

Промышленная безопасность в нефтегазовой отрасли

Автоматизация и метрологическое обеспечение процессов
нефтепереработки и нефтехимии производства

Часть 1 Инструменты и методы анализа процессов

Бухтояров Владимир Викторович
Доцент кафедры технологических машин и оборудования нефтегазового комплекса, Институт нефти и
газа

Комсомольск-на-Амуре
2018

План курса

- Семь статистических методов анализа процессов
- Деревья отказов
- Деревья событий
- Метод анализа типов отказов и последствий (FMEA)

Семь простых статистических методов анализа технологических процессов

1 Причинно-следственная диаграмма Исикавы

Дает наглядное представление о:

- факторах, которые влияют на изучаемый процесс/объект
- о причинно-следственных связях этих факторов.

В основе построения диаграммы лежит определение (постановка) задачи, которую необходимо решать.

Общий вид диаграммы Исикавы

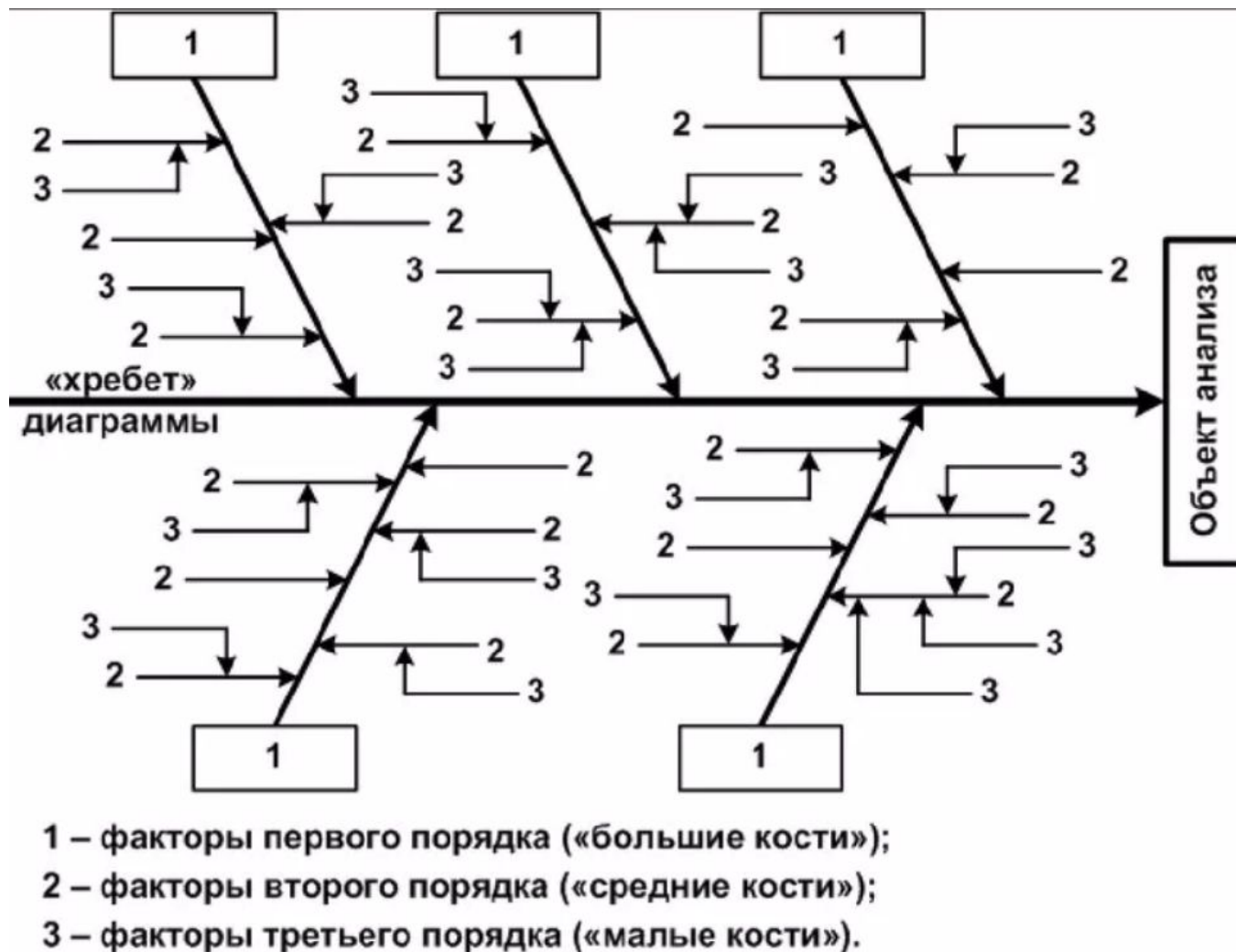
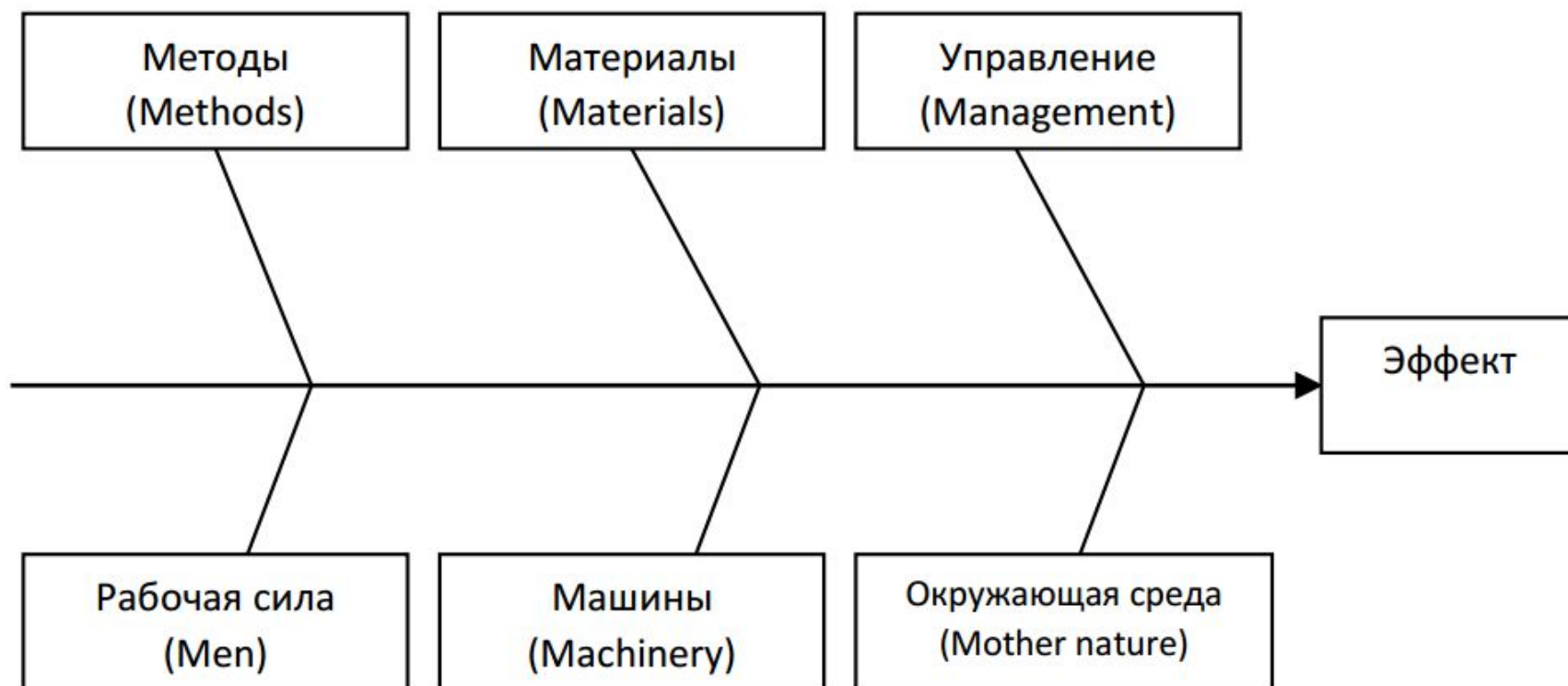


Диаграмма Исикавы (вариант)



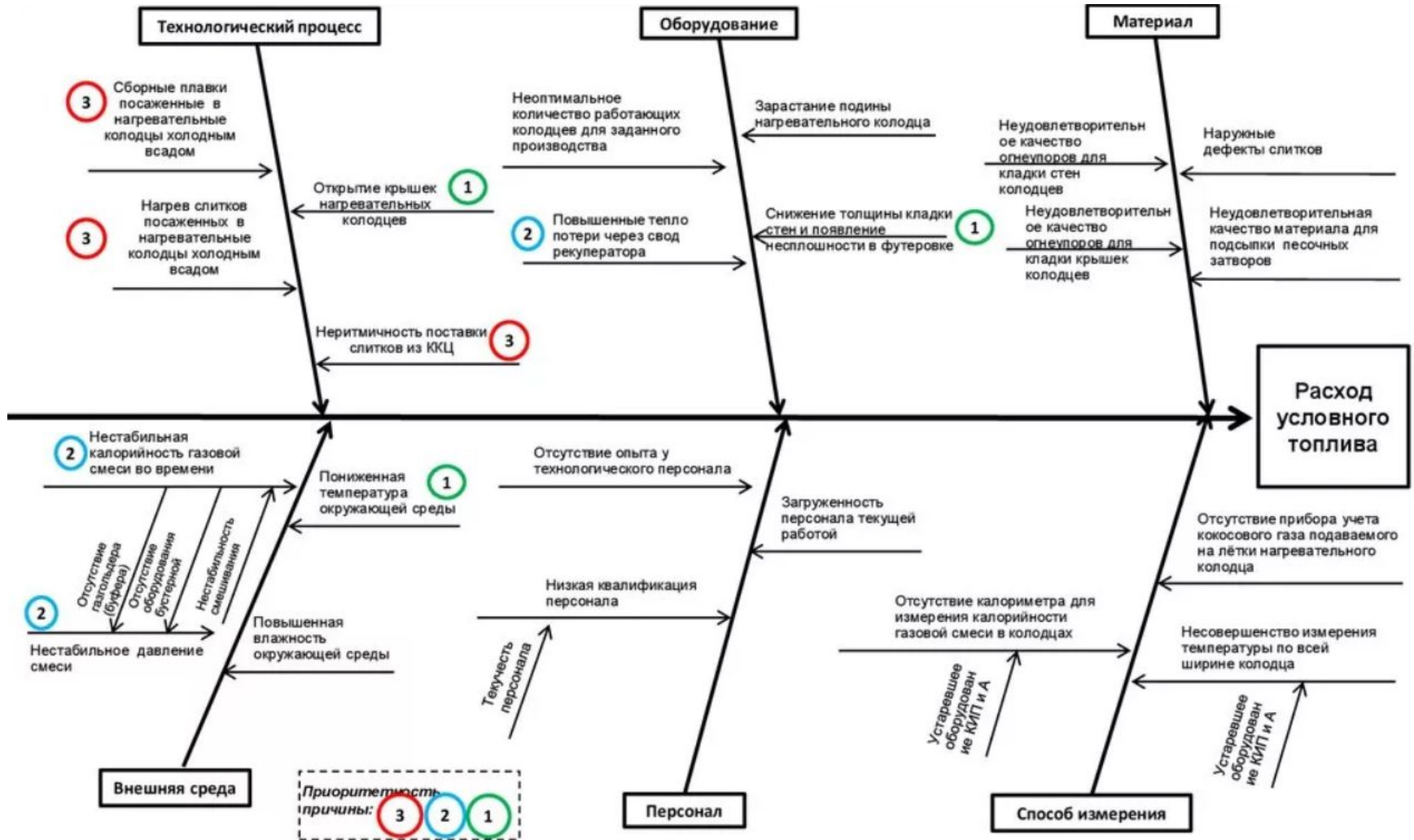
Классический метод Исикавы

- Все возможные причины классифицируются по принципу <5М>:
- **Man** (Человек) - причины, связанные с человеческим фактором
- **Machines** (Машины, оборудование) - причины, связанные с оборудованием
- **Materials** (Материалы) - причины, связанные с материалами
- **Methods** (Методы, **Технология**) - причины, связанные с технологией работы, с организацией процессов
- **Measurements** (Измерения) - причины, связанные с методами измерения.

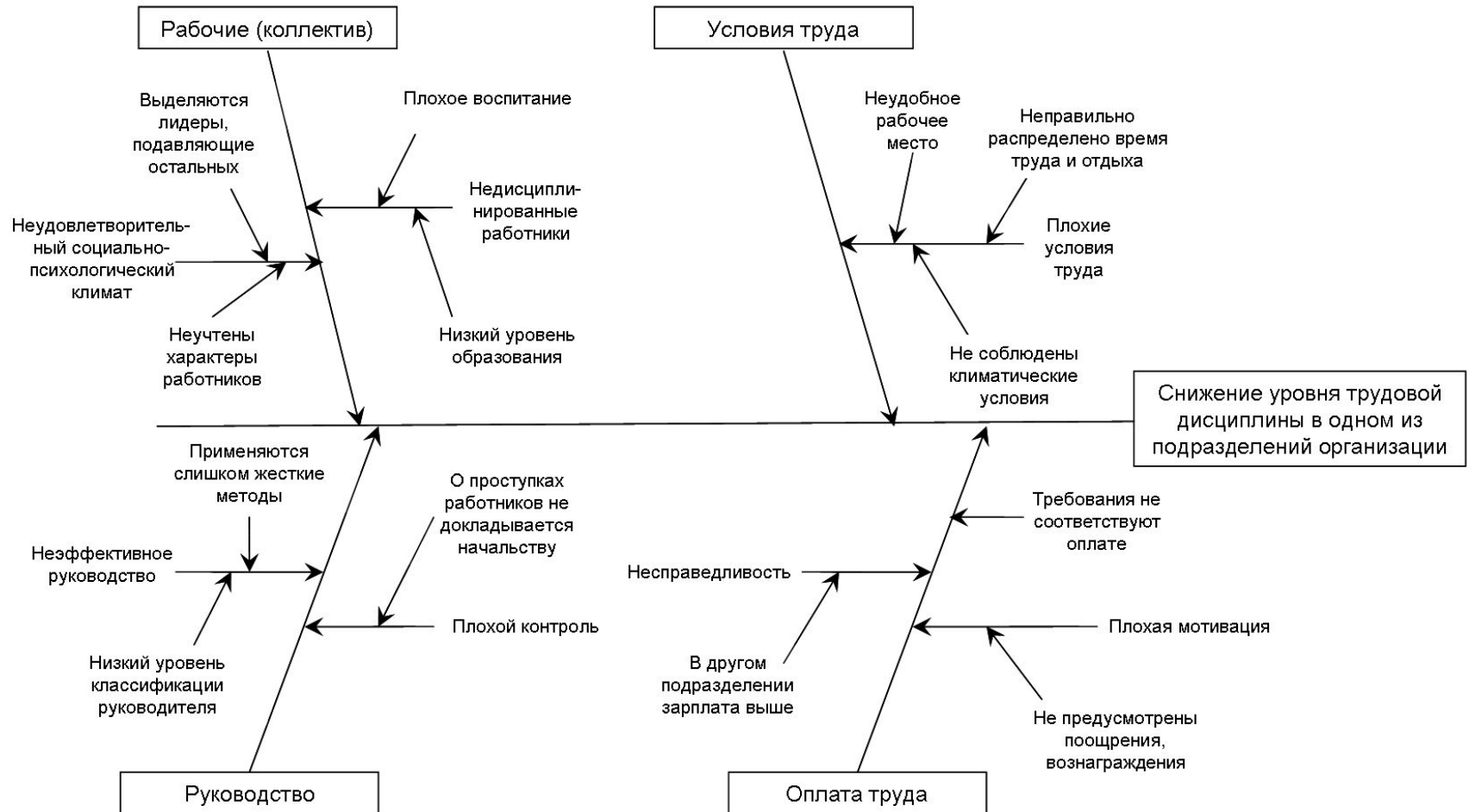
Пример диаграммы Исикавы



Пример диаграммы Исикавы



Пример диаграммы Исикавы



2 Контрольные листки

Контрольный листок – это форма для систематического сбора данных и автоматического их упорядочения с целью облегчения дальнейшего использования собранной информации.

Применяются следующие виды контрольных листков:

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

Пример контрольного листка

Дефект	Результат	Итог	Примечание
Царапина	///	3	Деталь – Дата: Контролер – Участок – Партия – Всего деталей – 1400
Трещина	/	1	
Заусенец	/// /// //	8	
Деформация	/// //	68	
Вмятина	/// /// /// /// /// /// /// /// /// /// /// /// /// /// /	46	
Раковина	/// /	4	
Скол	/// /// ///	9	
Прочие	//	2	
	Итого дефектов	141	
Дефектные детали	/// //	74	

Пример контрольного листка

Контрольный листок для регистрации распределения измеряемого параметра в ходе производства

Наименование и номер изделия _____
 Материал _____
 Фамилия контролера _____
 Дата _____

Отклонение	Замеры												Частота	
	5			10			15			20				
-10														
-9														
* -8														
-7														
-6														
-5	X													1
-4	X	X												2
-3	X	X	X	X										4
-2	X	X	X	X	X	X								6
-1	X	X	X	X	X	X	X	X	X					9
8.300 -0	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X			11
1	X	X	X	X	X	X	X	X						8
2	X	X	X	X	X	X	X							7
3	X	X	X											3
4	X	X												2
5	X													1
6	X													1
7														
* 8														
9														
10														
Итого													55	

Пример контрольного листка

Тип рекламации ████████████████	Дни недели					
	Пн	Вт	Ср	Чт	Пт	Итого
Последствия несоблюдения условий хранения (скипидаре)						34
Дефект упаковки						22
Наличие примесей						18
Нарушения в фасовке (масса продукта не соответствует указанной на упаковке)						10
Итого:	11	16	19	17	21	84

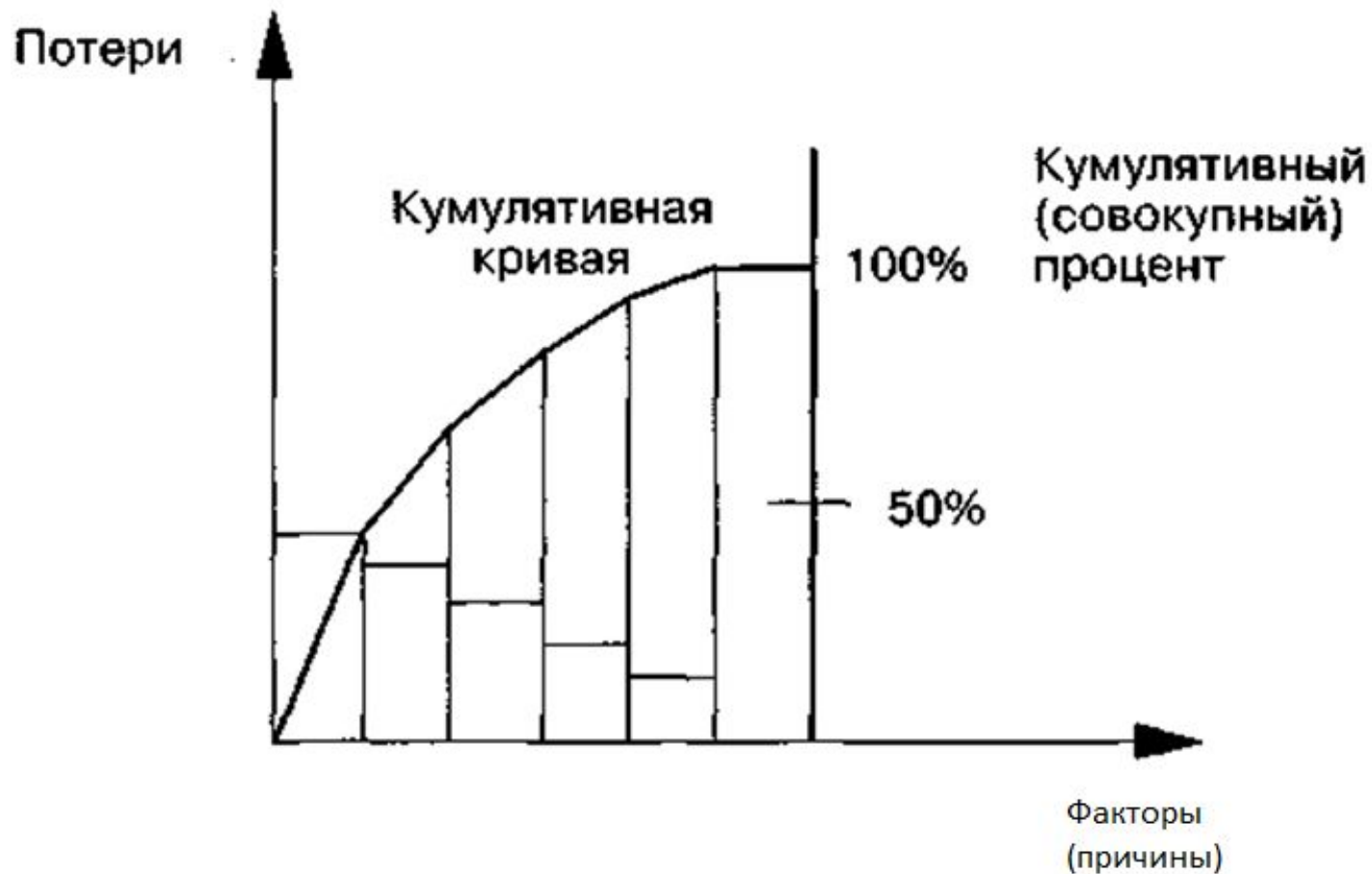
Вид контрольного листка при контроле по количественному признаку

Цех автоматный		Оборудование токарный автомат 5803		Контролируемая операция – нарезание резьбы			Контролируемый параметр -0,005 Ø26 -0,019	
Объем контроля N = 100		Объем выборки n=5		Средство контроля – рычажная скоба			Точность контроля 1 мкм.	
Дата, время	№ выборки	Результаты контроля, мкм [1]					X _i	R _i
7 ⁰⁰	1	10	3	5	14	10	8,4	11
8 ⁰⁰	2	2	14	8	13	11	9,6	12
9 ⁰⁰	3	12	12	3	8	10	9	9
10 ⁰⁰	4	12	14	7	11	9	10,6	7
11 ⁰⁰	5	10	11	9	15	7	10,4	8
12 ⁰⁰	6	11	12	11	14	12	12	3
13 ⁰⁰	7	15	11	14	8	3	10,2	12
14 ⁰⁰	8	12	14	12	11	11	12	3
15 ⁰⁰	9	11	7	11	13	9	10,2	6
16 ⁰⁰	10	14	10	9	12	8	10,6	6
7 ⁰⁰	11	9	11	14	10	13	11,4	5
8 ⁰⁰	12	13	13	6	4	13	9,8	9
9 ⁰⁰	13	5	8	3	3	4	4,6	5
10 ⁰⁰	14	8	5	6	9	13	8,2	8
11 ⁰⁰	15	8	4	9	5	8	6,8	5
12 ⁰⁰	16	4	12	10	6	10	8,4	8
13 ⁰⁰	17	10	6	13	10	5	8,8	8
14 ⁰⁰	18	7	9	2	1	7	5,2	8
15 ⁰⁰	19	4	7	6	7	12	7,2	8
16 ⁰⁰	20	10	10	6	9	3	7,6	7
				σ=3мкм		μ=9 мкм		

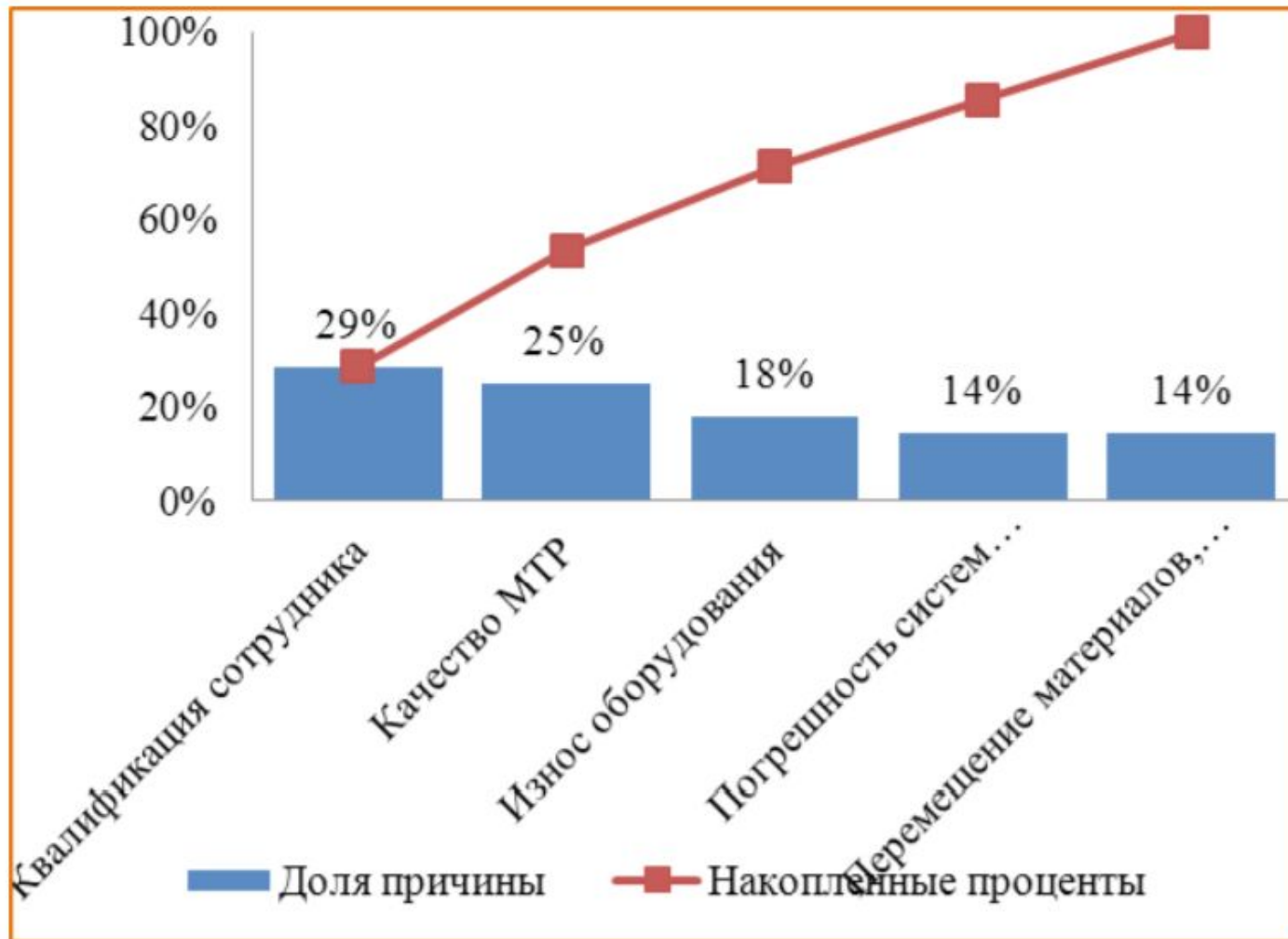
3. Диаграммы Парето

- ▣ **Диаграмма Парето** — инструмент, позволяющий выполнить предварительную оценку основных причин появления каких-либо событий.
- ▣ В результате анализа диаграмм Парето:
 - ▣ выявляются причины брака, имеющие наибольшую долю (наибольший процентный вклад).
 - ▣ намечают мероприятия по их устранению.
- ▣ Сравнивая диаграммы Парето, построенные по данным до и после улучшения процесса, оценивают эффективность принятых мер.

Общий вид диаграммы Парето



Пример диаграммы Паретто



Виды диаграмм Парето

1. Диаграмма Парето по результатам деятельности. Эта диаграмма предназначена для выявления главной проблемы и отражает следующие нежелательные результаты деятельности:

- качество: дефекты, поломки, ошибки, отказы, рекламации, ремонты, возвраты продукции
- себестоимость: объем потерь, затраты
- сроки поставок: нехватка запасов, ошибки в составлении счетов, срыв сроков поставок
- безопасность: несчастные случаи, трагические ошибки, аварии.

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

- исполнитель работы: смена, бригада, возраст, опыт работы, квалификация, индивидуальные характеристики;
- оборудование: станки, агрегаты, инструменты, оснастка, организация использования, модели, штампы;
- сырье: изготовитель, вид сырья, завод-поставщик, партия;
- метод работы: условия производства, заказы-наряды, приемы работы, последовательность операций;
- измерения: точность (указаний, чтения, приборная), верность и повторяемость.

Построение диаграммы Парето

Этап 1. Решите, какие проблемы надлежит исследовать и как собирать данные.

Этап 2. Разработайте контрольный листок для регистрации данных с перечнем видов собираемой информации. В нем надо предусмотреть место для графической регистрации данных проверок.

Этап 3. Заполните листок регистрации данных и подсчитайте итоги.

Этап 4. Для построения диаграммы Парето разработайте бланк таблицы для проверок данных, предусмотрев в нем графы для итогов по каждому проверяемому признаку в отдельности, накопленной суммы числа дефектов, процентов к общему итогу и накопленных процентов.

Этап 5. Расположите данные, полученные по каждому проверяемому признаку, в порядке значимости и заполните таблицу.

Этап 6. Начертите одну горизонтальную и две вертикальные оси.

Этап 7. Постройте столбиковую диаграмму

Этап 8. Начертите кривую Парето.

Этап 9. Нанесите на диаграмму все обозначения и надписи.

Исходные данные для построения диаграммы Парето


Тип рекламации 	Дни недели					
	Пн	Вт	Ср	Чт	Пт	Итого
Последствия несоблюдения условий хранения (скипание)						34
Дефект упаковки						22
Наличие примесей						18
Нарушения в фасовке (масса продукта не соответствует указанной на упаковке)						10
Итого:	11	16	19	17	21	84

Таблица для заполнения

Тип дефектов	Число дефектов	Накопленная сумма дефектов	Процент по каждому типу дефектов	Накопленный процент по типам дефектов

4. Метод расслаивания (стратификация)

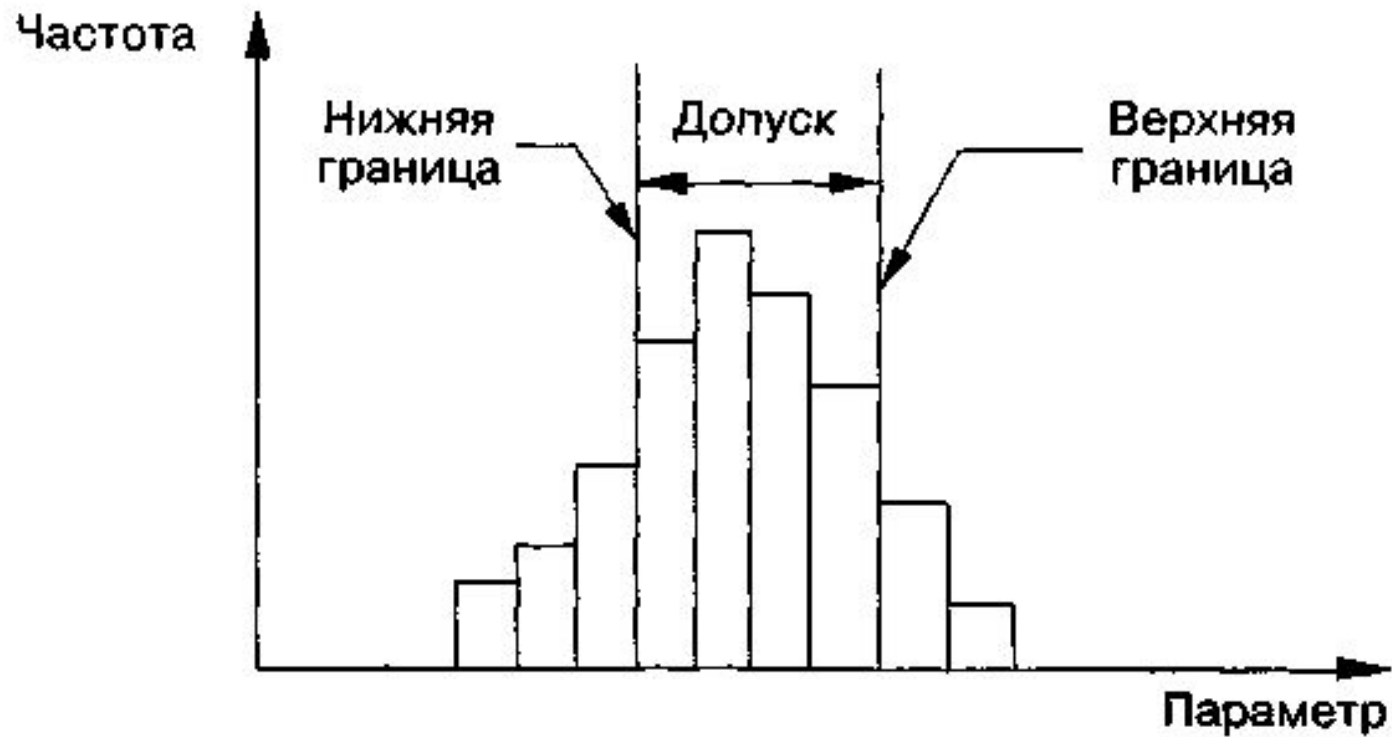
- «Расслаивание»– разделение полученных данных на отдельные группы (слои, страты) в зависимости от выбранного стратифицирующего фактора.
- В качестве фактора расслоения могут быть выбраны любые параметры, определяющие особенности условий возникновения и получения данных:
 - различное оборудование;
 - операторы, производственные бригады, участки, цехи, предприятия и т. п.;
 - время сбора данных;
 - разные виды сырья;
 - различие используемых станков, средств измерения и т. д.

5. Гистограммы

- Гистограмма – это инструмент, позволяющий зрительно оценить закон распределения величины разброса данных, а также принять решение о том, на чем следует сфокусировать внимание для целей улучшения процесса.

- Гистограммы – один из вариантов столбчатой диаграммы, отображающий зависимость частоты попадания параметров качества изделия или процесса в определенный интервал значений от этих значений.

Пример гистограммы



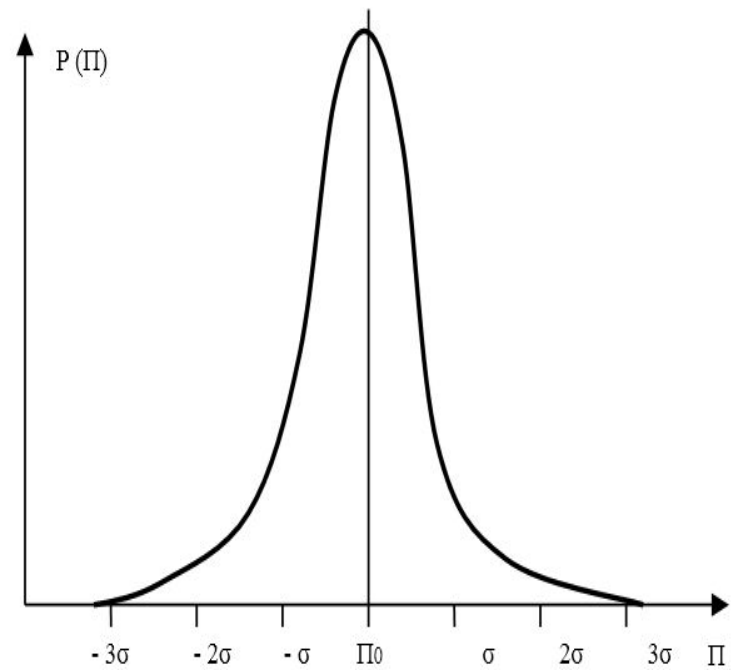
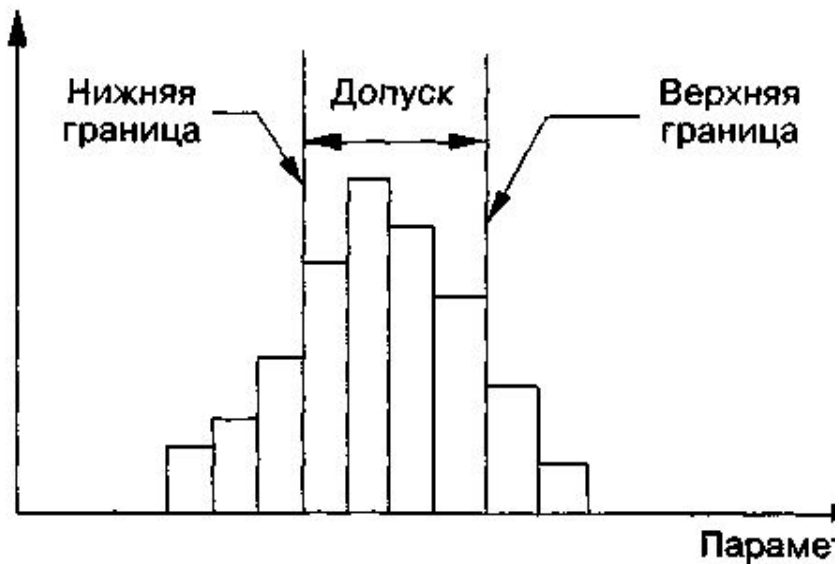
Исходные данные для построения гистограммы

1	170
2	163
3	162
4	183
5	173
6	177
7	180
8	177
9	185
10	177
11	179
12	176
13	179
14	173
15	169
16	190

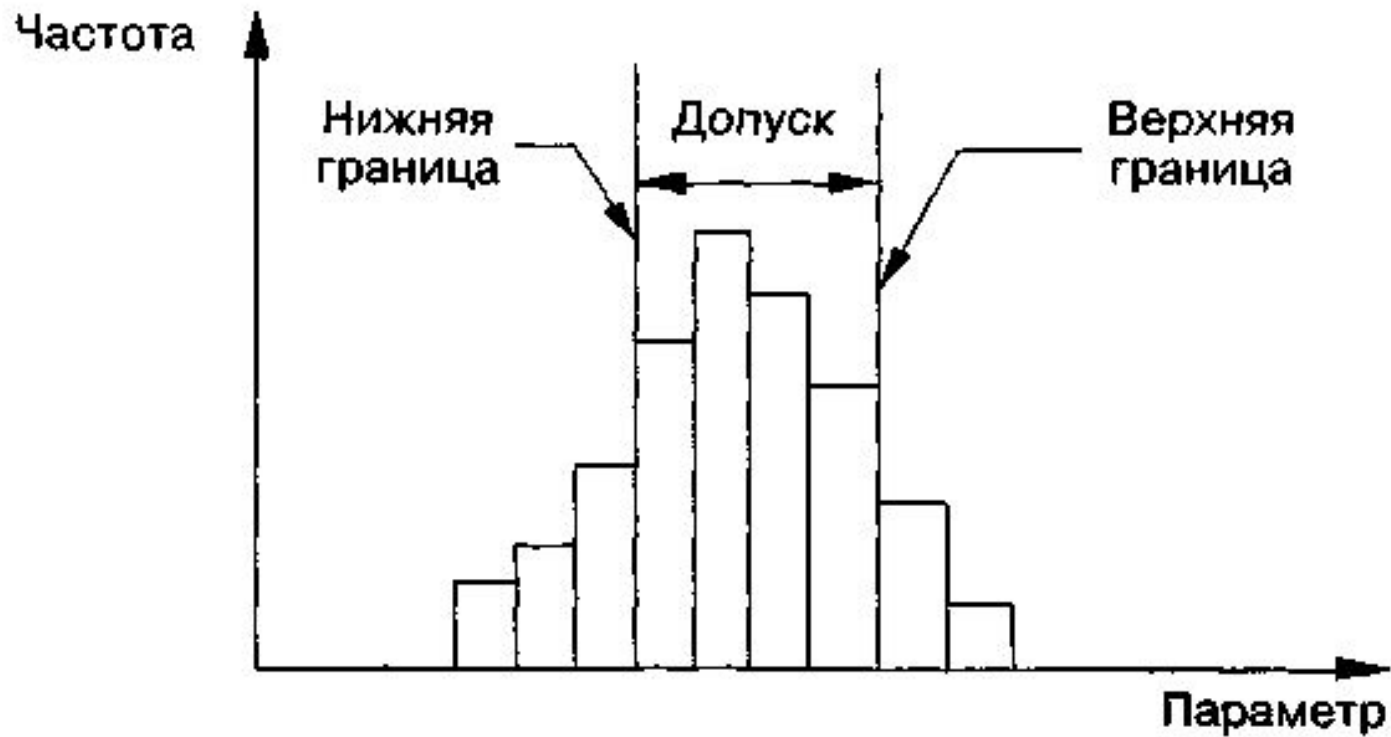
Правило шести сигм

- ▣ *Шесть сигм* — статистическая концепция, на основе которой процесс измеряется в параметрах брака: при высшем уровне в шесть сигм число дефектов составляет 3,4 на миллион возможных.
- ▣ Сам по себе *термин «Сигма»* является статистическим и обозначает стандартную девиацию, т.е. отклонение.

Правило шести сигм



Пример гистограммы

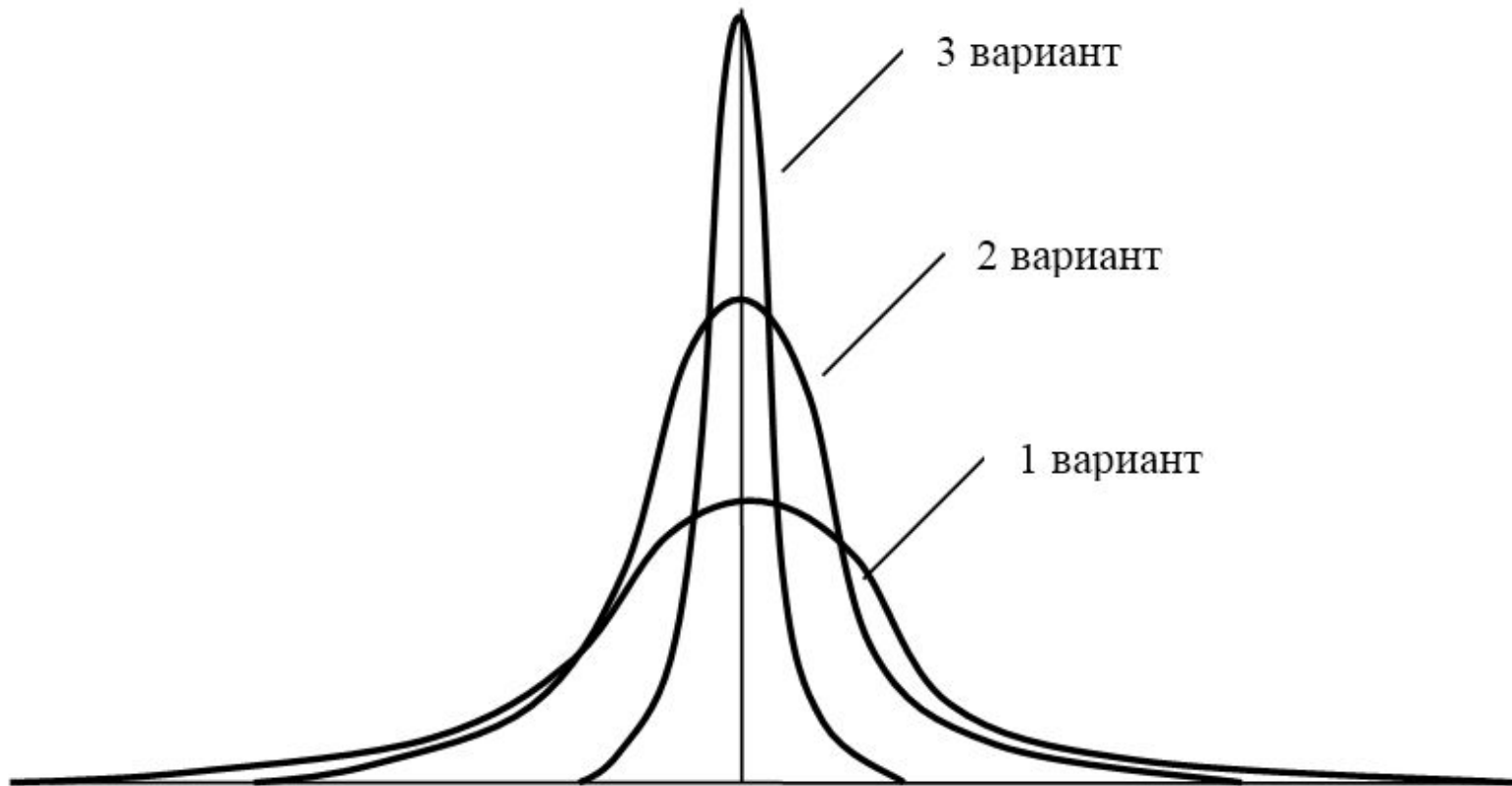


Уровни «сигма» в правиле шести сигм

Уровни «сигма» и число дефектов их характеризующее

Расстояние между центром распределения и границей допуска	Число дефектов на миллион	%	Уровень конкурентоспособности
6σ	3,4	99.9997	Мировой класс
5σ	233	99.9770	
4σ	6210	99.3790	Средний по отрасли
3σ	66807	94.3200	
2σ	308537	69.2000	Неконкурентоспособный
1σ	690000	31.0000	

Графическая интерпретация правила «шесть сигм»



6. Диаграммы разброса

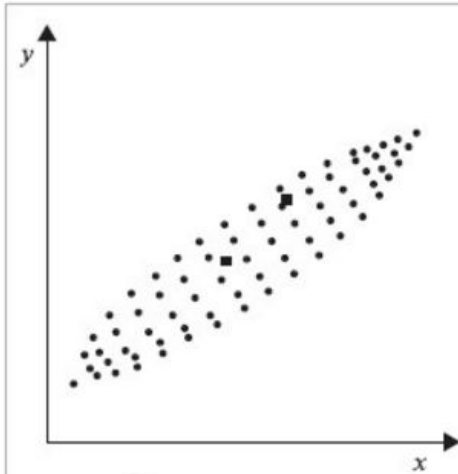
Цель метода

- Выяснение существования зависимости и выявление характера связи между двумя различными параметрами процесса.

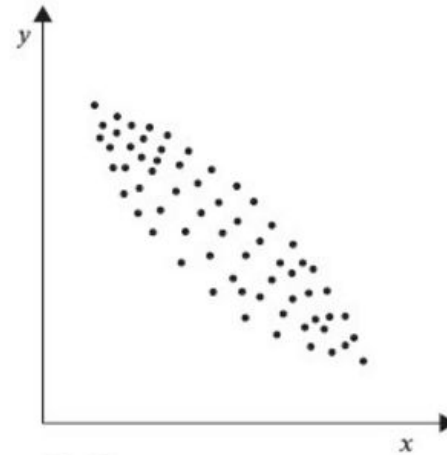
Суть метода

- Диаграмма разброса – инструмент, позволяющий определить вид и тесноту связи между парами соответствующих переменных. Эти две переменные могут относиться к:
 - характеристике процесса и влияющему на нее фактору;
 - двум различным характеристикам процесса;
 - двум факторам, влияющим на одну характеристику процесса.
- При наличии корреляционной зависимости между двумя факторами значительно облегчается контроль процесса с технологической, временной и экономической точек зрения.

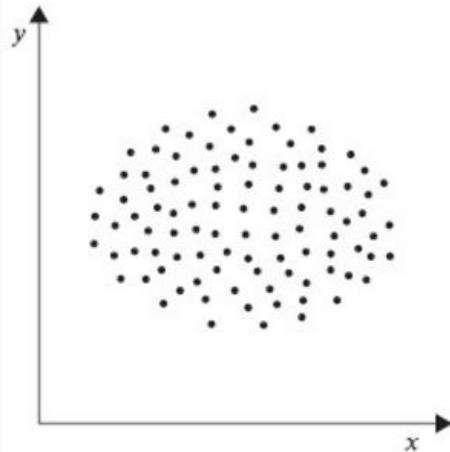
Пример диаграмм разброса



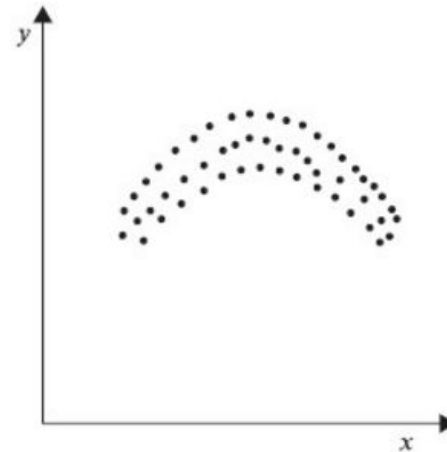
а. Прямая корреляция



б. Отрицательная корреляция



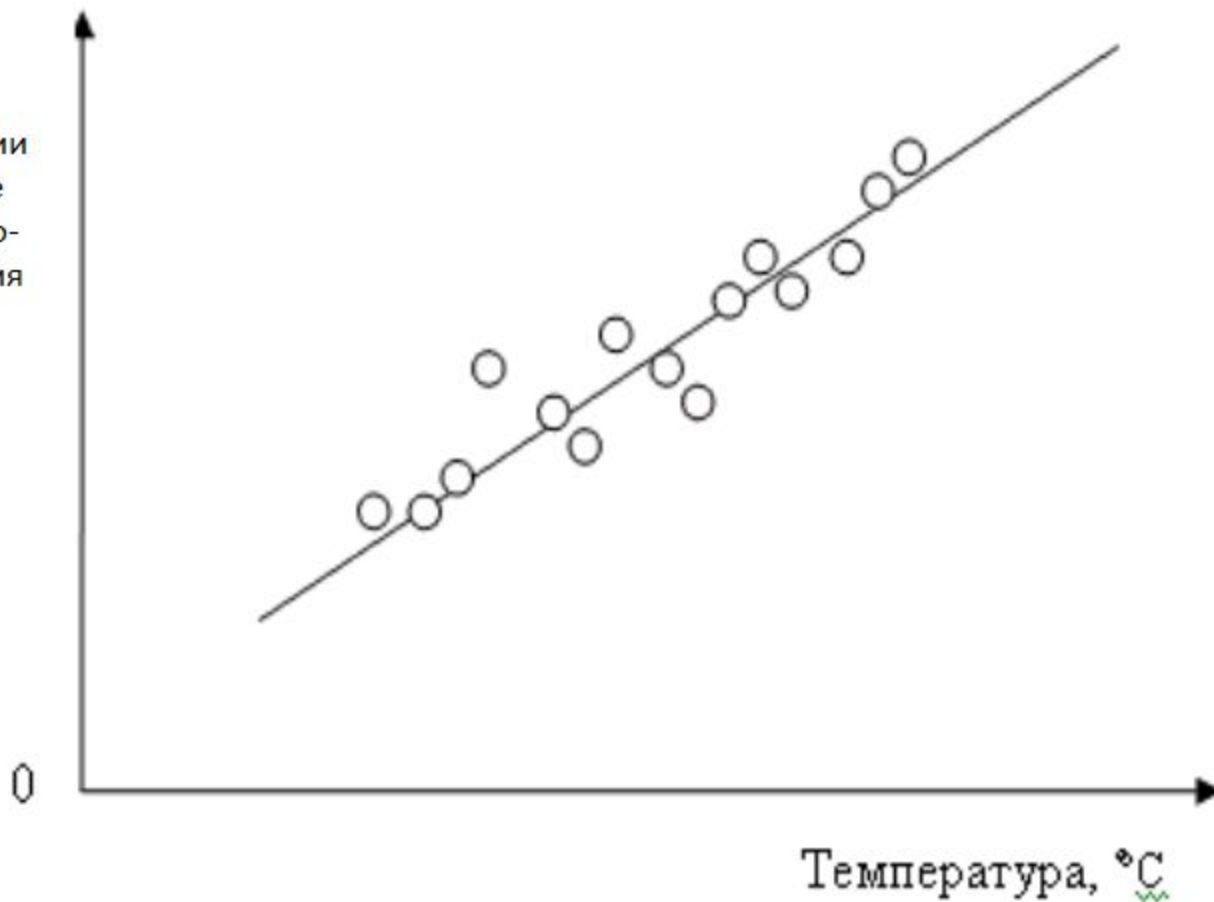
в. Отсутствие корреляции



г. Криволинейная корреляция

Пример

Расход
эл. энергии
в системе
кондицио-
нирования



Построение диаграммы разброса

- ▣ **Этап 1.** Соберите парные данные (x, y) , между которыми вы хотите исследовать зависимость, и расположите их в таблицу. Желательно не менее 25-30 пар данных.
- ▣ **Этап 2.**
 - ▣ Найдите максимальные и минимальные значения для x и y .
 - ▣ Выберите шкалы на горизонтальной и вертикальной осях так, чтобы обе длины рабочих частей получились приблизительно одинаковыми, тогда диаграмму будет легче читать.
 - ▣ Возьмите на каждой оси от 3 до 10 градаций и используйте для облегчения чтения круглые числа.
 - ▣ Если одна переменная - фактор, а вторая - характеристика качества, то выберите для фактора горизонтальную ось x , а для характеристики качества - вертикальную ось y .

Построение диаграммы разброса

- ▣ **Этап 3.** На отдельном листе бумаги начертите график и нанесите на него данные. Если в разных наблюдениях получаются одинаковые значения, покажите эти точки, либо рисуя концентрические кружки, либо нанося вторую точку рядом с первой.

- ▣ **Этап 4.** Сделайте все необходимые обозначения. Убедитесь, что нижеперечисленные данные, отраженные на диаграмме, понятны любому человеку, а не только тому, кто делал диаграмму:

Построение диаграммы разброса

- *Этап 1.* Соберите парные данные (x, y), между которыми вы хотите исследовать зависимость, и расположите их в таблицу. Желательно не менее 25-30 пар данных.
- *Этап 2.* Найдите максимальные и минимальные значения для x и y . Выберите шкалы на горизонтальной и вертикальной осях так, чтобы обе длины рабочих частей получились приблизительно одинаковыми, тогда диаграмму будет легче читать. Возьмите на каждой оси от 3 до 10 градаций и используйте для облегчения чтения круглые числа. Если одна переменная - фактор, а вторая - характеристика качества, то выберите для фактора горизонтальную ось x , а для характеристики качества - вертикальную ось y .
- *Этап 3.* На отдельном листе бумаги начертите график и нанесите на него данные. Если в разных наблюдениях получаются одинаковые значения, покажите эти точки, либо рисуя концентрические кружки, либо нанося вторую точку рядом с первой.
- *Этап 4.* Сделайте все необходимые обозначения. Убедитесь, что нижеперечисленные данные, отраженные на диаграмме, понятны любому человеку, а не только тому, кто делал диаграмму:

Исходные данные для построения диаграммы разброса

Относ. вл-ть воздуха, %	78	84	72	90	94	85	80
Доля дефектов, %	2,2	2,6	2,1	2,7	2,8	2,6	2,2

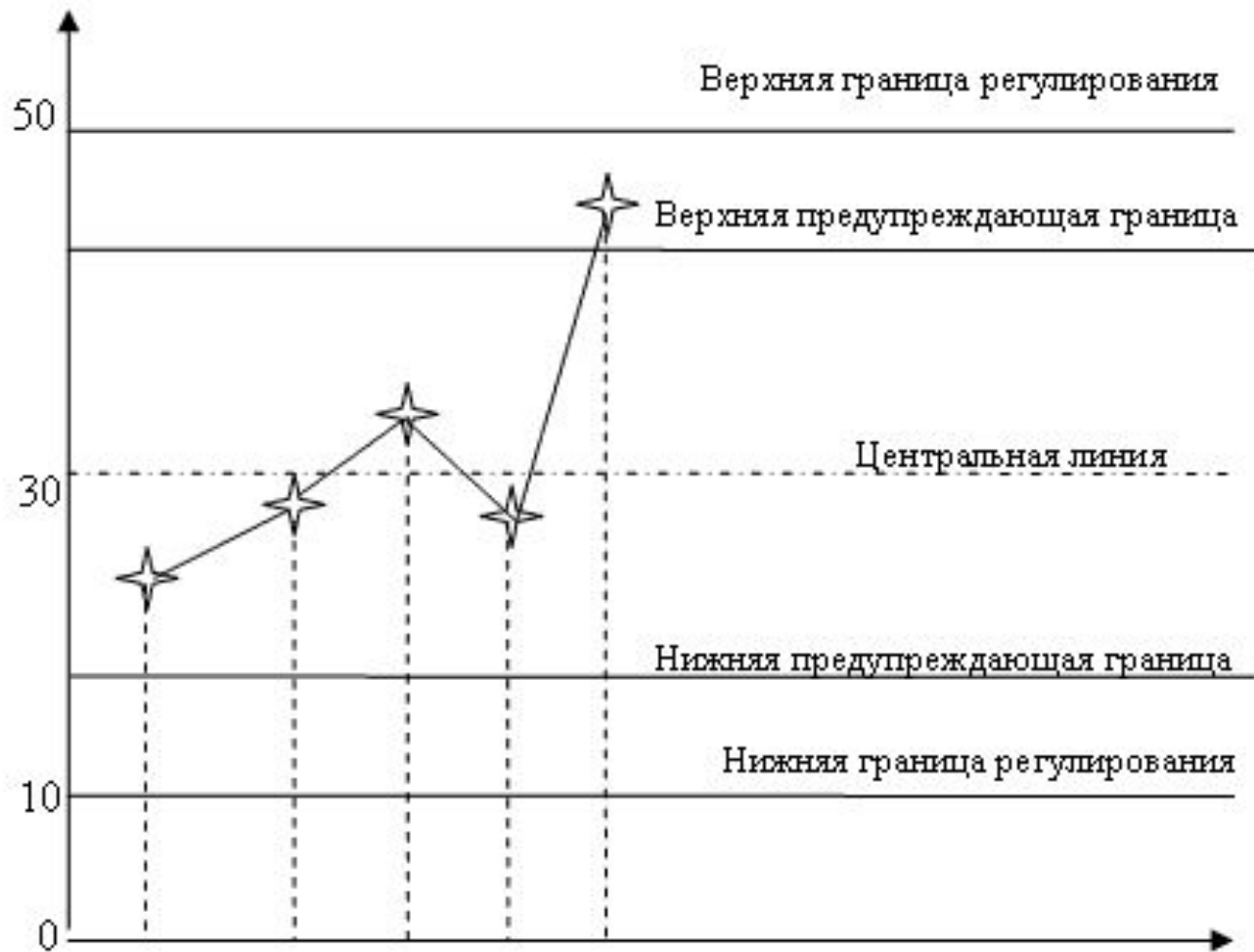
7. Контрольные карты

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

Они позволяют:

- контролировать текущие рабочие характеристики процесса
- показывают отклонения этих характеристик от целевого или среднего значения
- показывают уровень статистической стабильности (устойчивости, управляемости) процесса в течение определенного времени.

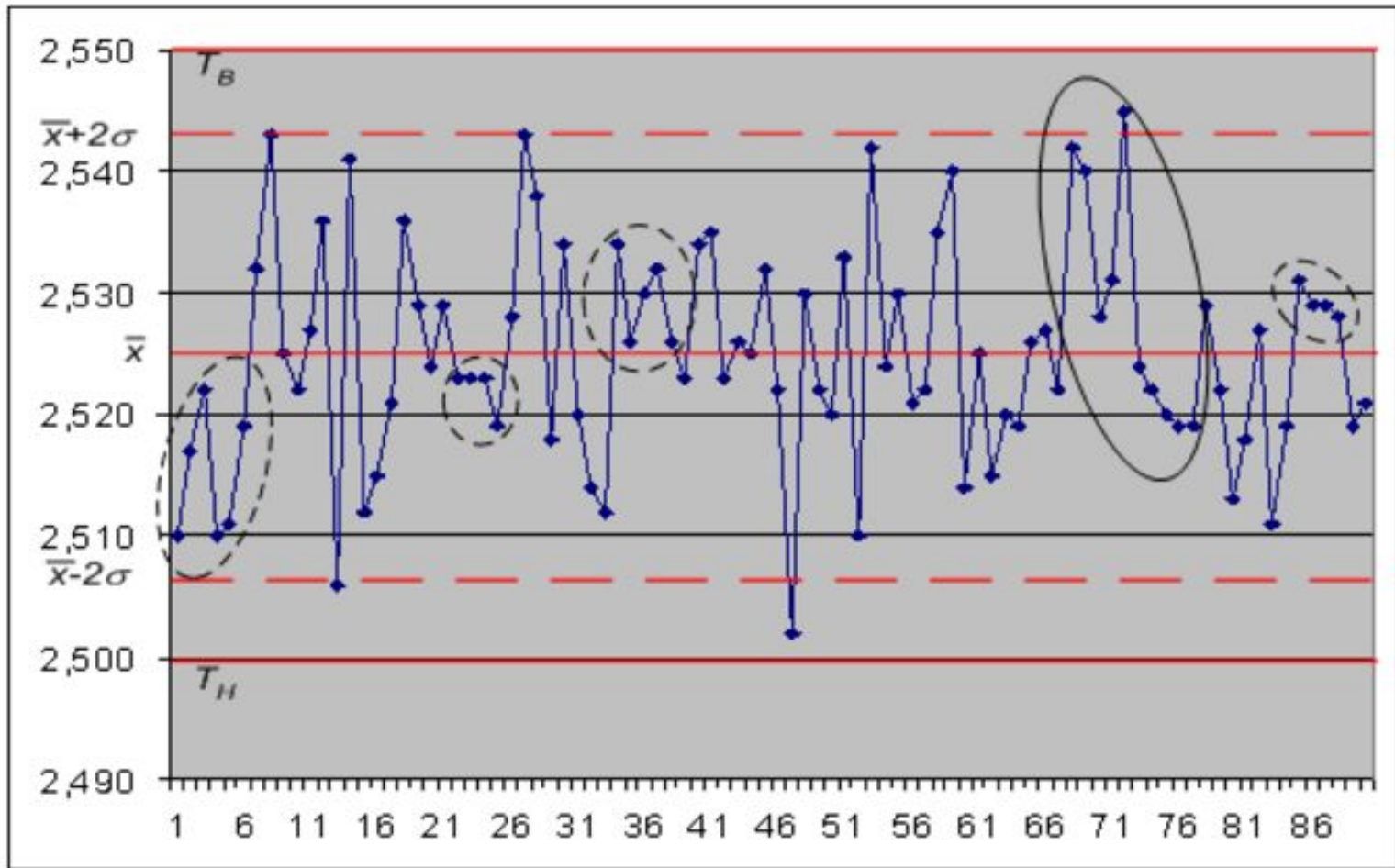
Пример контрольной карты



Пример контрольной карты – исходные данные

№ образцов	Результаты измерений									
1-10	2,510	2,517	2,522	2,510	2,511	2,519	2,532	2,543	2,525	2,522
11-20	2,527	2,536	2,506	2,541	2,512	2,515	2,521	2,536	2,529	2,524
21-30	2,529	2,523	2,523	2,523	2,519	2,528	2,543	2,538	2,518	2,534
31-40	2,520	2,514	2,512	2,534	2,526	2,530	2,532	2,526	2,523	2,534
41-50	2,535	2,523	2,526	2,525	2,532	2,522	2,502	2,530	2,522	2,520
51-60	2,533	2,510	2,542	2,524	2,530	2,521	2,522	2,535	2,540	2,514
61-70	2,525	2,515	2,520	2,519	2,526	2,527	2,522	2,542	2,540	2,528
71-80	2,531	2,545	2,524	2,522	2,520	2,519	2,519	2,529	2,522	2,513
81-90	2,518	2,527	2,511	2,519	2,531	2,529	2,529	2,528	2,519	2,521

Пример контрольной карты



Анализ контрольной карты

Анализ контрольной карты включает следующие шаги:

1. **Граничные значения.** Необходимо визуально зафиксировать все значения, которые: > пересекают контрольные линии > вплотную приближаются к контрольным линиям (пересекают границы $X_n \pm 2s$) > лежат на границах $X_n \pm 2s$ (если эти линии построены)

- Если зафиксированы значения первого или второго случая, можно уверенно сказать, что техпроцесс вышел из-под контроля: в нашем случае это точки 13, 47 и 72.
- Если на контрольной карте встречаются только точки третьего вида, это свидетельство того, что процесс управляем, но требуется наладка оборудования (коэффициент точности имеет значение от 0,75 до 0,98).
- Если нет точек, которые приближаются к границам $X_n \pm 2s$, техпроцесс находится в удовлетворительном состоянии.

2. **Серии.** Сериями называются последовательности точек, расположенных по одну сторону от оси $y=X_n$. По разным оценкам серией является последовательность из 4-6 точек и более. На рисунке серии отмечены пунктирными областями.

3. **Тренды.** Трендами называют последовательность точек, которая направляет график вверх или вниз. На рисунке область, которая обведена сплошной линией. В ней присутствует как серия, так и тренд, направленный вниз. Тренд фактически продолжается до точки 85. С т. 62 до т. 72 можем видеть тренд, направленный вверх.