

# Статистический анализ данных. Первые шаги

## *Лекция 10*

Это «первые шаги», а не «введение» или «основные понятия», потому что статистический анализ основывается на теории вероятностей и математической статистике, которую вы еще не проходили. В этой лекции положения статистического анализа поясняются не с помощью математической теории, а на основе здравого смысла.

Эти «первые шаги» помогут понять смысл формул для оценок параметров линейно й зависимости по методу наименьших квадратов.

# Понятие выборки

- **Выборка – это последовательность наблюдений.**

Это могут быть наблюдения любой природы: некоторой физической величины (температуры, давления, напряжения) или экономические данные (стоимость какого либо объекта или заработная плата), или медицинские и т. д.

Наблюдения могут проводиться на одном объектом в последовательные моменты времени или в один момент времени над несколькими объектами.

**Представим эти наблюдения как массив чисел из  $n$  элементов:**

$x_1, x_2, \dots, x_n$

**$n$  называется объемом или длиной выборки.**

Значение  $n$  может быть весьма велико.

Как описать свойства выборки?

Составить о ней общее представление?

По каким параметрам можно сравнить две выборки, описывающие объекты или явления одинаковой природы?

Например, имеются оценки двух студенческих групп по какому-либо предмету. Как понять, какая группа лучше учится?

А если оценки не двух групп, а двух факультетов?

# Характеристики выборки

- **Среднее значение:**

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

**Это наиболее распространенная характеристика центра выборки.**

Обычно, когда говорят «средний», подразумевают «типичный», хотя это не всегда правильно. Например, если оценки такие: 3, 5, 3, 5, 3, 5, то среднее равно 4, хотя оценку 4 не получил ни один студент.

Еще один пример нетипичности среднего значения – это «средняя по госпиталю температура». Среднее значение является хорошей характеристикой выборки, когда наблюдения более или менее равномерно заполняют интервал от  $x_{\min}$  (минимального значения среди наблюдений) до  $x_{\max}$  (максимального значения среди наблюдений).

Значения  $x_{\min}$  и  $x_{\max}$  также являются характеристиками выборки.

# Характеристики выборки

- **Медиана** (от [лат.](#) *mediāna* — середина).

Медиана — это такое число, что половина из элементов выборки больше него, а другая половина меньше.

Медиану можно найти, упорядочив элементы выборки по возрастанию или убыванию и взяв средний элемент.

Например, выборка {11, 9, 3, 5, 5} после упорядочивания превращается в {3, 5, 5, 9, 11} и её медианой является число 5.

Если в выборке чётное число элементов, медиана может быть не определена однозначно: для числовых данных чаще всего используют полусумму двух соседних значений (то есть медиану набора {1, 3, 5, 7} принимают равной 4), хотя в соответствии с определением можно было взять, например, 4.5.

Медиана является важной характеристикой выборки и, так же как среднее значение, может быть использована в качестве центра выборки, в случаях сильной «неравномерности» выборки.

# Характеристики выборки

- Предположим, что в одной комнате оказалось 19 бедняков и один миллионер. У каждого бедняка есть 5 рублей, а у миллионера — 1 млн рублей. В сумме получается 1 000 095 рублей. Если мы разделим деньги равными долями на 20 человек, то получим 50 004,75 ₽. Это будет **среднее арифметическое** значение суммы денег, которая была у всех 20 человек в этой комнате. Такой суммы нет ни одного человека в комнате.
- Медиана в этом случае будет равна 5 рублям (полусумма десятого и одиннадцатого, *срединных* значений упорядоченного ряда). Можно интерпретировать это следующим образом. Разделив всю компанию на две равные группы по 10 человек, мы можем утверждать, что в первой группе у каждого не больше 5 рублей, во второй же — не меньше 5 рублей. В общем случае можно сказать, что медиана — это то, сколько принёс с собой «средний» человек. Наоборот, среднее арифметическое — неподходящая характеристика, так как оно значительно превышает сумму наличных, имеющуюся у среднего человека. Но рассматриваемая выборка существенно неоднородна, то есть содержит существенно различающиеся значения.

# Характеристики выборки

- **Мода** — значение во множестве наблюдений, которое встречается наиболее часто. Таким образом, мода – наиболее типичное значение. Иногда в совокупности встречается более чем одна мода (*например: 6, 2, 6, 6, 8, 9, 9, 9, 0; мода — 6 и 9*). В этом случае можно сказать, что совокупность мультимодальна.
- Мода как средняя величина употребляется чаще для данных, имеющих нечисловую природу. Среди перечисленных цветов автомобилей — *белый, чёрный, синий металлик, белый, синий металлик, белый* — мода будет равна белому цвету. При экспертной оценке с её помощью определяют наиболее популярные типы продукта, что учитывается при прогнозе продаж или планировании их производства.

# Характеристики рассеяния, разброса, изменения выборки

- **Размах:**  $R = x_{\max} - x_{\min}$

Не самая лучшая характеристика рассеяния выборки. Например,

Она одинакова для выборок:

-10, 10, -10, -10, -10, 10, 10, -10, 10, -10, 10

1, -1, -2, 2, -5, 5, 10, 1, -10, 3, -4, 6, 4, -6, -7, 8

# Характеристики рассеяния, разброса, изменения выборки

## Выборочная дисперсия:

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

- Дисперсия характеризует среднее отклонение (разброс, рассеяние, изменение, вариацию) наблюдений относительно их среднего значения.
- Почему суммируются не отклонения, а их квадраты? – Для того, чтобы положительные отклонения не компенсировались отрицательными. Иначе при больших отклонениях можно получить маленькую сумму.
- Почему суммируются не модули отклонений, а их квадраты? - Потому, что использование модулей приводит к сложным алгебраическим выражениям. Ведь, например, взять производную от функции  $y = |x|$  сложнее, чем от  $y = x^2$ .
- В теории вероятностей доказывается, что лучшую оценку рассеяния можно получить, если в знаменателе использовать не  $n$ , а  $n-1$ . Почему, мы попытаемся понять позже. Но на практике используется и приведенная на этом слайде формула



# Характеристики рассеяния, разброса, изменения выборки

В теории вероятностей доказывается формула:

$$D_x = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i^2 - \left( \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \right)^2$$

Если использовать обозначения, принятые в лекции 9 (слайд 9), то получим:

$$D_x = \overline{x^2} - \bar{x}^2 \quad (1)$$

Эта формула нам пригодится для выяснения смысла формул (4) лекции 9 - оценивания коэффициентов линейной зависимости по МНК.

# Характеристики рассеяния, разброса, изменения выборки

- Единицы измерения  $D_x$  – это единицы измерения  $x$  в квадрате.
- Чтобы рассеяние измерялось в тех же единицах, что и  $x$ , рассматривается характеристика:

$$s_x = \sqrt{D_x}$$

- $s_x$  называется **выборочным средним квадратичным отклонением или стандартным отклонением**.
- Естественно:

$$D_x = s_x^2 \quad (2)$$

# Зависимость двух выборок

Пусть мы проводим наблюдения так, что в одном наблюдении определяем сразу два параметра  $x$  и  $y$ . Например, рост и вес человека. Каждое наблюдение можно изобразить точкой на плоскости в декартовой системе координат. Такая картинка (см. лекцию 9) называется полем корреляции (или полем рассеяния). Если между  $x$  и  $y$  существует зависимость:

$$y=f(x)+\varepsilon,$$

где  $\varepsilon$  – случайная величина и значения  $\varepsilon$  не очень велики (что значит «не очень велики», определим потом), то **выборка  $y$  зависит от выборки  $x$ .**

Если при этом функция  $f(x)$  линейная, то существует линейная зависимость выборки  $y$  от выборки  $x$ .

# Числовые характеристики зависимости двух выборок

- **Выборочная ковариация выборок  $x$  и  $y$ :**

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

Из теории вероятностей известно: если  $x$  и  $y$  независимы, то

$$K_{x,y} = 0.$$

Поэтому выборочная ковариация считается мерой зависимости  $x$  и  $y$ .

# Числовые характеристики зависимости двух выборок

В теории вероятностей доказывается формула:

$$K_{x,y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i y_i - \left( \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \right) \left( \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i \right)$$

Если использовать обозначения, принятые в лекции 9 (слайд 9), то получим:

$$K_{x,y} = \overline{xy} - \bar{x} \cdot \bar{y} \quad (3)$$

Эта формула нам пригодится для выяснения смысла формул (4) лекции 9 - оценивания коэффициентов линейной зависимости по МНК.

# Числовые характеристики зависимости двух выборок

Величина  $K_{x,y}$  зависит от единиц измерения  $x$  и  $y$ . Например, пусть  $x$  – рост человека, и он измеряется в метрах. Если мы будем измерять  $x$  в сантиметрах, то  $K_{x,y}$  увеличится в 100 раз.

Поэтому в качестве меры зависимости выборок  $x$  и  $y$  используется безразмерная величина:

$$r = \frac{K_{x,y}}{S_x S_y}$$

Величина  $r$  называется **выборочным коэффициентом корреляции**.

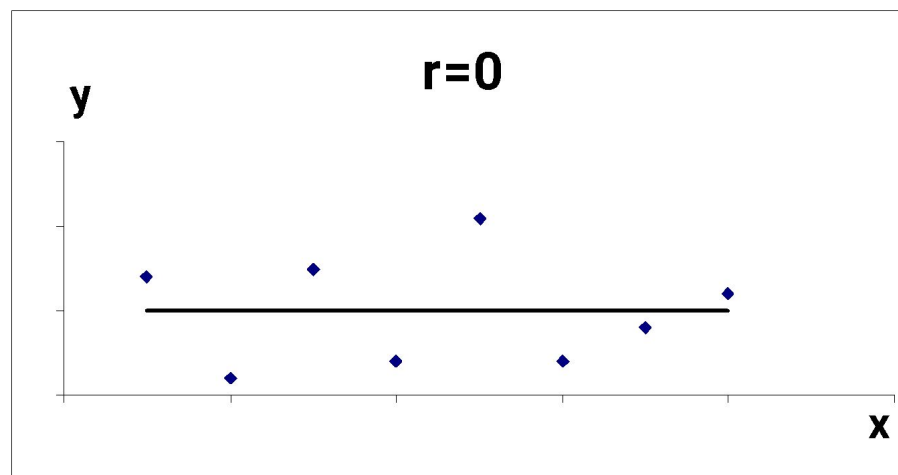
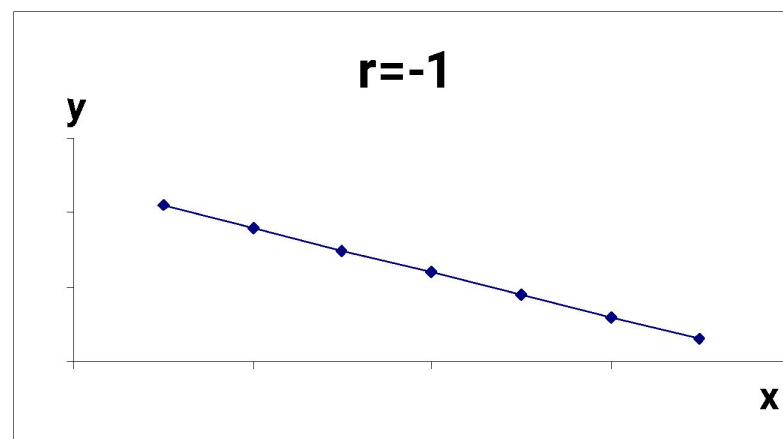
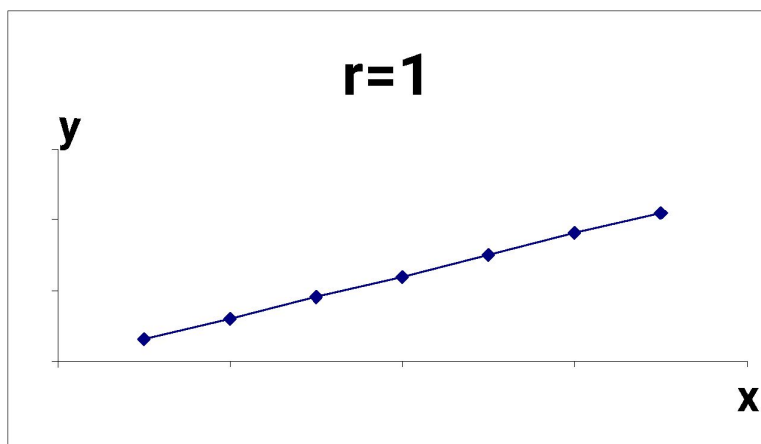
# Числовые характеристики зависимости двух выборок

**Свойства выборочного коэффициента корреляции**  
(доказываются в теории вероятностей):

1.  $-1 \leq r \leq 1$ . Чем ближе  $|r|$  к 1, тем сильнее  $y$  зависит от  $x$ .
2. При  $r = \pm 1$  корреляционная связь - линейная  
(наблюдения располагаются на прямой)
3. При  $r = 0$  связь отсутствует, линия регрессии параллельна оси  $Ox$ .

Таким образом, выборочный коэффициент корреляции характеризует степень линейной зависимости  $y$  от  $x$ .

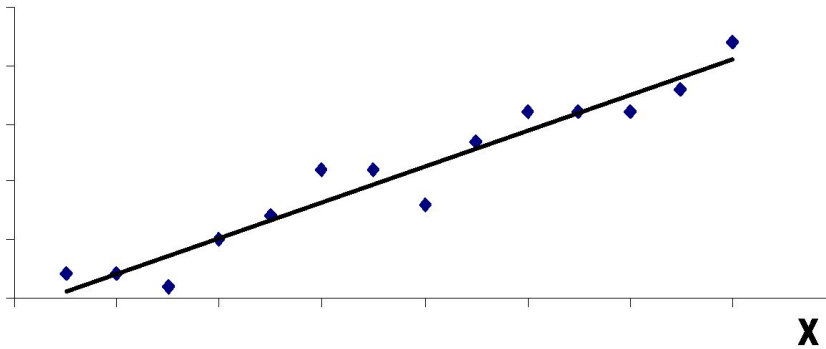
# Выборочный коэффициент корреляции характеризует степень линейной зависимости $y(x)$



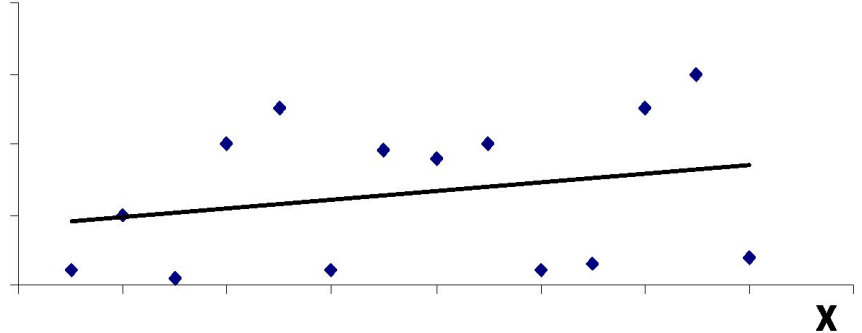


# Выборочный коэффициент корреляции характеризует степень линейной зависимости $y(x)$

у тесная связь,  $r$  близок к 1



у слабая связь,  $r$  близок к 0



# Определение параметров функции $y=mx+b$ по наблюдениям ее значений методом наименьших квадратов

Вспомним формулу для оценок параметров  $m$  и  $b$  по МНК:

$$m = \frac{\overline{xy} - \bar{x} \cdot \bar{y}}{\overline{x^2} - \bar{x}^2},$$
$$b = \bar{y} - m\bar{x}.$$

Учитывая формулы (1) и (3), получаем:

$$m = \frac{K_{x,y}}{D_x} \quad (4)$$

Таким образом, МНК-оценка коэффициента наклона прямой равна отношению ковариации выборок  $x$  и  $y$  к дисперсии  $x$ .

# Определение параметров функции $y=mx+b$ по наблюдениям ее значений методом наименьших квадратов

Из формул (2), (4) и определения выборочного коэффициента корреляции, получим формулы, связывающие значения коэффициента  $m$  и коэффициента корреляции:

$$m = \frac{S_y}{S_x} r; \quad r = \frac{S_x}{S_y} m.$$

Обратите внимание, что между коэффициентом детерминации и коэффициентом корреляции существует связь:

$$R^2 = r^2$$

# Встроенные функции Matlab для вычисления характеристик выборок

- `mean(x)` – возвращает среднее значение выборки;
- `median(x)` – возвращает медиану выборки;
- `std(x)` - возвращает среднее квадратичное отклонение выборки;
- `cov(x,y)` - для двух векторов  $x$ ,  $y$  одинаковой длины возвращает матрицу  $2 \times 2$ , на главной диагонали которой стоят дисперсия  $x$  (элемент с индексами (1,1) и дисперсия  $y$  (элемент с индексами (2,2) , а вне главной диагонали – два одинаковых числа; значение ковариации  $x$  и  $y$ ;
- `corrcoef(x,y)` – для двух векторов  $x$ ,  $y$  одинаковой длины возвращает матрицу  $2 \times 2$ , на главной диагонали которой стоят единицы, а вне главной диагонали – два одинаковых числа; это и есть значение коэффициента корреляции; при других аргументах эта функция может возвращать попарные коэффициенты корреляции набора векторов;

# Встроенные функции Mathcad для вычисления характеристик выборок

- $\text{mean}(x)$  – возвращает среднее значение выборки;
- $\text{median}(x)$  – возвращает медиану выборки;
- $\text{var}(x)$  – возвращает дисперсию (вариацию) выборки;
- $\text{stdev}(x)$  – возвращает среднее квадратичное отклонение выборки;
- $\text{cvar}(x,y)$  - вычисляет ковариацию выборок  $x$  и  $y$ ;
- $\text{corr}(x,y)$  – вычисляет коэффициент корреляции выборок  $x$  и  $y$ .