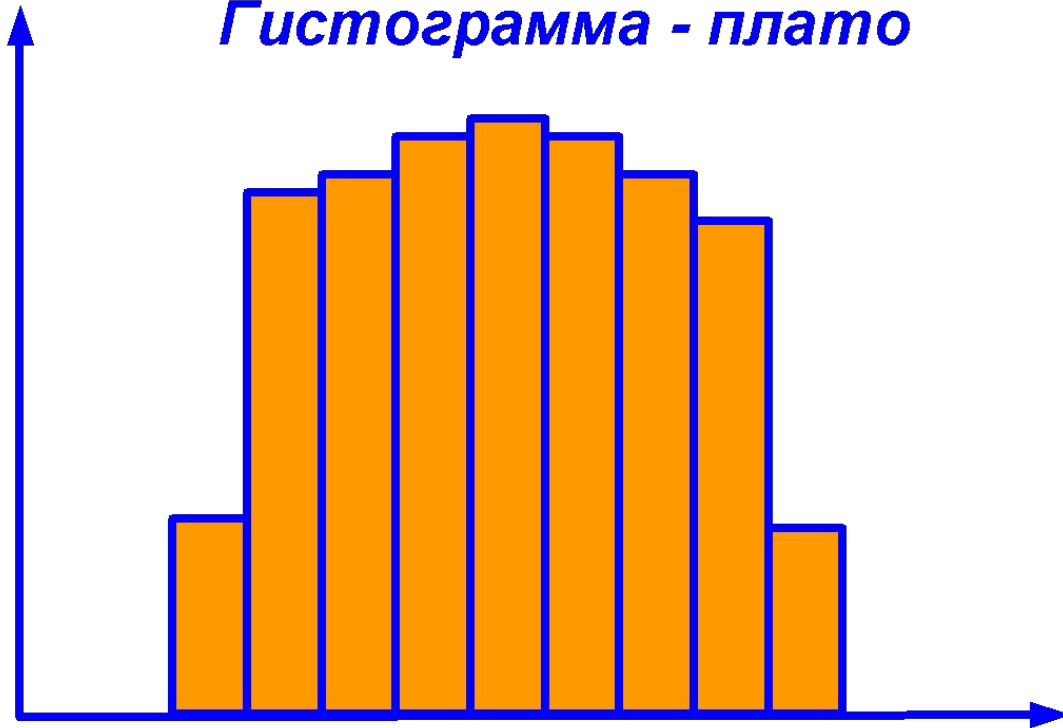
**Возможны ошибки при расчете и округлении ширины интервала  $b$**

**Возможны ошибки при замерах и их обработке**

**Возможно, необходимо провести расслоение данных**

# Виды гистограмм

*Гистограмма - плато*



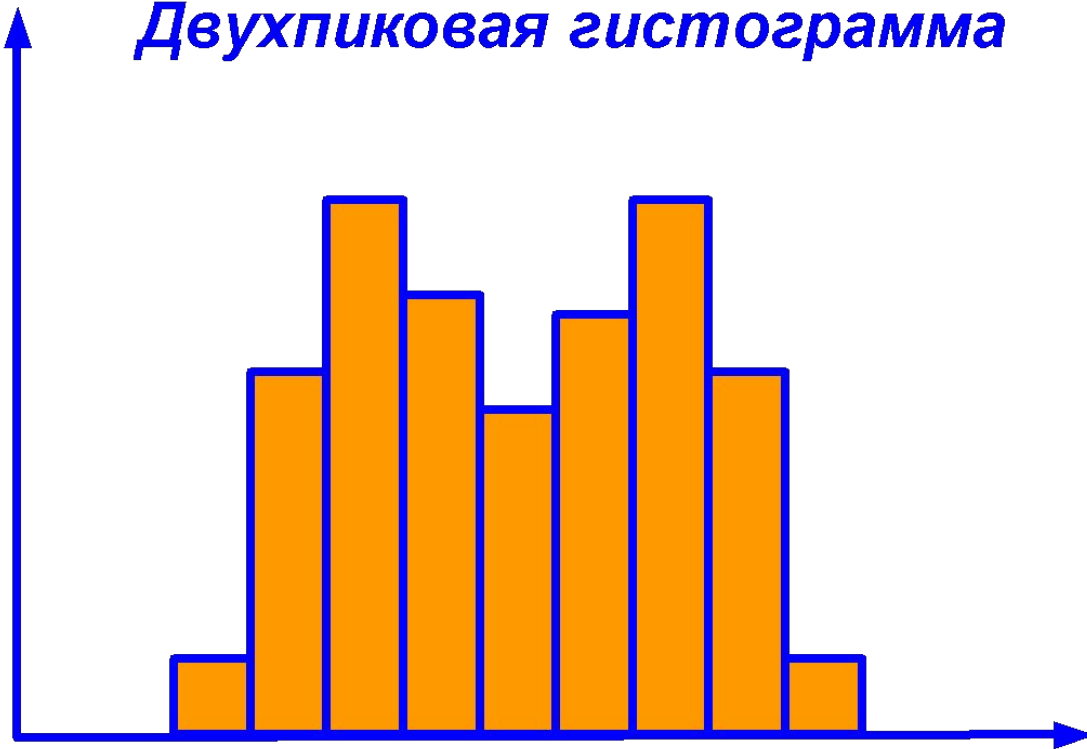
**Большинство интервалов имеют примерно равную частоту**

**Возможно, неверно выбрано количество интервалов  $k$**

**Возможно смешение двух распределений с различными параметрами**

# Виды гистограмм

*Двухпиковая гистограмма*

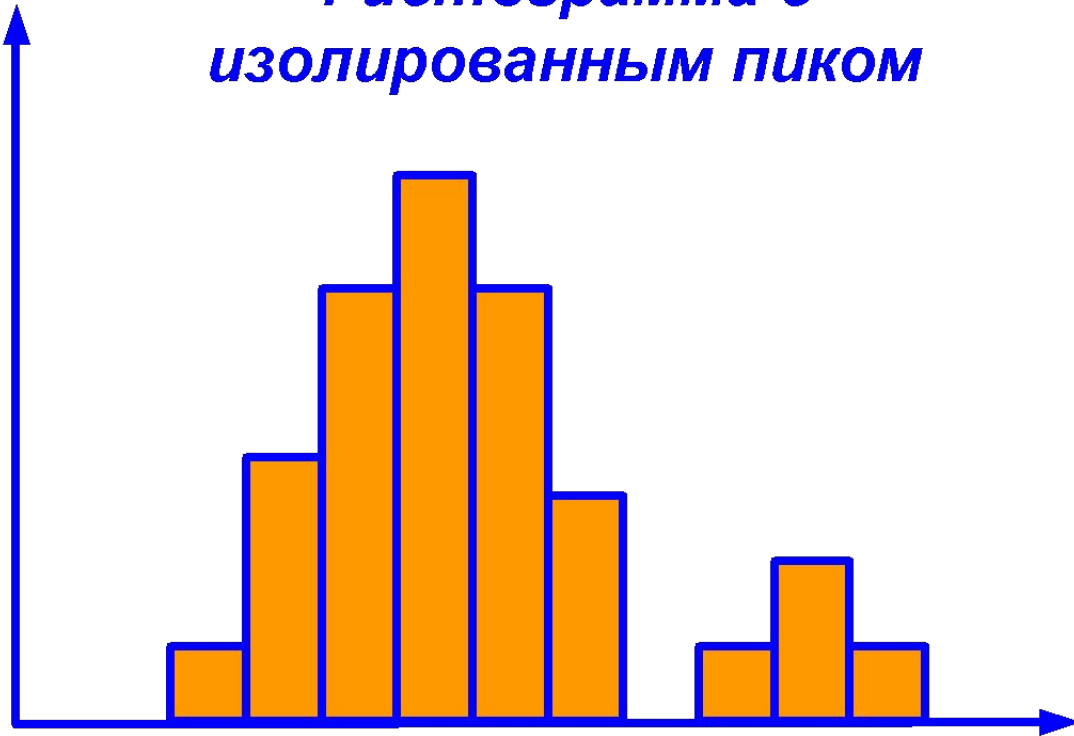


Получается при смешении двух распределений с разными средними значениями

Необходимо провести расслоение данных

# Виды гистограмм

*Гистограмма с  
изолированным пиком*

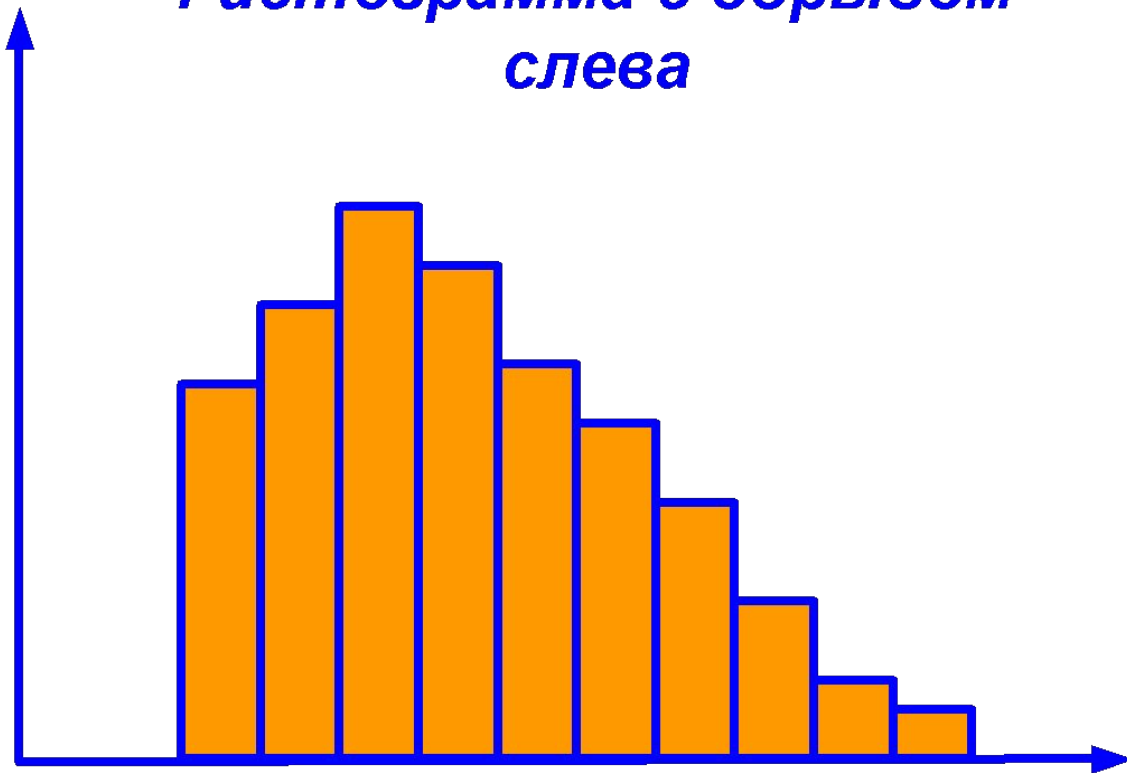


**В выборку попало  
небольшое  
количество данных  
другого  
распределения  
Ошибка в  
измерении  
Необходимо  
проверить  
достоверность  
данных и  
процедуру замеров**



# Виды гистограмм

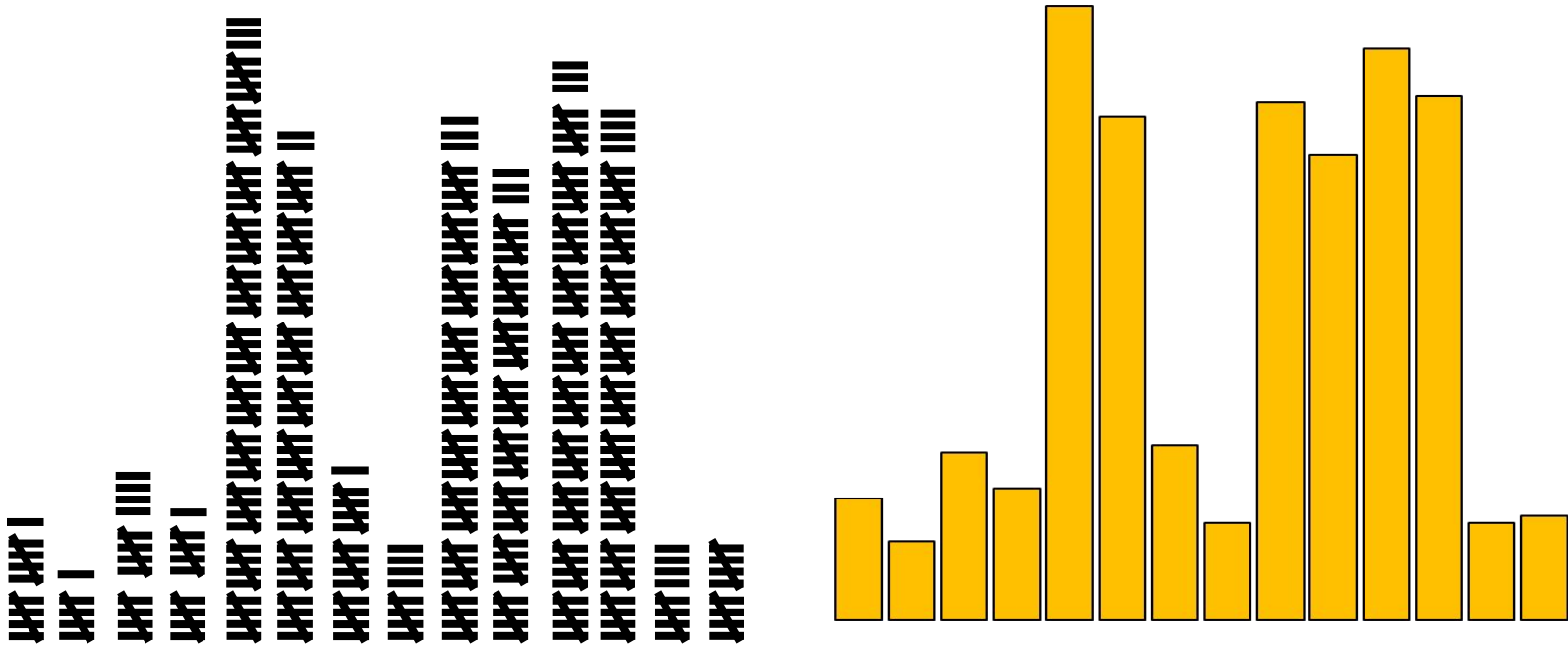
*Гистограмма с обрывом  
слева*



**Возможно, замеры  
проводились  
после отсеивания  
деталей по  
нижней границе  
допуска  
(например, при  
активном  
контроле)**

# Гистограмма

- Если опять взять данные колл-центра и просто сдвинуть контрольную таблицу, то мы получим гистограмму данных



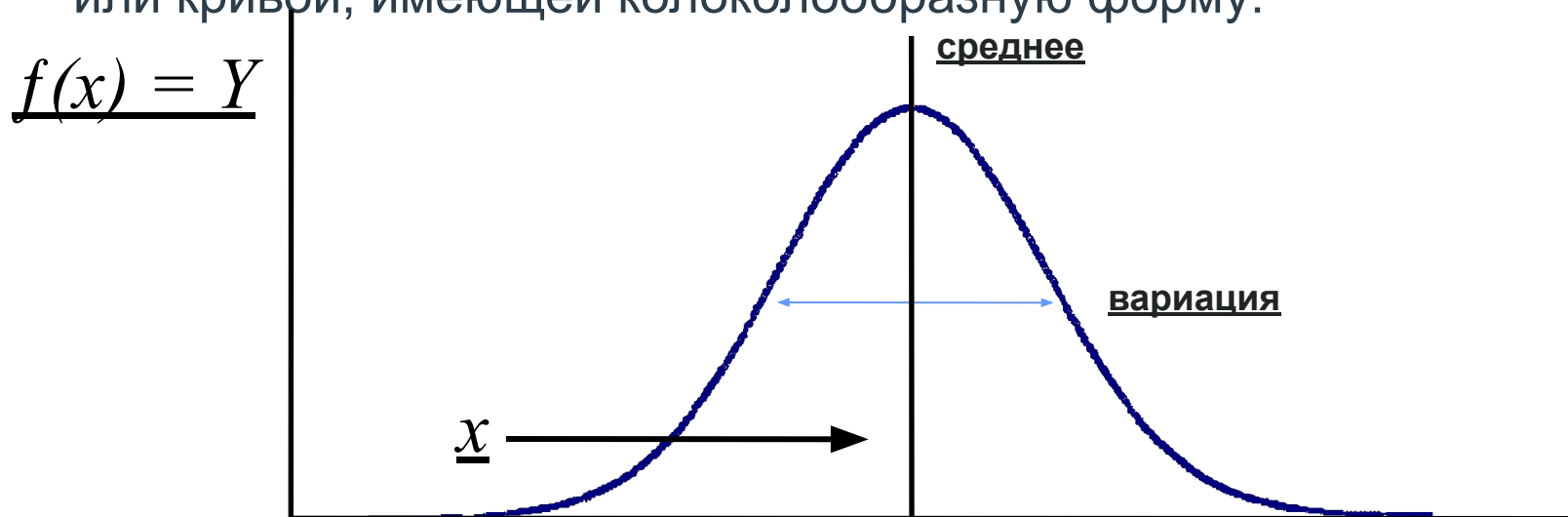
- Посмотрим на гистограмму, где мы видим две зоны, в которых имеются 'пики'
- Таким образом, следующий вопрос, который возникает: являются ли эти данные нормальными?

# Упражнение

По данной ранее выборке:  
5, 6, 3, 6, 4, 5, 3, 7, 6, 7, 5, 6  
постройте гистограмму.

# Нормальное распределение

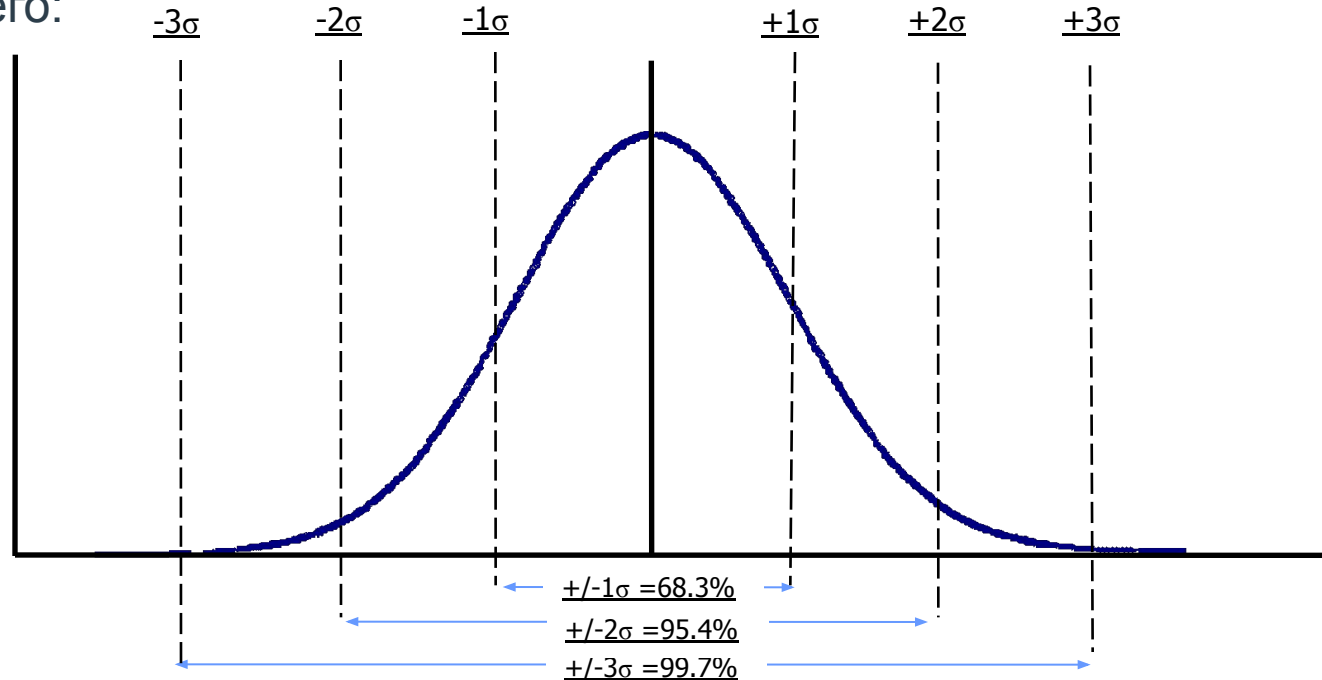
- Если измерять показатели процесса в динамике по времени, то многие процессы имеют тенденцию к нормальному распределению или кривой, имеющей колоколообразную форму:



- Нормальное распределение важно для статистики из-за отношения между формой кривой и стандартным отклонением ( $\sigma$ ). Оно является основой для большинства статистических анализов, которые вы будете проводить как специалисты «зеленого» или «черного пояса» .

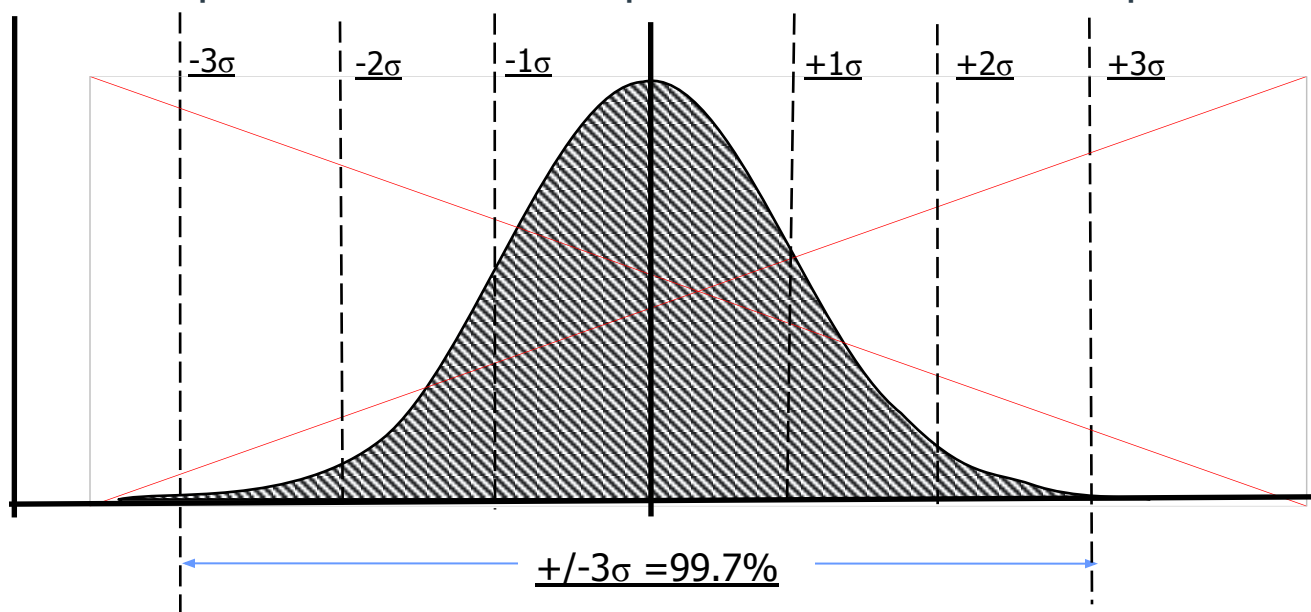
# Свойства нормального распределения

- Один из способов показать взаимосвязь между стандартным отклонением сигма ( $\sigma$ ) и формой кривой – это использование сигмы в качестве “измерительной рейки”, чтобы описать, как далеко мы находимся от среднего значения.
- Специальные свойства нормального распределения позволяют нам рассчитать зону ниже кривой, исходя из того, на сколько сигм мы удалены от среднего:



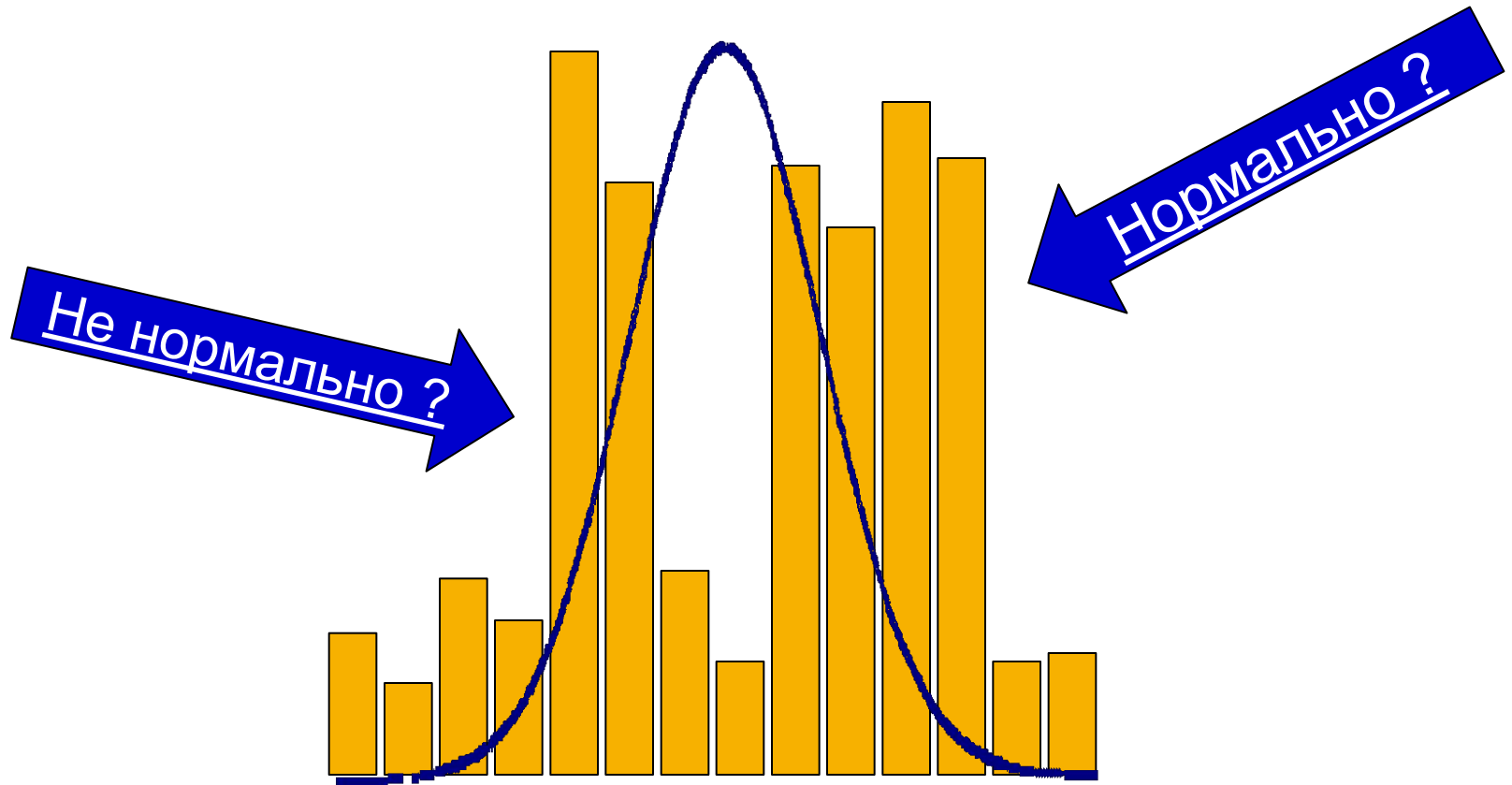
# Свойства нормального распределения

- Другое свойство нормального распределения – область ниже кривой – показывает нам вероятность появления одного из результата данных, взятого из этого интервала распределения.
- Данное специальное свойство позволяет нам прогнозировать показатели процесса в динамике по времени.
- В сущности, все области (99.73%) нормального распределения находятся в пределах между  $-3$  сигма и  $+3$  сигма от среднего. Только 0.27% данных оказываются за пределами 3 стандартных отклонений от среднего:



# Гистограмма

- Если опять взять данные колл-центра и наложить на график нормальной вероятности, что мы можем сказать об этих данных?



# Выводы

- Чтобы улучшить процесс, мы должны его сначала измерить.
- Процесс может быть обобщен описанием как его центральной тенденции, так и вариабельности.
- Обычные причины вариаций и особые причины вариаций – это два типа вариаций, присутствующих в процессе.
- Наша способность “поразить цель” и минимизировать вариации – это ключ к улучшению показателей процесса.
- Для того, чтобы улучшить существующий процесс, Вы должны сначала понять его текущую пригодность.
- Пригодность процесса можно измерить в количественном выражении путем сравнения “голоса процесса” (среднее значение и стандартное отклонение) с “голосом потребителя” (верхний и нижний уровни спецификаций).





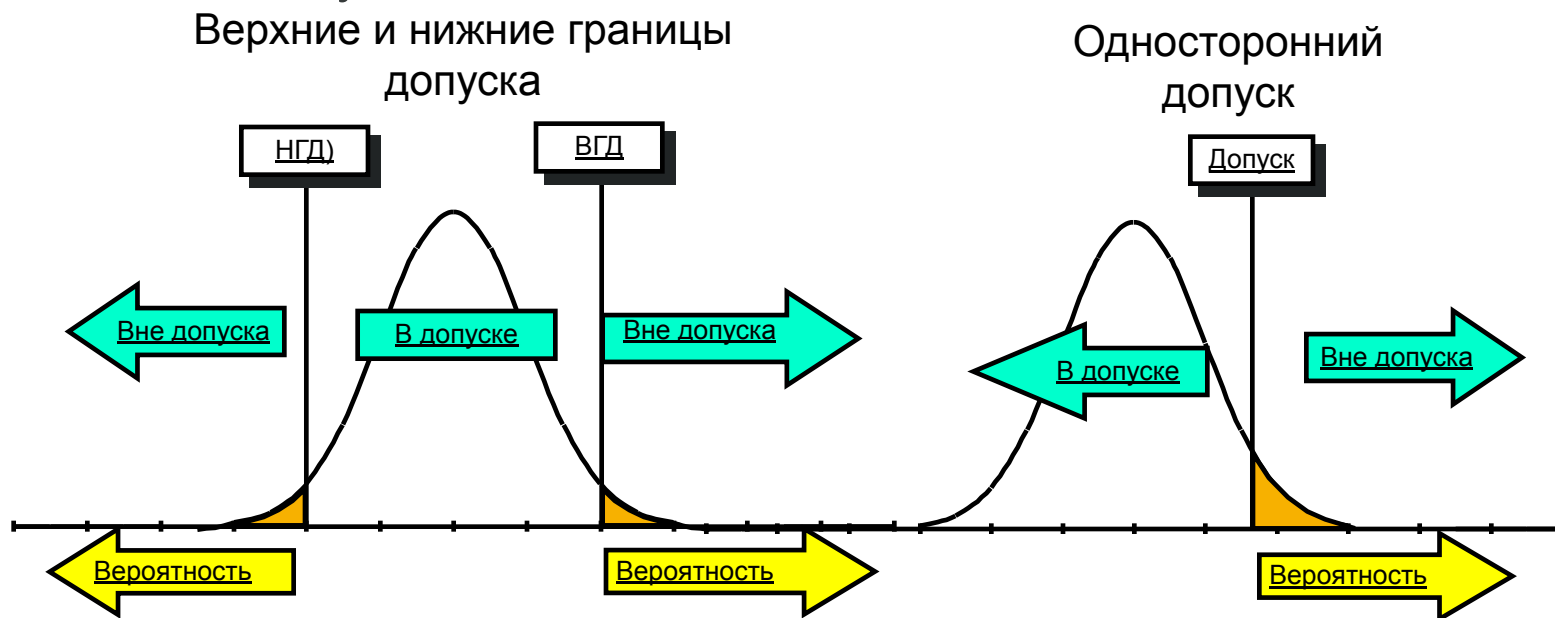
# Анализ возможностей

# Оценка эффективности процесса

- **Оценка процесса необходима для:**
  - Определения возможности процесса производить бездефектную продукцию или работу.
  - Выявления отклонений при выполнении существующего процесса для обеспечения уровня улучшения, который проявился после успешной реализации проекта.
  - Показатели улучшения после успешной реализации проекта.

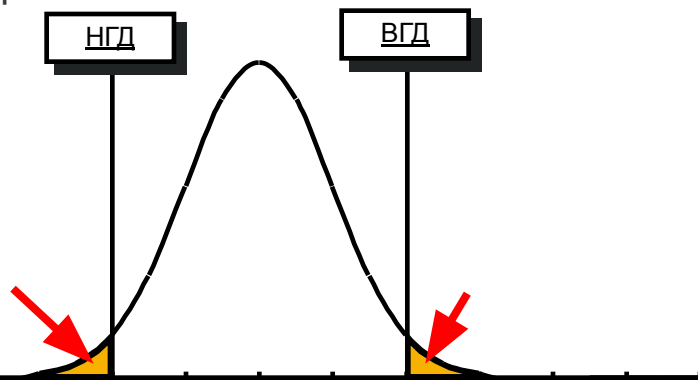
# Что такое возможность процесса?

- Возможность процесса - это простой способ измерения выполнения показателей и установленных технических требований. При допущении, что показатели нашего процесса формируются стабильно, у нас также есть возможность создавать прогноз вероятности оценки показателей, находящихся за пределами допуска.



# Уровень дефектов

- Уровень дефектов – это самый простой способ проведения оценки эффективности процесса.
- Он предоставляет соотношение между количеством дефектных деталей и общим количеством произведенных деталей в процентном соотношении.



Уровень дефектов = % Площадь под графиком и внешней стороны спецификации относительно общей площади под графиком

	Неделя 1	Неделя 2
<u>1</u>	OK	OK
<u>2</u>	OK	NOK
<u>3</u>	NOK	OK
<u>4</u>	OK	OK
<u>5</u>	OK	OK
<u>6</u>	OK	NOK
<u>7</u>	NOK	OK
<u>8</u>	OK	OK
<u>9</u>	NOK	OK
<u>10</u>	OK	OK
Уровень дефектов	30%	20%
Объем производства годной продукции	70%	80%

## Непрерывные данные

## Дискретные данные

Управление качеством продукции.  
Статистическое управление процессами

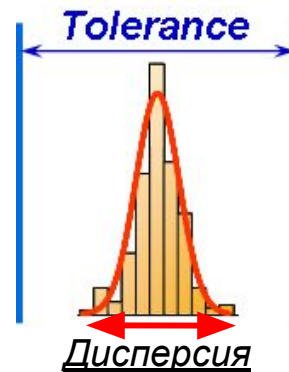
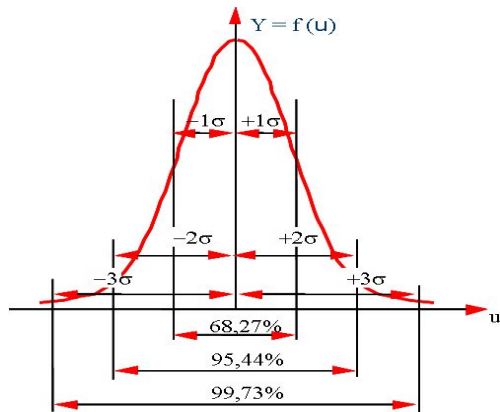
# Оценка воспроизводимости процессов

Воспроизводимость, или другими словами, способность процесса удовлетворить допуск, характеризуется двумя величинами – настройкой и разбросом.

Эти величины используются при расчете индексов, которые называются индексами воспроизводимости (возможности) процесса и которые говорят о способности процесса удовлетворять установленным требованиям, т.е. допуску.

# Возможность процесса – «Ср» или «Срк»?

- «Ср» - показатель возможности измеряет потенциальную возможность (например, если процесс сосредоточен в центре)
- «Срк» - показатель возможности измеряет фактическую возможность
- Оба показателя основаны на соотношении допустимого предела и фактической дисперсии процессов.
  - Допустимый предел : Верхняя граница допуска – Нижняя граница допуска
  - Дисперсия процесса : область значений, покрывающая 99,73% данных (6 стандартных отклонений)



$$C_{p-} \equiv \frac{\text{Доп. предел}}{\text{Дисперсия}}$$

# Индексы воспроизводимости процессов

$C_p$  – говорит о потенциальных возможностях процесса, он показывает сколько раз по 6 сигм может уложиться в границы допуска.

# Индексы воспроизводимости процессов

$C_{pk}$  – показывает, сколько раз по  $3\sigma$  укладывается до ближайшей границы допуска

Если  $C_p > 1$ , а  $C_{pk} = 1$ , то вероятность появления несоответствий - 0,14%

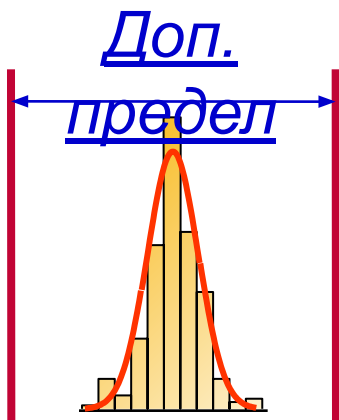


# Измерение: анализ возможности

- «Ср» (показатель возможности процесса) – это показатель способности оборудования выполнить наши ожидания

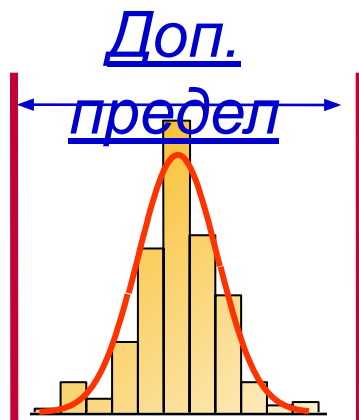
$$C_p \equiv \frac{\text{Доп. предел}}{\text{Дисперсия}}$$

$$C_p \equiv \frac{\text{Доп. предел}}{6\sigma} \quad \text{Для нормального распределения}$$



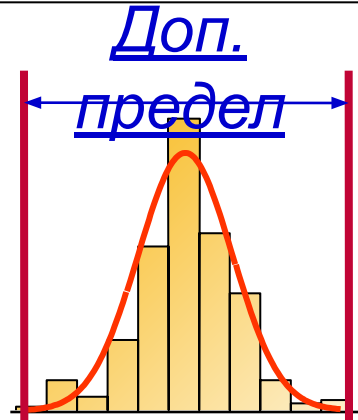
$$CP \geq 1.67$$

Высокое качество.  
Можем ли мы, не рискуя,  
сократить  
производственные  
затраты?



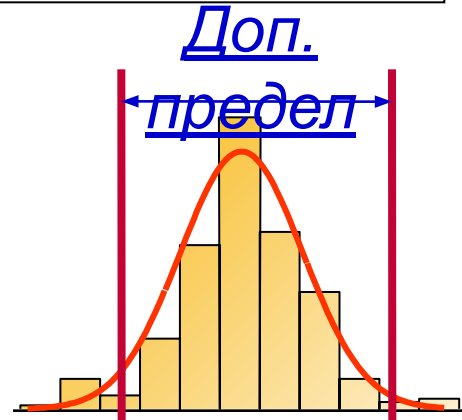
$$1.33 \leq CP < 1.67$$

Мы по-прежнему можем  
допустить некоторую  
дополнительную  
вариабельность.



$$1 \leq CP < 1.33$$

Граница раздела!  
Нет возможности для  
незапланированной  
неустойчивости

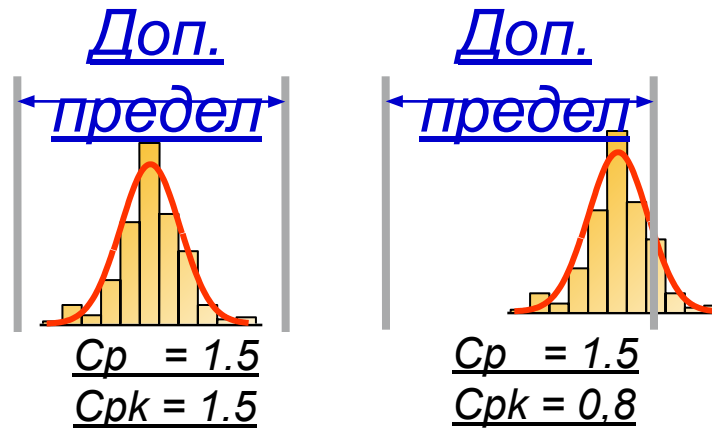


$$CP < 1$$

Слишком много  
несоответствий

# Измерение: анализ возможности

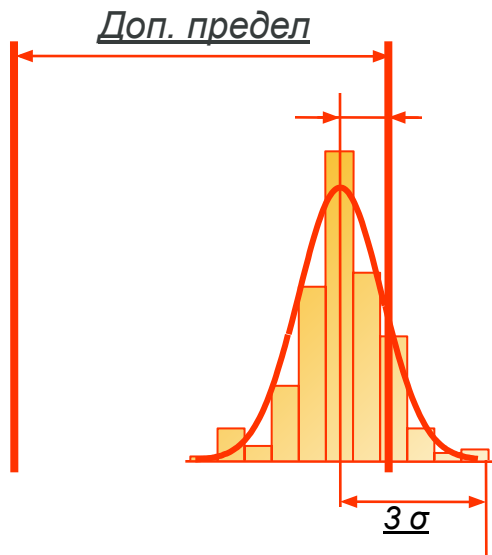
- «Срк» учитывает дисперсию процесса (среднее значение) и его относительное к спецификациям положение.



- В обоих случаях, «Ср» одинаковый, но «Срк»– нет!
- «Срк» учитывает уменьшение и выявляет правильную возможность процесса, если он не сосредоточен между спецификациями. Если процесс сосредоточен по центру допуска, тогда  $C_p = C_{pk}$ .

# Измерение: анализ возможности

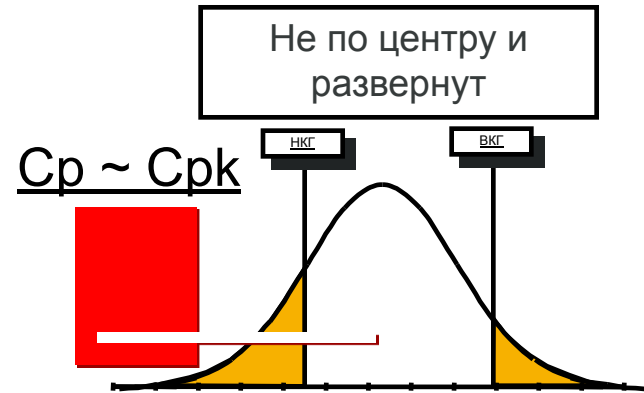
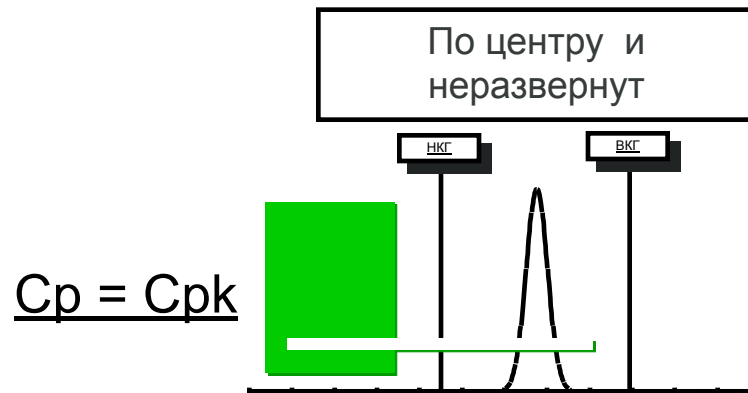
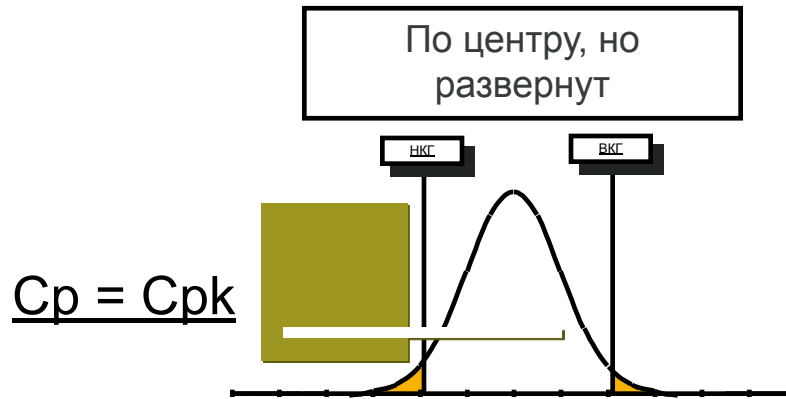
$$C_{рк\text{ вгд}} = \frac{ВГД - \bar{X}}{3 \cdot \sigma}$$
$$C_{рк\text{ нгд}} = \frac{\bar{X} - НГД}{3 \cdot \sigma}$$
$$C_{рк} = \text{Min}(C_{рк\text{ вгд}}; C_{рк\text{ нгд}})$$



- «Срк» проводит сравнение расстояния между средней и ближайшей границей допуска.
- Выявляет фактическую возможность процесса

# Что необходимо помнить о «Ср» и «Срк»

- Что Вы можете сказать о «Ср» и «Срк» в различных ситуациях? Являются ли они идентичными, допустимыми?



# Уровень дефектов, соотношение «Срк»

<u>Средний уровень</u>	<u>% соответствия</u>	<u>DPPM (Ppm дефектов)</u>	<u>Оценка Срк</u>
1	<u>68.27</u>	<u>317.400</u>	
2	<u>95.45</u>	<u>45.400</u>	<u>0.67</u>
3	<u>99.73</u>	<u>2.700</u>	1
4	<u>99.9937</u>	<u>63</u>	<u>1.33</u>
5	<u>99.999943</u>	<u>0.57</u>	<u>1.67</u>
6	<u>99.9999998</u>	<u>0.002</u>	2

# Упражнение

- В компании оборудован центр обработки звонков, где отвечают на звонки потребителей через 10 телефонных гудков.
- Следовательно, спецификация ответа на телефонный звонок - **1 к 10 гудкам**
- После проведения расчета было установлено, что среднее число телефонных гудков, требуемых для ответа на звонок составляет 7 с  $\sigma 1.05$ .
- У компании всеобъемлющий процесс или нет?
- Сделайте расчет «Ср» и «Срк»



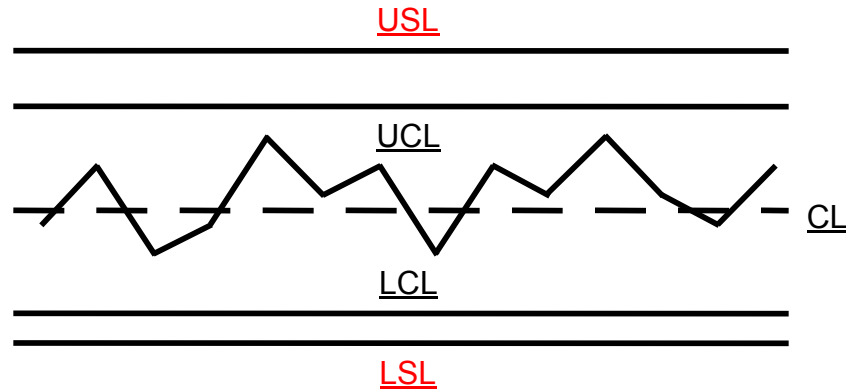
# Контрольные карты

# Контрольные карты

- **Контрольные карты – это наиболее часто используемые инструменты в панели инструментов. Они:**
  - представляют графическую картину процесса во времени
  - практичны и легки в использовании
  - помогают нам установить базу измерений, с которой будут измеряться улучшения
- **Контрольные карты могут использоваться следующим образом:**
  - помогать обнаружить особые причины вариации
  - помогать гарантировать стабильность процесса
  - помогать обнаруживать изменения в самом процессе с ходом времени
  - помогать выявлять ключевые источники вариации в рамках основного процесса

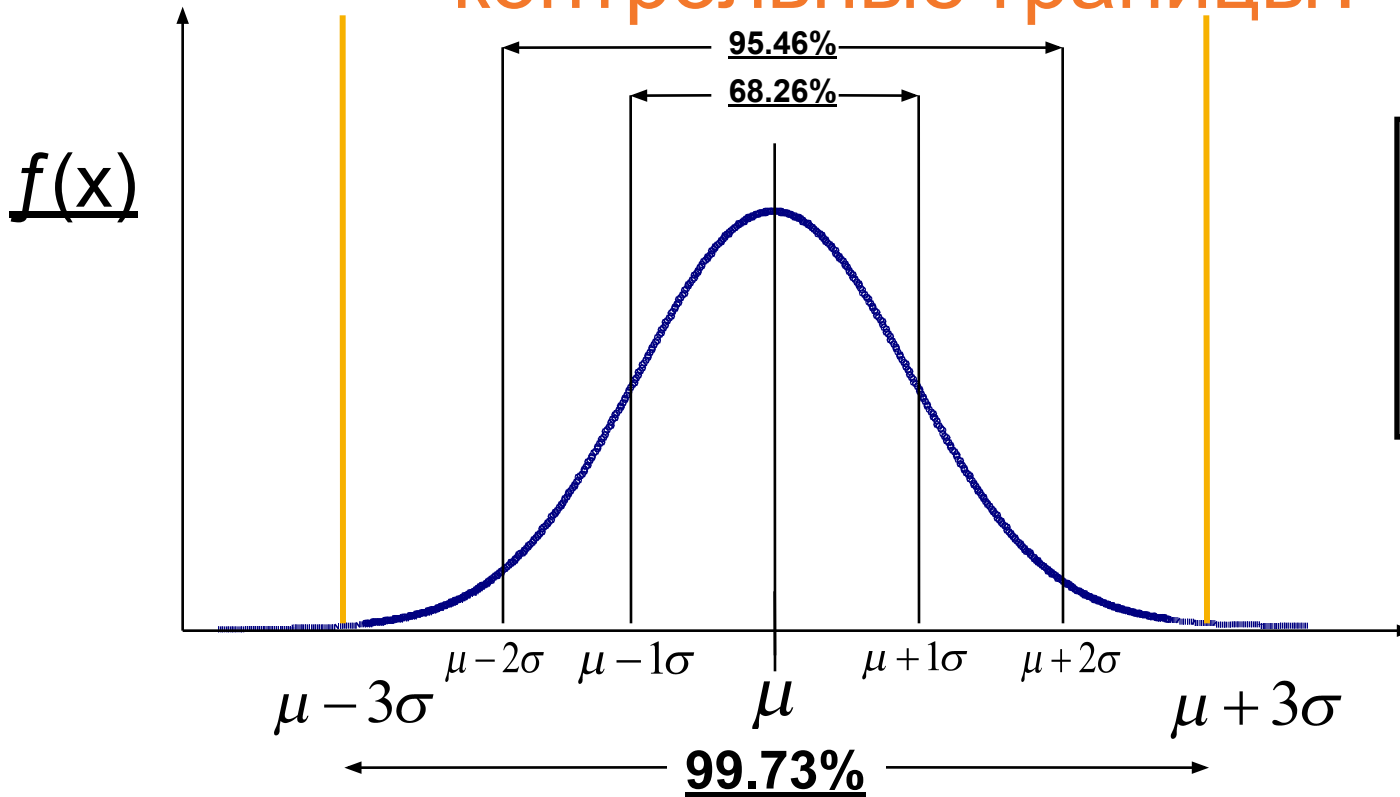


# Общий вид



<u>Наименование</u>	<u>Русско язычное обозначение</u>	<u>Англо язычное обозначение</u>
Верхняя граница допуска	ВГД	USL
Нижняя граница допуска	НГД	LSL
Верхняя контрольная граница	ВКГ	UCL
Нижняя контрольная граница	НКГ	LCL
Центральная линия (середина настройки)	ЦЛ	CL
Середина поля допуска	СД	CSL

# Контрольные карты: Как посчитать контрольные границы?



$$LCL = \mu - 3\sigma$$

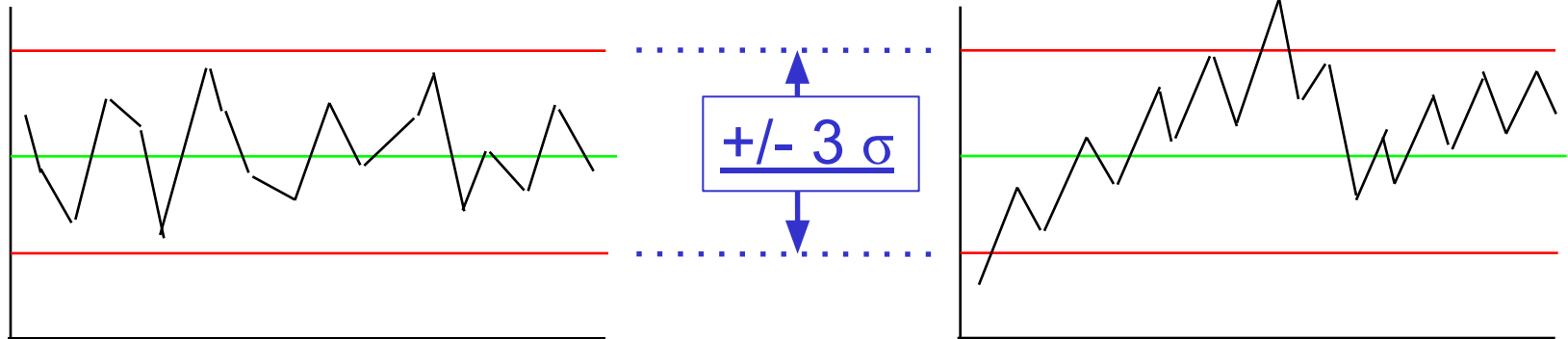
$$UCL = \mu + 3\sigma$$

В нормальном распределении, 99.73% данных попадает в диапазон между +/- 3 стандартных отклонений от середины. Вероятность иметь случай, измеренный за пределами данного диапазона равен или меньше 0.27% (очень редко). Эти 2 предела будут рассматриваться как контрольные границы.

# Обычные и особые причины

Обычная причина вариации

Особая причина вариации



- Неупорядоченный
- Стабильный
- Последовательный

- Отклоняющееся значение
- Тренды
- Структура

# Контрольные карты: Как они работают?



# Контрольные карты: зачем ?

1. Удержание процесса под контролем
2. Выявление и идентификация особых причин
3. Улучшения процесса визуализации

Назначение контрольных карт – выявление и анализ признаков нестабильного поведения

# Контрольные карты: Когда использовать?

Что такое стратификация?

Существуют различные методы расслаивания, применение которых зависит от конкретных задач. Например, данные, относящиеся к изделию, производимому в цехе на рабочем месте, могут в какой-то мере различаться в зависимости от исполнителя, используемого оборудования, методов проведения рабочих операций, температурных условий и т.д.

Все эти отличия могут быть факторами расслаивания. В производственных процессах часто используется метод 5М, учитывающий факторы, зависящие от человека (man), машины (machine), материала (material), метода (method), измерения (measurement).

# Контрольные карты: Когда использовать?

По каким критериям можно выполнять расслаивание?

Расслаивание может осуществляться по следующим критериям:

расслаивание по исполнителям — по квалификации, полу, расслаивание по машинам и оборудованию — по новому и старому оборудованию, марке, конструкции, выпускающей фирме и т.д.

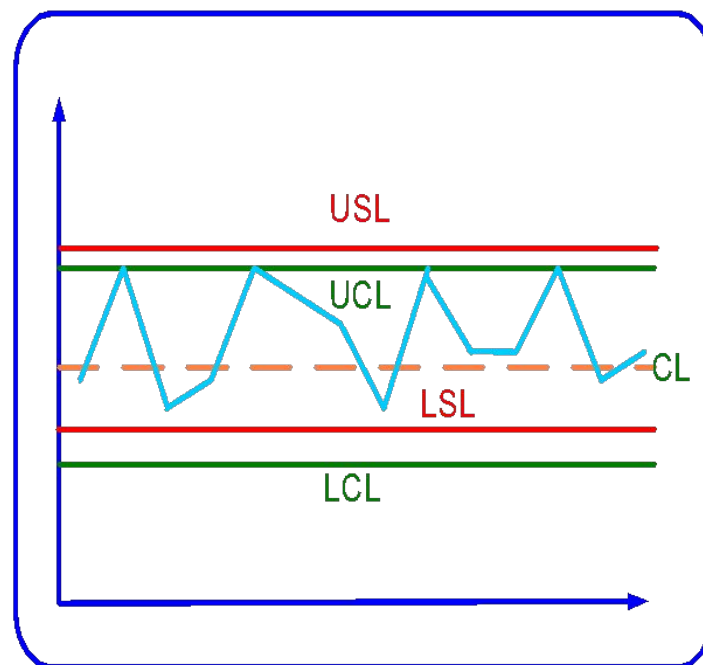
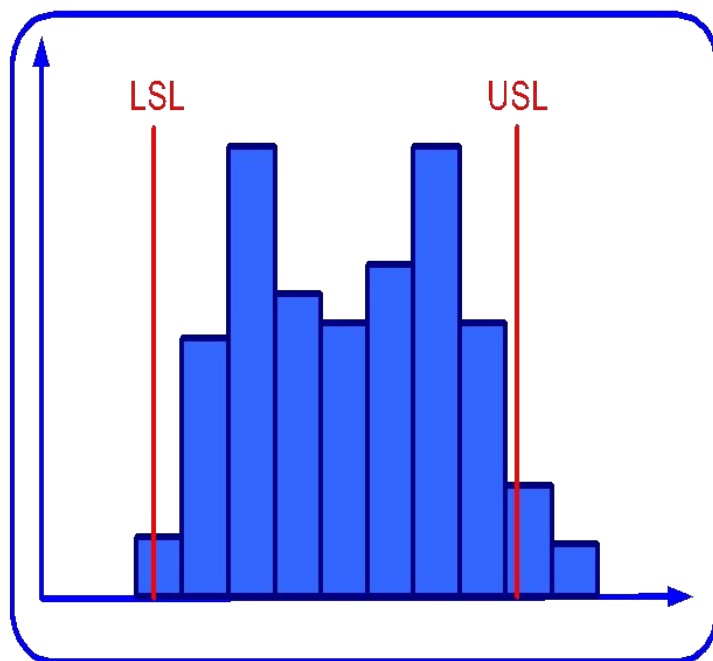
расслаивание по материалу — по месту производства, фирме-производителю, партии, качеству сырья и т.д.

расслаивание по способу производства — по температуре, технологическому приему, месту производства и т.д.

Однако пользоваться этим методом не так просто. Иногда расслаивание по, казалось бы, очевидному параметру не дает ожидаемого результата. В этом случае нужно продолжить анализ данных по другим возможным параметрам в поисках решения возникшей проблемы.

# Контрольные карты: Когда использовать?

В качестве примера можно привести ситуацию: при построении гистограммы и контрольной карты на основании замеров одной из деталей привода передних колес получилась следующая картина:



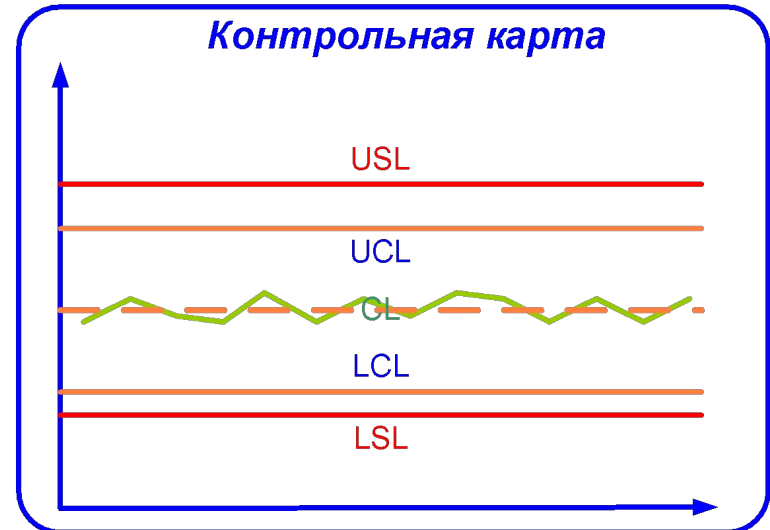
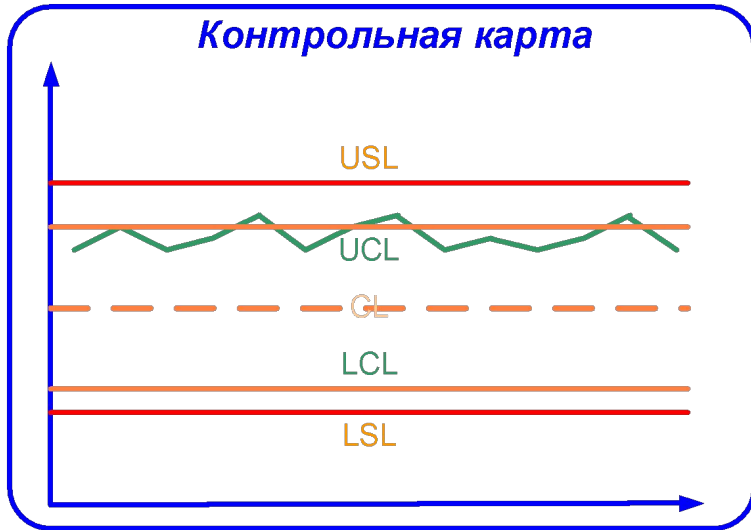
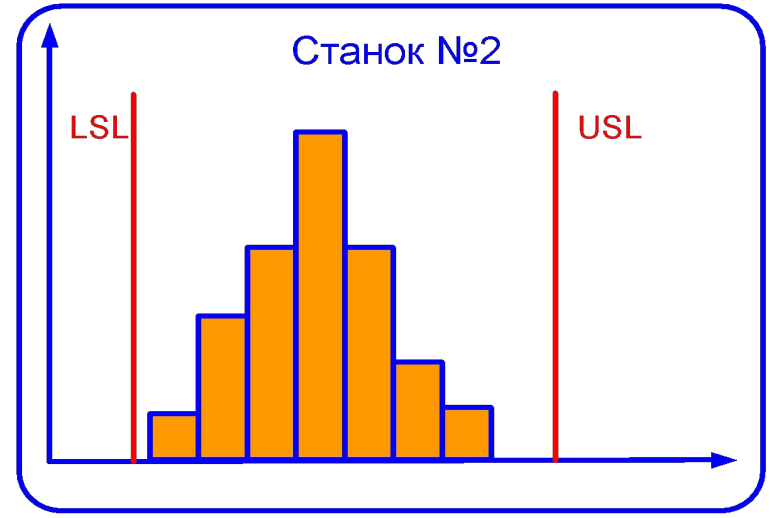
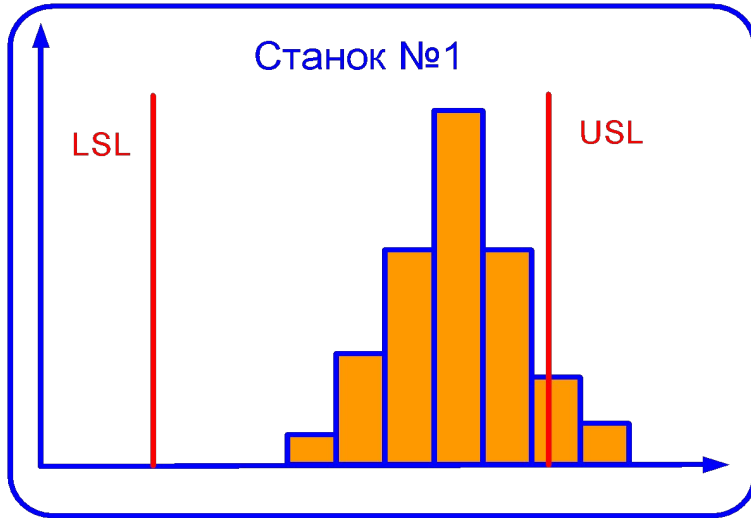


# Контрольные карты: Когда использовать?

На первый взгляд, процесс явно имеет признаки нестабильности – множество точек за контрольными границами, однако гистограмма указывает на наличие нескольких распределений с различными средними значениями настройки.

В результате анализа было выявлено, что детали, замеры которых производили, были получены с двух разных станков. Особенности технологического процесса (наличие идентификационной фаски на деталях, полученных со станка №1), позволило провести расслоение данных по фактору «станок».

# Контрольные карты: Когда использовать?



# Контрольные карты: Когда использовать?

Как видно из результатов анализа, на первый взгляд нестабильный процесс - это два стабильных процесса, «наложенных» друг на друга. Для решения вопроса достаточно было сместить наладку на первом станке.

Таким образом, удалось избежать излишнего вмешательства в процесс, которое могло привести к его разрегулировке, т.е. выходу из управляемого состояния.

Вышеприведенное показывает, насколько противоречивыми могут быть данные.

# Контрольные карты: Когда использовать?

- Перед тем как особая причина вариации может быть уменьшена или устранена, вы должны, во-первых, четко идентифицировать источник и коренную причину вариации
- Внешние влияния, воздействующие на процесс, обычно являются самыми легкими в распознавании и для устранения

Отклоняющиеся значения часто происходят от внешних влияний. Они могут быть легко удалены из набора данных если одновременно выполняются 3 условия:

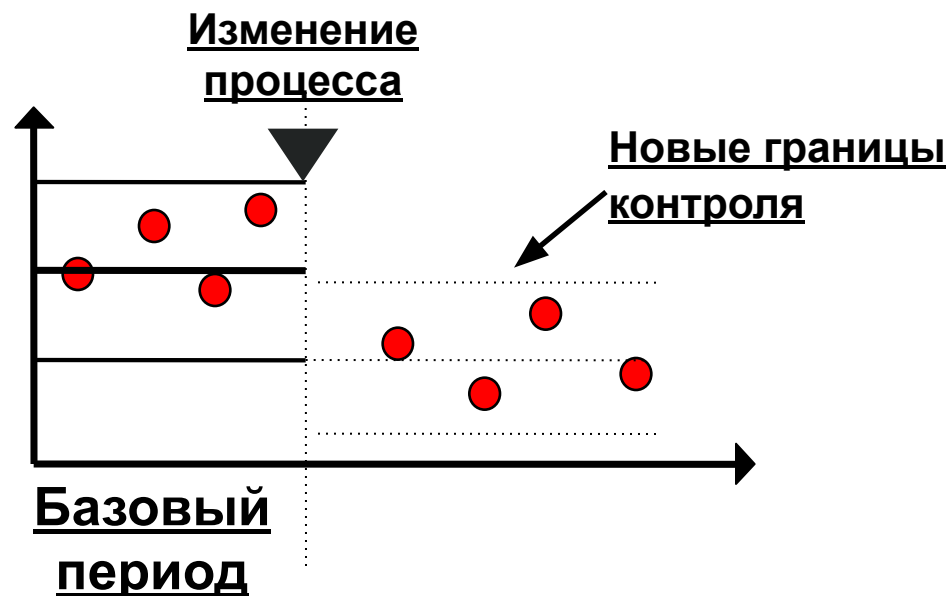
1. причина абсолютно понятна,
2. вероятно не повторится
3. кол-во отклоняющихся значений незначительно.

Если у вас много отклоняющихся значений, ваш процесс может быть «в состоянии хаоса».

Также возможно, что ваша информация не подходит для выбранной диаграммы контроля. Проверьте тип вашей информации перед тем как предпринять следующее действие!

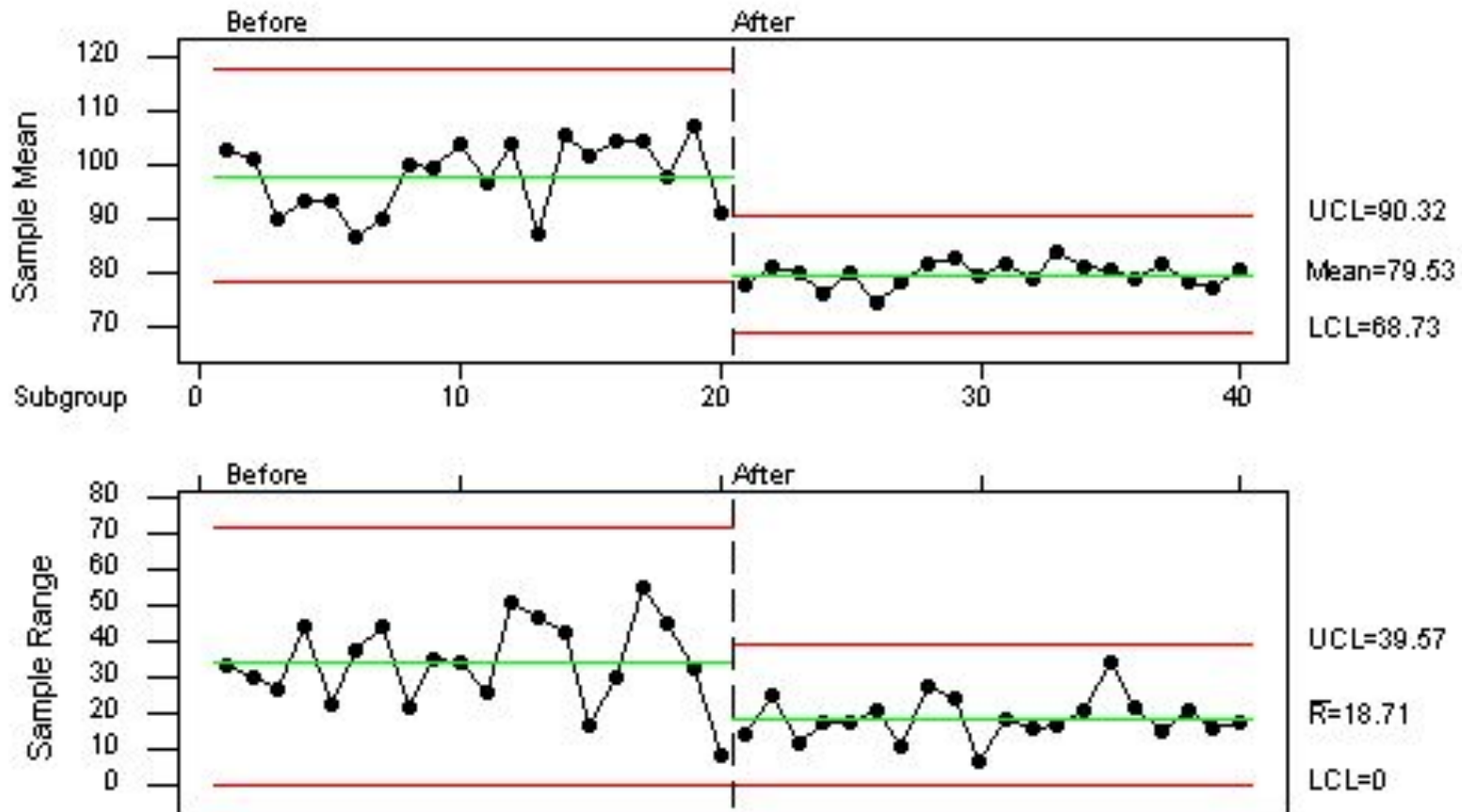
# Контрольные карты: Когда использовать?

- После того как процесс был поставлен на контроль, может возникнуть необходимость уменьшить вариантность или сдвинуть середину с целью улучшения выполнимости процесса
- Контрольные карты могут предоставить визуальное доказательство, что процесс был усовершенствован, показав картинку процесса «до» и «после»



# Контрольные карты: Когда использовать?

## Xbar/R Chart for Data by Subscripts

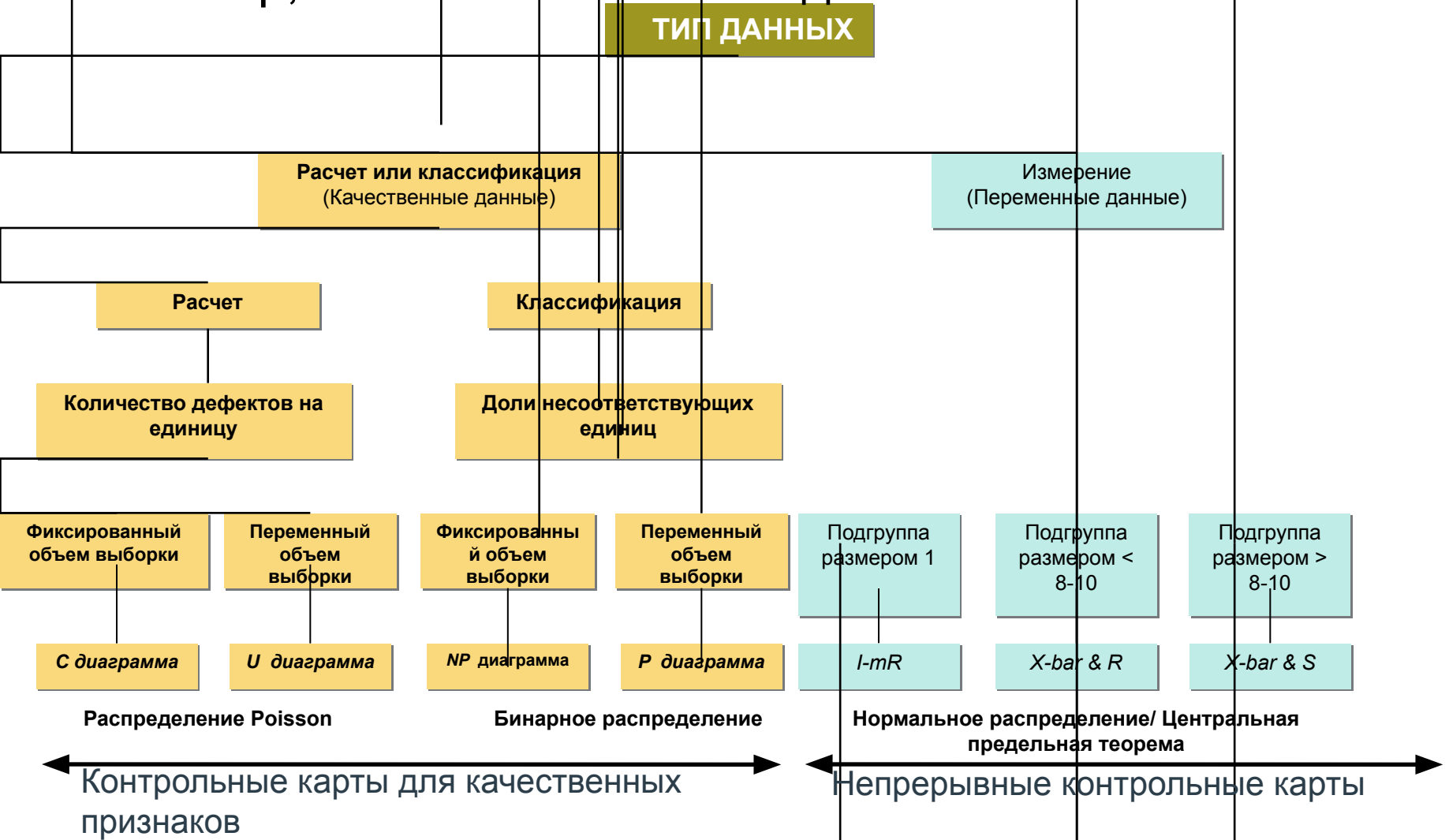


# Контрольные карты: Выбор типа карты.

- Чтобы установить базу измерений, используя контрольную карту, необходимо соблюдать следующие условия:
  - Нормально распределенные данные (если данные непрерывные)
  - Вариация особой причины минимизирована или устранена
  - Процесс стабилен с течением времени
  - Вариации обычной причины отображаются в хаотичном порядке с последовательной вариацией во времени
- Соблюдение данных критериев позволит нам измерить возможности процесса путем сравнения функционирования процесса (“Голос процесса” - VoP) с ожиданиями потребителей (“Голос потребителя” - VoC).

# Контрольные карты: Выбор типа карты.

## 2. Выбор, основанный на типе данных





# Контрольные карты: Выбор типа карты.

## 2.1. Непрерывные контрольные карты

Контрольные карты по количественному признаку (непрерывные) применимы, когда исходные данные представляют собой результаты измерений какой-либо величины, т.е. когда мы можем получить количественное значение параметра процесса.

К контрольным картам по количественному признаку относят:

- Карты, характеризующие настройку процесса (карты среднего арифметического, медиан, индивидуальных значений);
- Карты, характеризующие разброс процесса (карты размахов, среднеквадратичных отклонений и скользящих размахов);
- Карты, характеризующие и настройку, и разброс (совмещенные карты), которые применяются наиболее часто из-за их большей информативности, нежели две предыдущих группы карт.

# Контрольные карты: Выбор типа карты.

## 2.1 Непрерывная контрольная карта

$\bar{X} - R$  - карта - карта средних и размахов, известна также как контрольная карта Шухарта. Представляет собой две контрольных карты, размещенных одна над другой. Сначала строится карта размахов, после анализа на наличие особых причин изменчивости и устранения этих причин строится карта арифметических средних значений по выборкам. Представляет собой оптимальный вариант между простотой построения и информативностью.

$\tilde{X} - R$  - карта - карта медиан и размахов. Строится аналогично карте средних и размахов, с той разницей, что вместо среднего арифметического рассчитывается медиана (среднее по выборке). Главное преимущество – меньшее количество вычислений, соответственно, простота построения.



# Контрольные карты: Выбор типа карты.

## 2.1 Непрерывная контрольная карта

$\bar{X} - S$  – карта - карта средних и стандартных отклонений. Построение карты аналогично двум предыдущим, только вместо размаха используют среднеквадратичное отклонение, более эффективное, особенно при больших объемах выборки. К недостаткам этого вида карт можно отнести большой объем вычислений, меньшую чувствительность при обнаружении особых причин изменчивости в одной точке.

$\bar{X} - MR$  – карта - карта индивидуальных значений и скользящих размахов. Строится в случае, если в выборке 1 изделие (измерить несколько изделий слишком дорого, например, при разрушающем испытании), или когда результат процесса в любой точке времени относительно однороден (например, результат анализа раствора). Особенности этой карты в том, что они менее чувствительны при выявлении изменений процесса. К недостаткам этого вида карт можно отнести отсутствие наглядного представления воспроизводимости от единицы к единице.

# Контрольные карты: Выбор типа карты.

## 2.1 Непрерывные контрольные карты

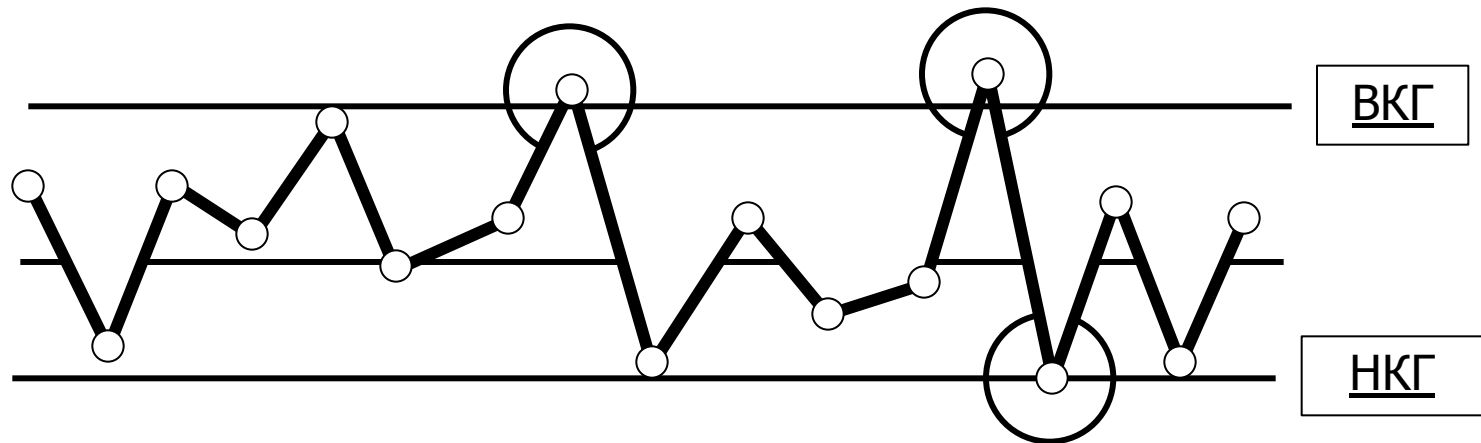
Карта средних и размахов

1. Определить соответствующий размер подгруппы и план выборочного контроля.
2. Сделать выборку: (Взять серию считываний в каждый указанный промежуток времени).
3. Посчитать среднее и размах для каждой подгруппы.
4. После '20' или более подходов измерений определить данные для всей выборки. (Среднее среднего и средний размах).
5. Посчитать контрольные пределы для карты размаха.
6. Если карта размаха не под контролем, предпринять соответствующее действие.
7. Если карта размаха под контролем, посчитать контрольные пределы для  $\bar{X}$  – карты
8. Если  $\bar{X}$  – карты не под контролем, предпринять соответствующее действие.

# Как читать контрольные карты?

Контролируемое состояние объекта – это такое состояние, когда процесс стабилен, а его среднее и разброс не меняются.

## 1. Выход за контрольные границы



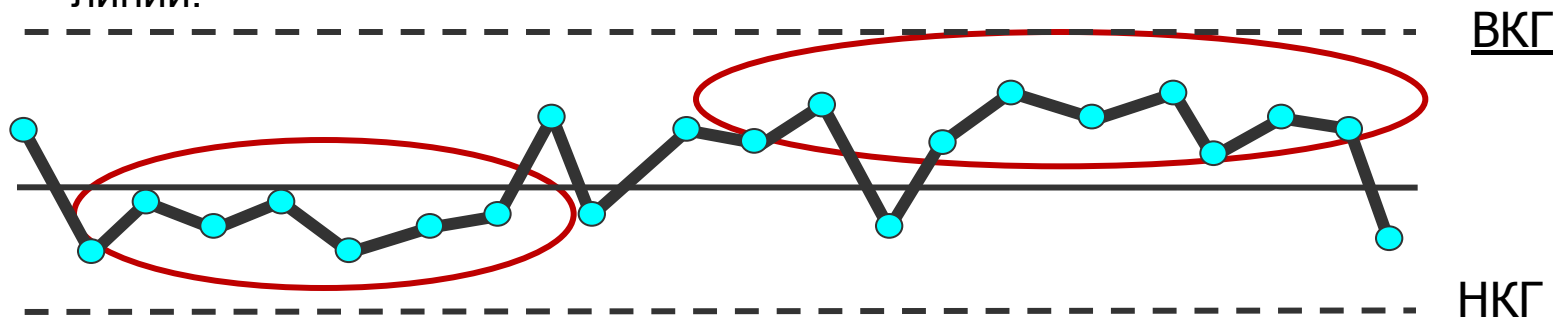
# Как читать контрольные карты?

**2. Серия** – это проявление такого состояния, когда точки неизменно оказываются по одну сторону от средней линии. Число таких точек называется длиной серии.

Серия длиной из 7 точек рассматривается как ненормальная.

Даже если длина серии оказывается менее 6, в ряде случаев ситуацию следует рассматривать как ненормальную, например, когда:

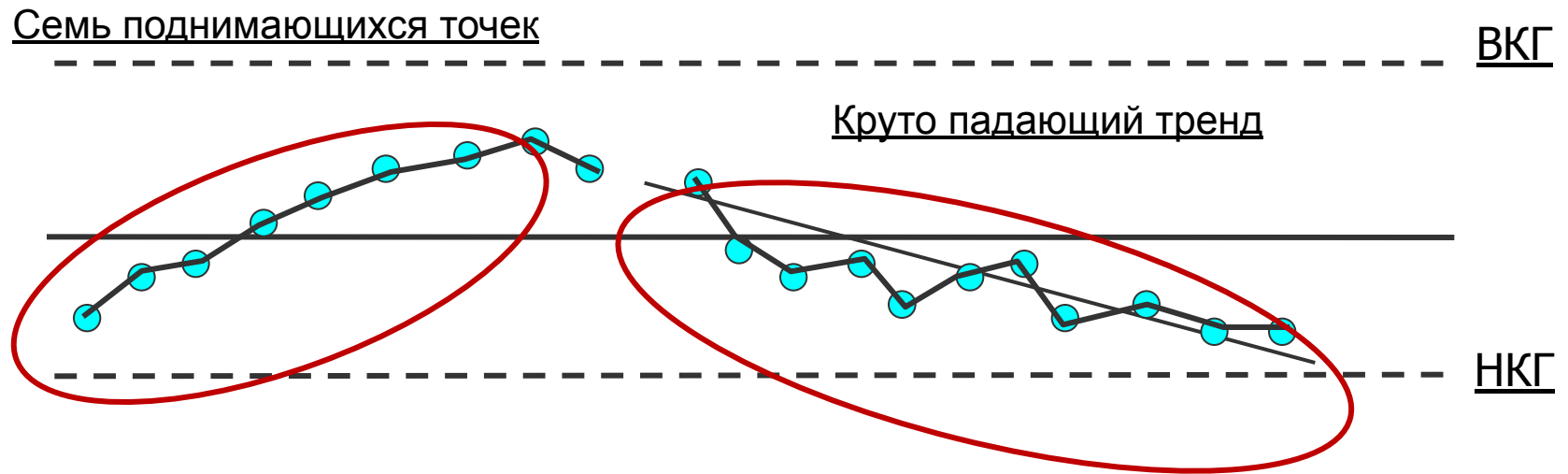
- а) не менее 10 из 11 точек оказываются по одну сторону от центральной линии;
- б) не менее 12 из 14 точек оказываются по одну сторону от центральной линии;
- в) не менее 16 из 20 точек оказываются по одну сторону от центральной линии.



# Как читать контрольные карты?

## 3. Тренд (дрейф).

Если точки образуют непрерывно повышающуюся или понижающуюся кривую, говорят, что имеет тренд.

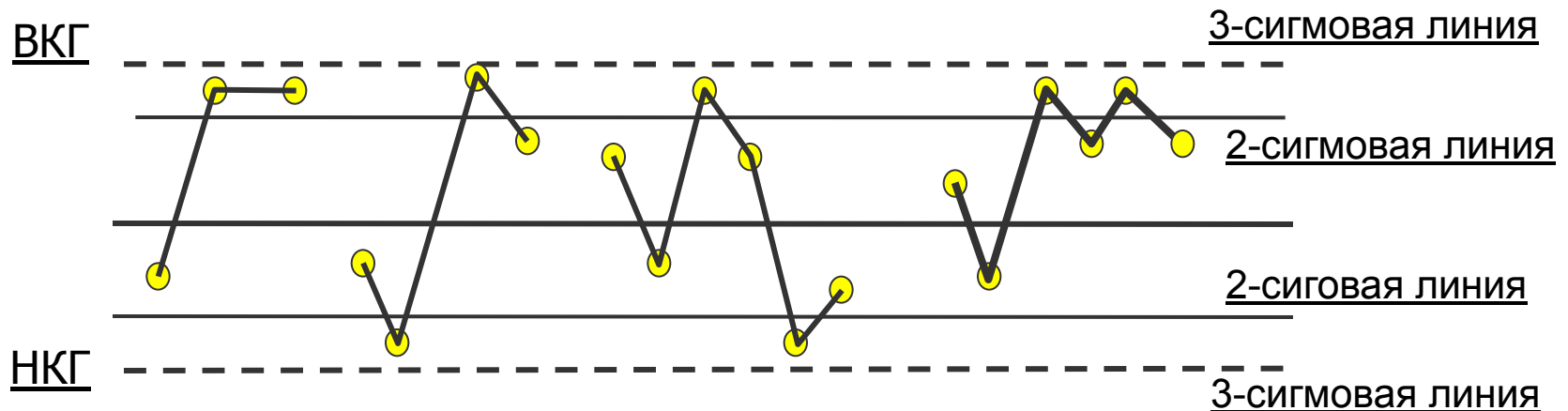




# Как читать контрольные карты?

## 4. Приближение к контрольным границам

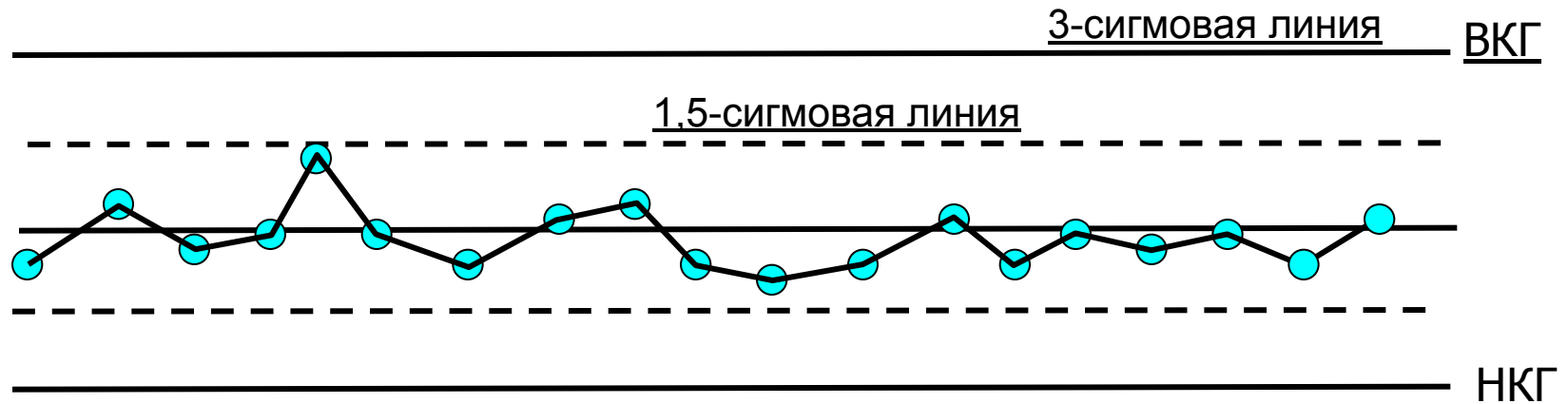
Рассматриваются точки, которые приближаются к 3-сигмовым контрольным пределам, причем если 2 или 3 точки оказываются за 2-сигмовыми линиями, то такой случай надо рассматривать как ненормальный.



# Как читать контрольные карты?

## 5. Приближение к центральной линии.

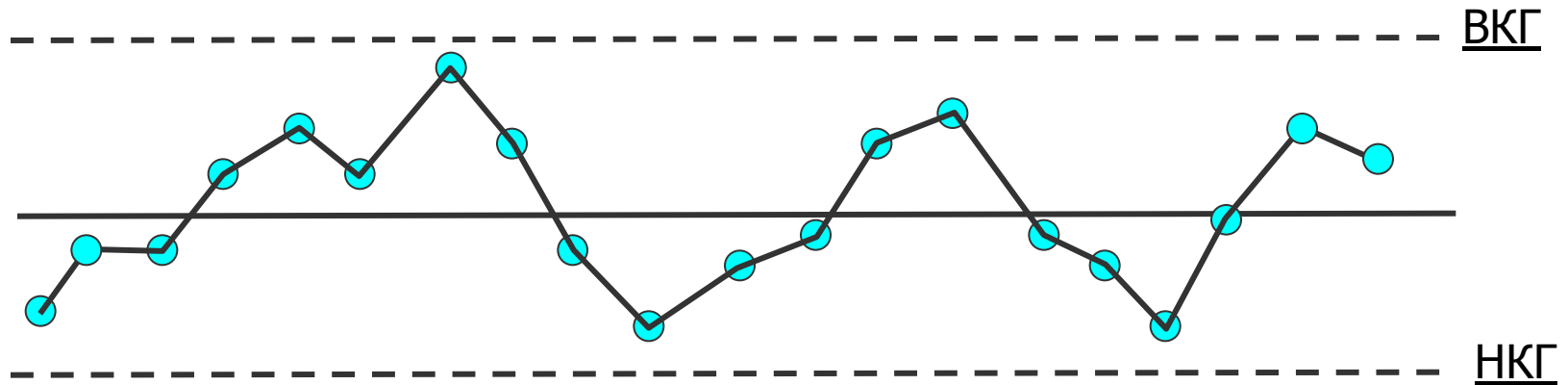
Когда большинство точек концентрируется внутри центральных полуторасигмовых линий, делящих пополам расстояние между центральной линией и каждой из контрольных границ, это обусловлено неподходящим способом разбиения на подгруппы.



# Как читать контрольные карты?

## 6. Периодичность.

Когда кривая повторяет структуру «то подъем, то спад» с примерно одинаковыми интервалами времени, это тоже не нормально.



# Понимание вариации

- **Определенная вариация всегда присутствует во всех процессах:**
  - природа – форма/размер листьев, снежинок и т.д.
  - человек – почерк, тембр голоса, скорость ходьбы и т.д.
  - механизмы – вес/размер/форма продукта и т.д.
- **Мы можем мириться с такой вариацией, если:**
  - процесс действенен
  - вариация небольшая по сравнению с требованиями процесса
  - процесс стабилен в течение длительного времени
- **Мы должны осознавать, что необходимо минимизировать или, если это возможно, исключить источники вариации (особенно особые причины вариаций).**

# Причины вариаций

**Обычные**

**Особые**

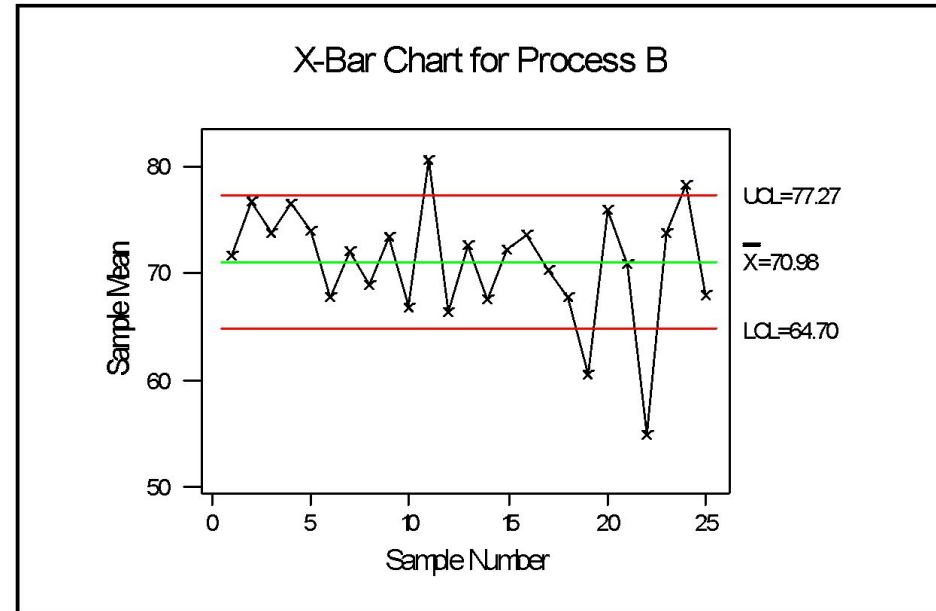
Характеризуют вариации  
стабильного процесса  
Влияют на процесс постоянно и  
неизменно  
Составляют 85-96% всех причин,  
влияющих на процес

Характеризуют нарушение  
стабильности процесса  
Влияние на процесс  
непрогнозируемое и нерегулярное  
Составляют 4-15% от всех причин,  
влияющих на процесс

# Особые причины вариаций

## ■ Примеры особых причин вариаций:

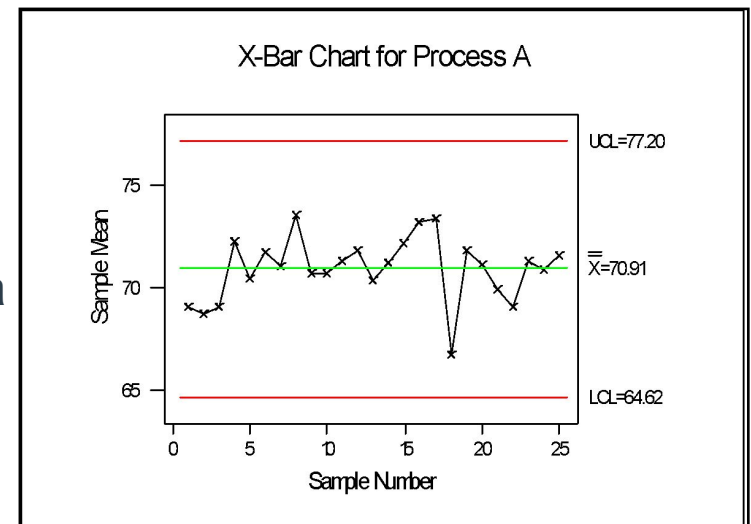
- Рабочие находятся в отпуске
- Ошибки рабочих
- Проблемы с компьютером
- Проблемы с телефонной сетью
- Непредвиденное происшествие или обстоятельства
- Изменение процедуры



# Обычные причины вариаций

## Примеры обычных причин вариаций:

- Индивидуальный опыт рабочих
- Отсутствие рабочих по болезни
- Колебания скорости интернет-сервера
- Повседневные проблемы



# Следует ли нам обращать внимание на обычные причины вариаций?

*“На 98% неспособность выполнить ожидания клиентов связана с недостатками системы и процесса ...а не с исполнителями.*

*Роль менеджмента - не заставлять индивидуумов быть лучше, а **(фундаментально) изменить процесс.**”*

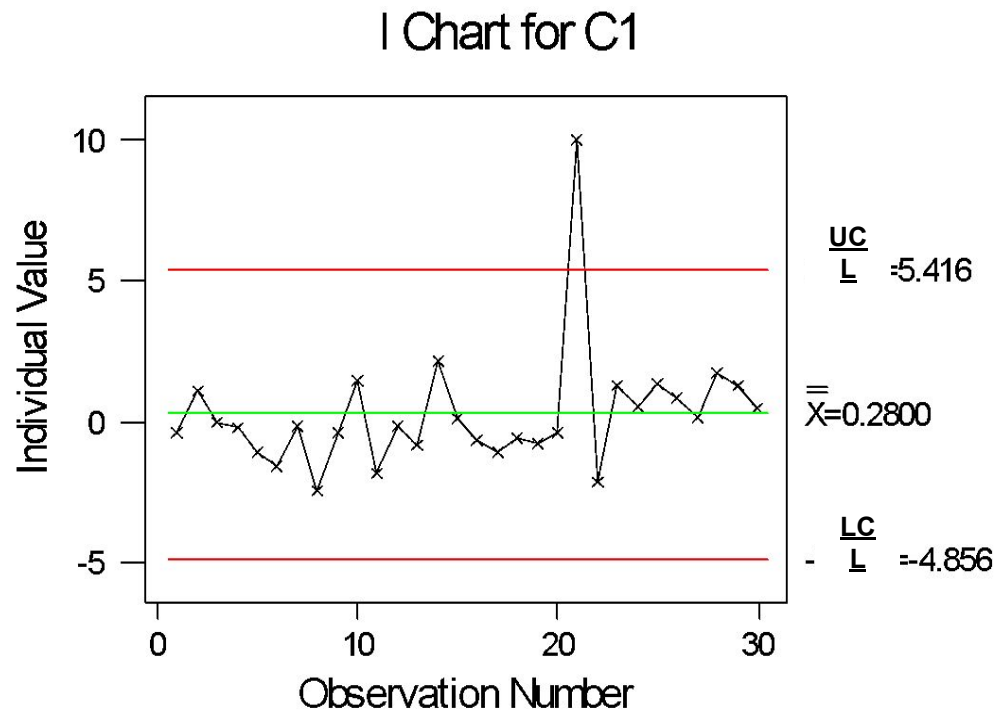
*– В. Эдвардс Деминг*



# Быстрое упражнение

Под контролем или нет? \_\_\_\_\_

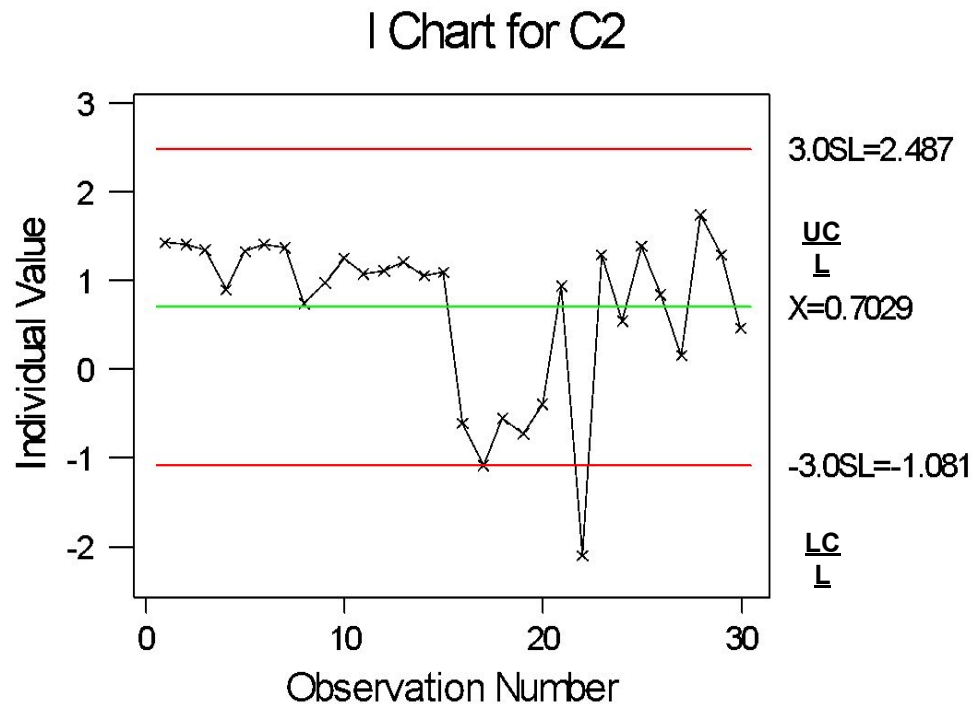
Если не под контролем, какое правило(а) было нарушено ?



# Быстрое упражнение

Под контролем или нет? \_\_\_\_\_

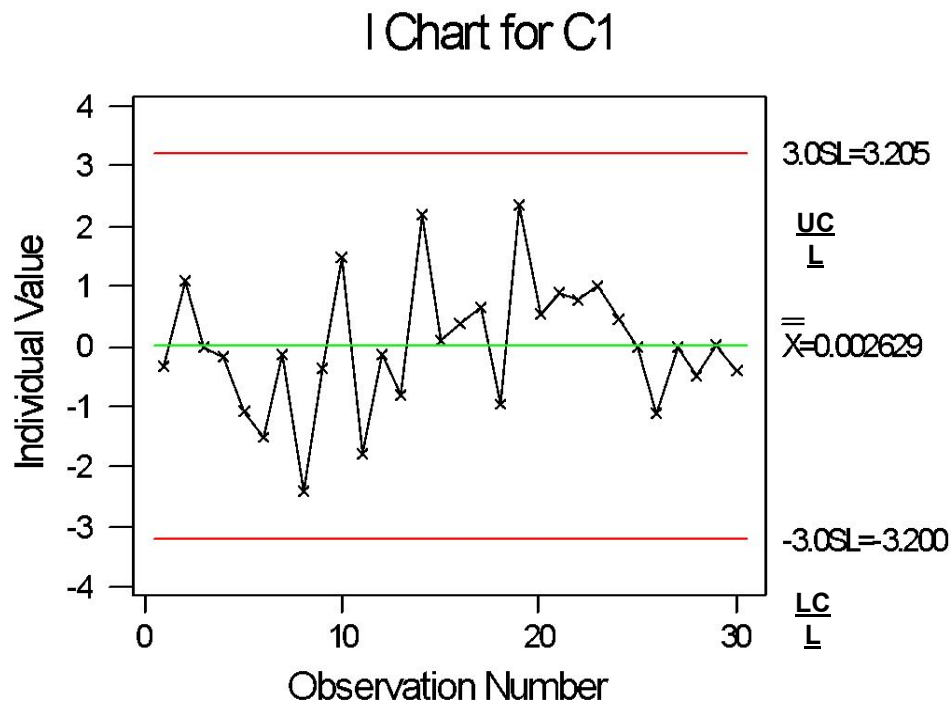
Если не под контролем, какое правило(а) было нарушено ?



# Быстрое упражнение

Под контролем или бесконтрольный? \_\_\_\_\_

Если бесконтрольный, какое правило(а) было нарушено?



# Контрольные карты: Выбор типа карты.

## 2.2 Контрольные карты для качественных признаков

- Контрольные карты для качественных признаков похожи на контрольные карты для количественных признаков, за исключением того, что они размещают пропорцию или подсчет данных, а не переменные измерения.
- Контрольные карты для качественных признаков имеют только одну диаграмму, которая отслеживает пропорцию или подсчитывает стабильность во времени
- Типы диаграмм
  - Бинарный: диаграмма P, диаграмма NP
  - Poisson: диаграмма C, диаграмма U

# Контрольные карты: Выбор типа карты.

## 2.2 Контрольные карты для качественных признаков

**np - карта** - контрольная карта числа несоответствующих изделий (единиц, деталей) – представляет собой физическое количество несоответствующих элементов выборки. Для построения данной карты необходимо, чтобы величина выборки была постоянной.

**p - карта** - контрольная карта доли несоответствующих единиц – карта, отражающая долю несоответствующих изделий в выборке. Объем выборки в этом случае может быть переменным. Показатель, наносимый на карту, представляет собой отношение несоответствующих изделий к объему выборки.

# Контрольные карты: Выбор типа карты.

## 2.2 Контрольные карты для качественных признаков

- c - карта** - контрольная карта числа несоответствий – карта, отражающая число дефектов, а не дефектных изделий. Построение этой карты оправдано в случае, если на изделиях может быть больше одного несоответствия, и это необходимо иметь в виду при анализе. Для данной карты также, как и для *np* – карты, необходим постоянный объем выборки.
- u - карта** - контрольная карта доли несоответствующих единиц (или числа несоответствий на единицу продукции) – карта, аналогично *c* – карте показывающая не изделия (единицы) а дефекты (несоответствия). Объем выборки может быть непостоянным.

# Обзор обучения

- Контрольные карты – это важный первый инструмент, для того чтобы помочь нам понять базу измерений процесса
- Контрольные карты помогают нам определить степень обычных и особых причин вариаций, присутствующих в процессе
- Карты X-MR и  $\bar{X}$ -R используются с непрерывной информацией; диаграммы P и NP бинарной информации качественных признаков; диаграммы C и U для отдельных качественных данных
- Правильное использование контрольной карты непрерывных данных требует, чтобы данные были правильно распределены.
- Диаграммы контроля могут быть полезным инструментом на стадиях “Измерения”, “Анализа”, “Усовершенствования” и “Контроля” .



# Анализ измерительных систем





# ТЕРМИНОЛОГИЯ: Калибры

## Что такое калибр?

- Любой прибор, используемый для получения измерений, часто используется в отношении приборов, используемых в цехе (включая проходные/не проходные калибры).

## Примеры используемых калибров



Штангенциркуль



Микрометр



Калибр-пробка



Циферблатный индикатор



Координатно-измерительная машина

# ТЕРМИНОЛОГИЯ: Калибровка

## Что такое калибровка?

- Последовательность операций, которая устанавливает в рамках указанных условий работы **отношение между измерительным прибором и прослеживаемым стандартом с известной ссылкой и неточностью.**

## Взаимосвязь калибровок

- Стандарты, используемые для калибровки, могут прослеживаться в единых источниках.
  - Национальный стандарт
  - Калибровочный эталон
  - Рабочий эталон
  - Измерительный прибор



# ТЕРМИНОЛОГИЯ: Система измерений

- Нет двух одинаковых вещей, но даже если бы они были одинаковыми с точки зрения появления, когда мы их измеряем, записанные значения заставят их выглядеть различно.
- Это из-за вариаций в системе измерений.

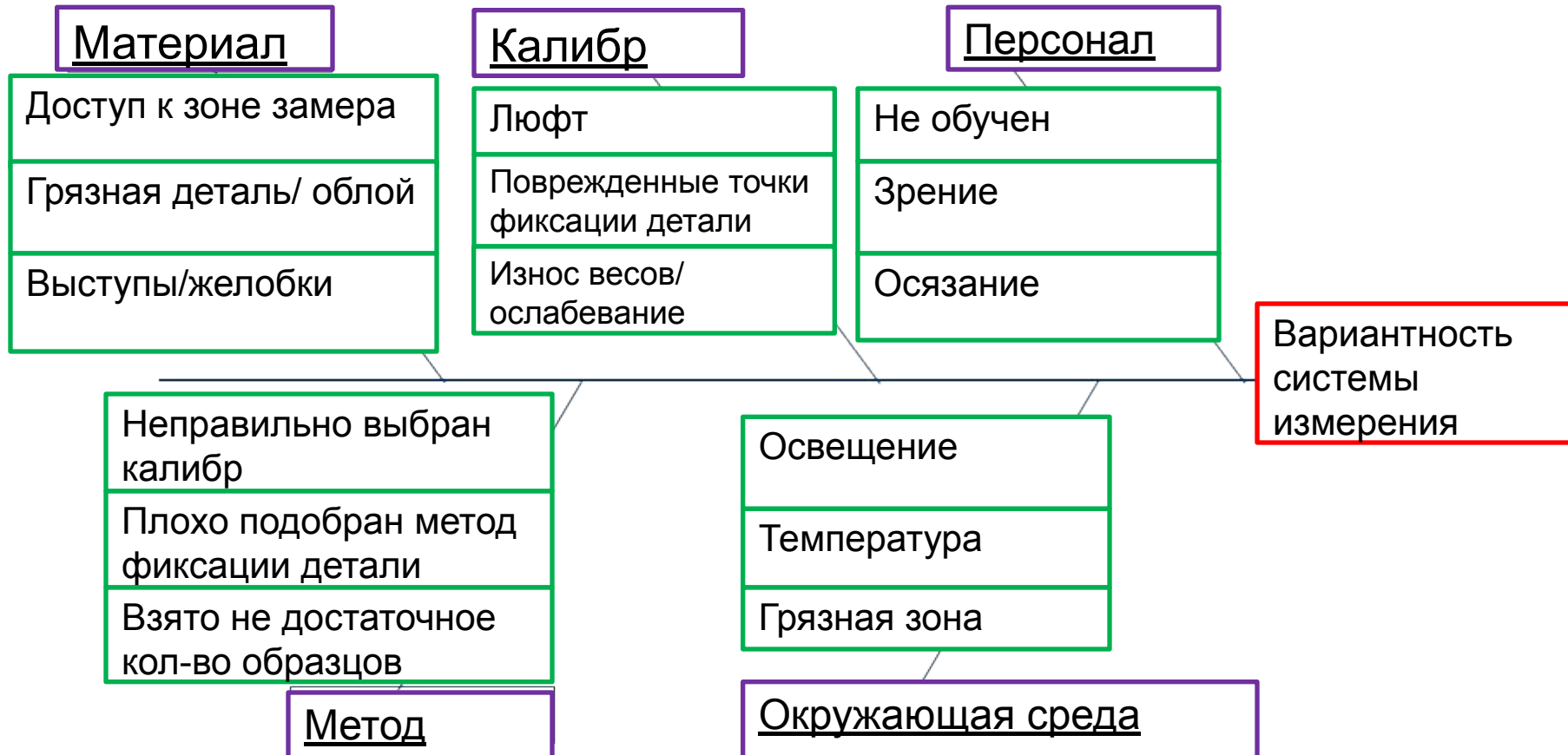
## Система измерений

- Набор операций, процедур, калибров и другого оборудования, программ и персонала, используемых для привязки номера к измеряемой характеристике.
- Завершенный процесс, используемый для выполнения измерений.  
(человек, машина, материал, метод, окружающая среда)

# ЗАДАЧИ АНАЛИЗА СИСТЕМЫ ИЗМЕРЕНИЙ

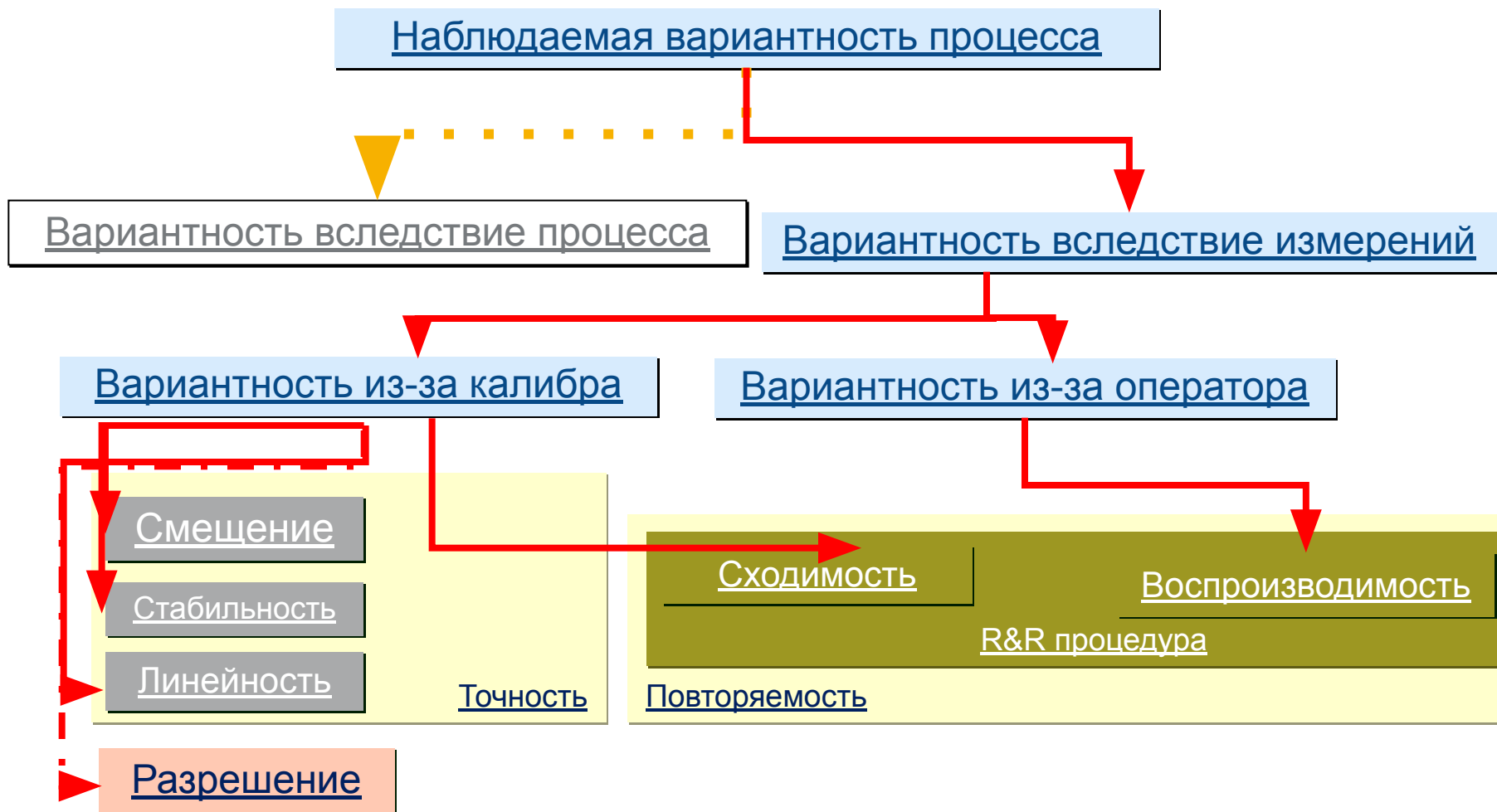
- Понять источники вариаций внутри измерений
- Лучше понять источники вариаций, которые могут повлиять на результаты, произведенные системой
- Количественная оценка системы измерения и сообщение об ограничениях конкретных измерительных систем

# ВАРИАЦИИ СИСТЕМЫ ИЗМЕРЕНИЙ



# ИСТОЧНИКИ ВАРИАЦИЙ

- Цель MSA – избавиться от всех влияний процесса измерений



# РАЗРЕШАЮЩАЯ СПОСОБНОСТЬ

- Технологическая способность измерительной системы адекватно различать между значениями измеряемого параметра.
- Как правило, разрешающая способность (или разрешение) измерительной системы должна быть как минимум одна десятая от измеряемого диапазона.



0.28



0.28



0.28



0.28



0.279



0.282



0.282



0.279



0.2794



0.2822



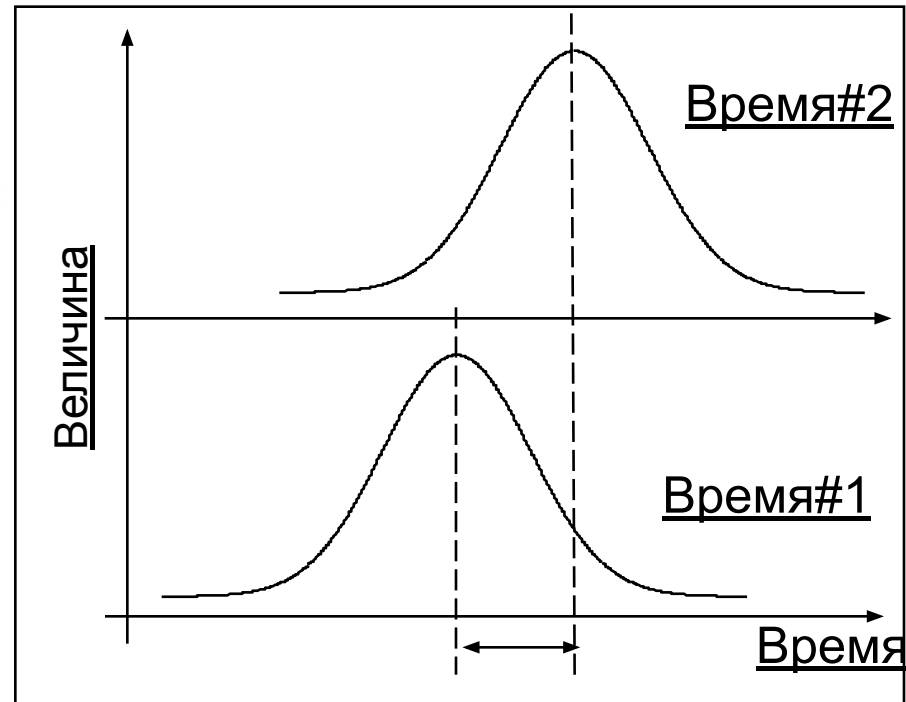
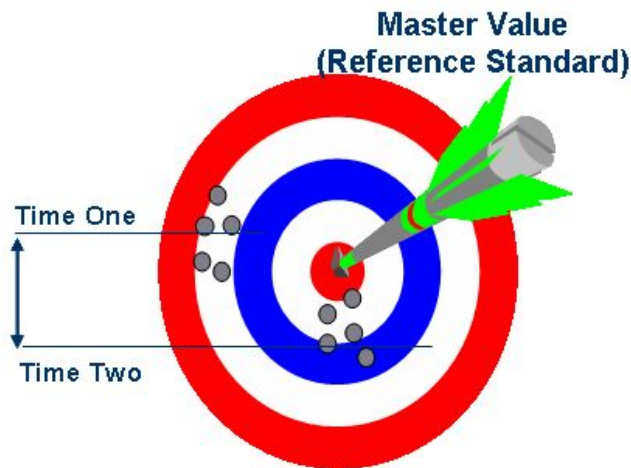
0.2819



0.2791

# СТАБИЛЬНОСТЬ

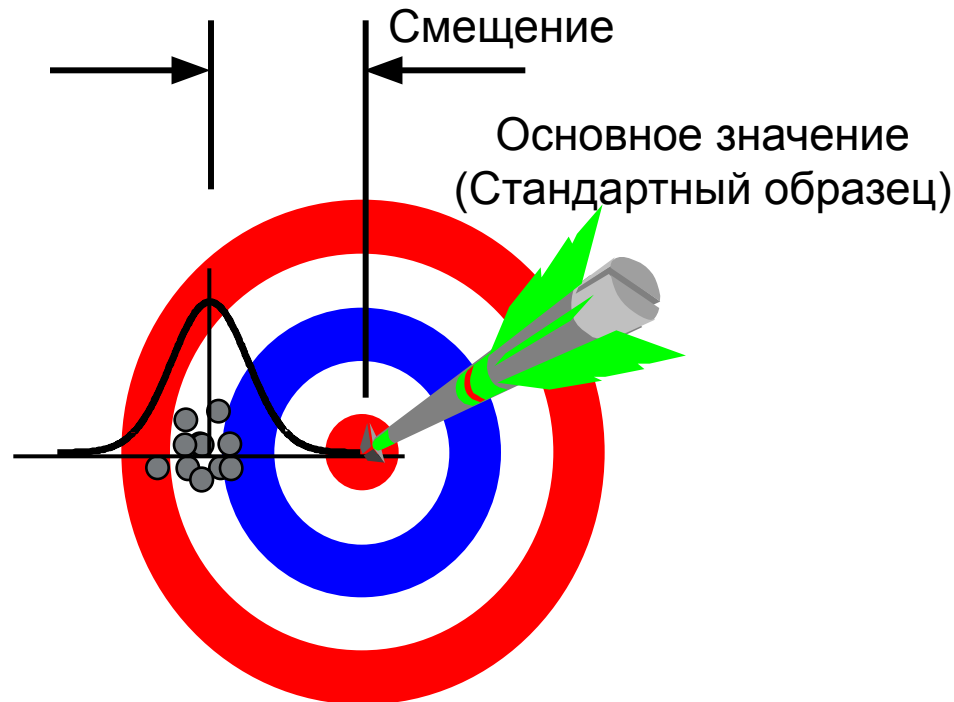
- Общая вариация измерений с одинаковым мастером/или деталью с единой характеристикой в течение продолжительного протяжения времени.
- Свойство, находящееся под статическим контролем (в течение «длительного» периода времени) должно контролироваться как среднее значение (при сравнении со стандартом) и диапазон также должен контролироваться.





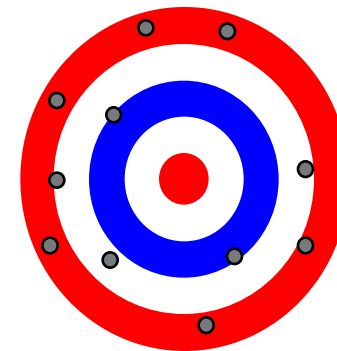
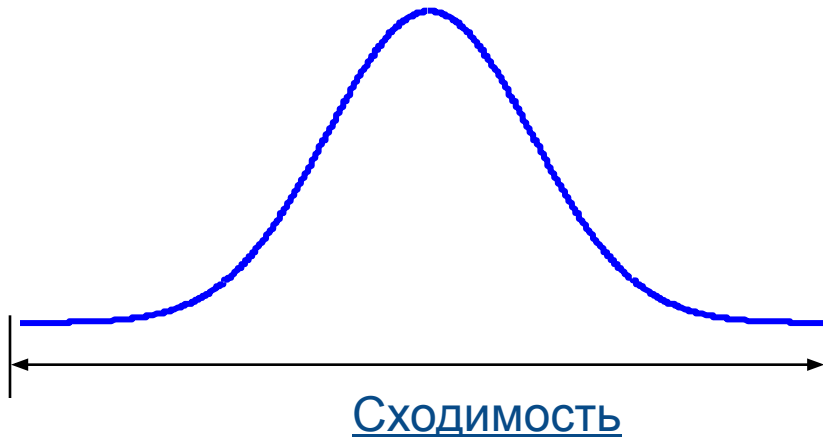
# СМЕЩЕНИЕ

- Смещение инструмента – это разница между наблюдаемым средним значением измерений и основным значением. Основное значение – это принятый, прослеживаемый контрольный образец.



# СХОДИМОСТЬ

- Вариация между последовательным измерением той же детали, той же характеристики, выполненным тем же человеком при использовании того же инструмента.
  - Известная как повторяемость, испытание – отклонение на повторном испытании, используется для оценки краткосрочной вариации.
  - Часто относится к дисперсии средств измерения (EV).



Из-за вариаций в измерительном устройстве

# СХОДИМОСТЬ

- **Какие действия могут уменьшить ошибки измерения?**
  - Стандартные Процедуры Измерений
    - Существуют ли они?                      Понятны ли они?
    - Выполняются ли они?                      Актуальны ли они?
    - Обучен ли оператор?
  
  - Факторы шума
    - Каковы они?
    - Их невозможно или непрактично контролировать?
    - Насколько устойчива система к шуму?
  
  - Контролируемые факторы
    - Как они контролируются?      Как часто они уточняются?
    - Известны ли оптимальные целевые значения?
    - Сколько имеется вариаций вокруг целевых значений?
    - Насколько последовательны они?

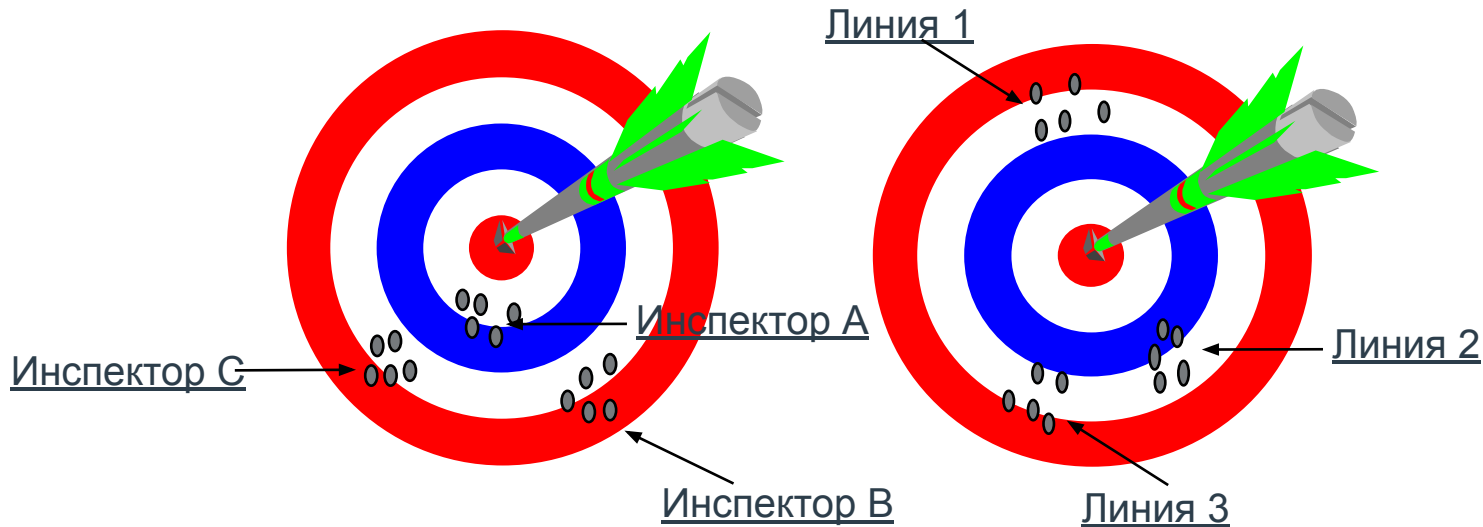
# ВОСПРОИЗВОДИМОСТЬ

## ■ Разница в среднем измерений

- Выполняется различными людьми, машинами, и т.д.
- При использовании тех же или отличных инструментов при измерении идентичных характеристик

## ■ Среднее измерений отличается на фиксированное количество

- Смещение оператора - различные операторы влияют на среднее
- Смещение машины - различные машины влияют на среднее
- Прочее - изо дня в день, приборы, поставщики и потребители (заводы).



# КОГДА ПРОВОДИТЬ ИЗУЧЕНИЕ СИСТЕМЫ ИЗМЕРЕНИЯ?

- **Анализ системы измерения может потребоваться когда**
  - У нас новый процесс производства
  - У нас есть новая система для производства
  - Нам известны опасения потребителя
  - У нас внутренние потери качества на процессе приемочного контроля
  
- **Данное изучение имеет целью различить возникла ли вариация из-за системы измерений или по причине действительной вариации детали.**