

САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ  
ИМ. ПЕТРА ВЕЛИКОГО

ИНСТИТУТ ПРИКЛАДНОЙ МАТЕМАТИКИ И МЕХАНИКИ  
КАФЕДРА "ПРИКЛАДНАЯ МАТЕМАТИКА"

ОТЧЁТ  
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 5  
ПО ДИСЦИПЛИНЕ  
"МАТЕМАТИЧЕСКАЯ СТАТИСТИКА"

ВЫПОЛНИЛ СТУДЕНТ:  
МАЛЬЦОВ ДМИТРИЙ ДМИТРИЕВИЧ  
ГРУППА: 3630102/70401

ПРОВЕРИЛ:  
К.Ф-М.Н., ДОЦЕНТ  
БАЖЕНОВ АЛЕКСАНДР НИКОЛАЕВИЧ

САНКТ-ПЕТЕРБУРГ  
2020 год

# Содержание

1. Список иллюстраций .....	3
2. Список таблиц .....	3
3. Постановка задачи .....	4
4. Теория.....	4
5. Реализация.....	4
6. Результаты .....	5
7. Выводы .....	11
8. Литература .....	11
9. Приложения .....	12

## 1 Список иллюстраций

1	Графики двумерного нормального распределения и смеси для размера выборки $n = 20$ .....	7
2	Графики двумерного нормального распределения и смеси для размера выборки $n = 60$ .....	8
3	Графики двумерного нормального распределения и смеси для размера выборки $n = 100$ .....	9
4	Графики эллипса рассеивания для двумерного нормального распределения для 2 точек .....	10
5	Графики эллипса рассеивания для двумерного нормального распределения для 3 точек .....	11

## 2 Список таблиц

1	Двумерное нормальное распределение, $n = 20$ .....	5
2	Двумерное нормальное распределение, $n = 60$ .....	5
3	Двумерное нормальное распределение, $n = 100$ .....	6
4	Смесь нормальных распределений .....	6

### 3 Постановка задачи

Сгенерировать двумерные выборки размерами 20, 60, 100 для двумерного нормального распределения  $N(x, y, 0, 0, 1, 1, \rho)$ .

Коэффициент корреляции  $\rho$  взять равным 0, 0.5, 0.9.

Каждая выборка генерируется 1000 раз и для неё вычисляются: среднее значение, среднее значение квадрата и дисперсия коэффициентов корреляции Пирсона, Спирмена и квадрантного коэффициента корреляции. Повторить все вычисления для смеси нормальных распределений:

$$f(x, y) = 0.9N(x, y, 0, 0, 1, 1, 0.9) + 0.1N(x, y, 0, 0, 10, 10, -0.9) \quad (1)$$

Изобразить сгенерированные точки на плоскости и нарисовать эллипс равновероятности.

### 4 Теория

1. Двумерное нормально распределение:

$$N(x, y, \bar{x}, \bar{y}, \sigma_x, \sigma_y, \rho) = \frac{1}{2\pi\sigma_x\sigma_y\sqrt{1-\rho^2}} \times \\ \times \exp\left(-\frac{1}{2(1-\rho^2)}\left[\frac{(x-\bar{x})^2}{\sigma_x^2} - 2\rho\frac{(x-\bar{x})(y-\bar{y})}{\sigma_x\sigma_y} + \frac{(y-\bar{y})^2}{\sigma_y^2}\right]\right) \quad (2)$$

2. Коэффициент корреляции Пирсона:

$$r = \frac{\frac{1}{n} \sum (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\frac{1}{n} \sum (x_i - \bar{x})^2 \frac{1}{n} \sum (y_i - \bar{y})^2}} \quad (3)$$

3. Квадрантный коэффициент корреляции:

$$r_Q = \frac{(n_1 + n_3) - (n_2 + n_4)}{n} \quad (4)$$

где  $n_1, n_2, n_3, n_4$  – количества точек с координатами  $(x_i, y_i)$ , попавшими соответственно в I, II, III и IV квадранты декартовой системы с осями  $x' = x - medx, y' = y - medy$  и с центром в точке с координатами  $(medx, medy)$

4. Коэффициент корреляции Спирмана:

$$r_S = \frac{\frac{1}{n} \sum (u_i - \bar{u})(v_i - \bar{v})}{\sqrt{\frac{1}{n} \sum (u_i - \bar{u})^2 \frac{1}{n} \sum (v_i - \bar{v})^2}} \quad (5)$$

где  $u$  и  $v$  – ранги, соответствующие значениям переменной  $X$  и  $Y$  соответственно.

### 5 Реализация

Работы была выполнена на языке *Python3.8.2* Для генерации выборок использовался модуль *stats* библиотеки *scipy*. Для построения графиков использовалась библиотека *matplotlib*.

## 6 Результаты

Таблица 1: Двумерное нормальное распределение,  $n = 20$

$\rho = 0$	Pearson	Spearman	Quad
$E(z)$	0.009	0.001	0.004
$E(z^2)$	0.05	0.05	0.05
$D(z)$	0.05	0.05	0.05
$\rho = 0.5$	Pearson	Spearman	Quad
$E(z)$	0.49	0.46	0.32
$E(z^2)$	0.27	0.25	0.15
$D(z)$	0.03	0.03	0.05
$\rho = 0.9$	Pearson	Spearman	Quad
$E(z)$	0.893	0.865	0.69
$E(z^2)$	0.801	0.754	0.5
$D(z)$	0.003	0.05	0.03

Таблица 2: Двумерное нормальное распределение,  $n = 60$

$\rho = 0$	Pearson	Spearman	Quad
$E(z)$	-0.003	-0.004	-0.0004
$E(z^2)$	0.02	0.2	0.02
$D(z)$	0.02	0.02	0.02
$\rho = 0.5$	Pearson	Spearman	Quad
$E(z)$	0.497	0.47	0.33
$E(z^2)$	0.257	0.24	0.13
$D(z)$	0.009	0.01	0.02
$\rho = 0.9$	Pearson	Spearman	Quad
$E(z)$	0.8984	0.883	0.706
$E(z^2)$	0.8078	0.782	0.508
$D(z)$	0.0007	0.001	0.009

Таблица 3: Двумерное нормальное распределение,  $n = 100$

$\rho = 0$	Pearson	Spearman	Quad
$E(z)$	-0.004	-0.004	-0.001
$E(z^2)$	0.01	0.01	0.01
$D(z)$	0.01	0.01	0.01
$\rho = 0.5$	Pearson	Spearman	Quad
$E(z)$	0.499	0.481	0.329
$E(z^2)$	0.254	0.237	0.118
$D(z)$	0.005	0.006	0.009
$\rho = 0.9$	Pearson	Spearman	Quad
$E(z)$	0.8981	0.8841	0.708
$E(z^2)$	0.8071	0.7823	0.506
$D(z)$	0.0004	0.0007	0.004

Таблица 4: Смесь нормальных распределений

$n = 20$	Pearson	Spearman	Quad
$E(z)$	-0.09	-0.09	-0.06
$E(z^2)$	0.05	0.06	0.06
$D(z)$	0.05	0.05	0.05
$n = 60$	Pearson	Spearman	Quad
$E(z)$	-0.09	-0.004	-0.06
$E(z^2)$	0.03	0.02	0.02
$D(z)$	0.02	0.02	0.02
$n = 100$	Pearson	Spearman	Quad
$E(z)$	-0.094	-0.079	-0.06
$E(z^2)$	0.018	0.016	0.01
$D(z)$	0.009	0.009	0.01

Рис. 1: Графики двумерного нормального распределения и смеси для размера выборки  $n = 20$

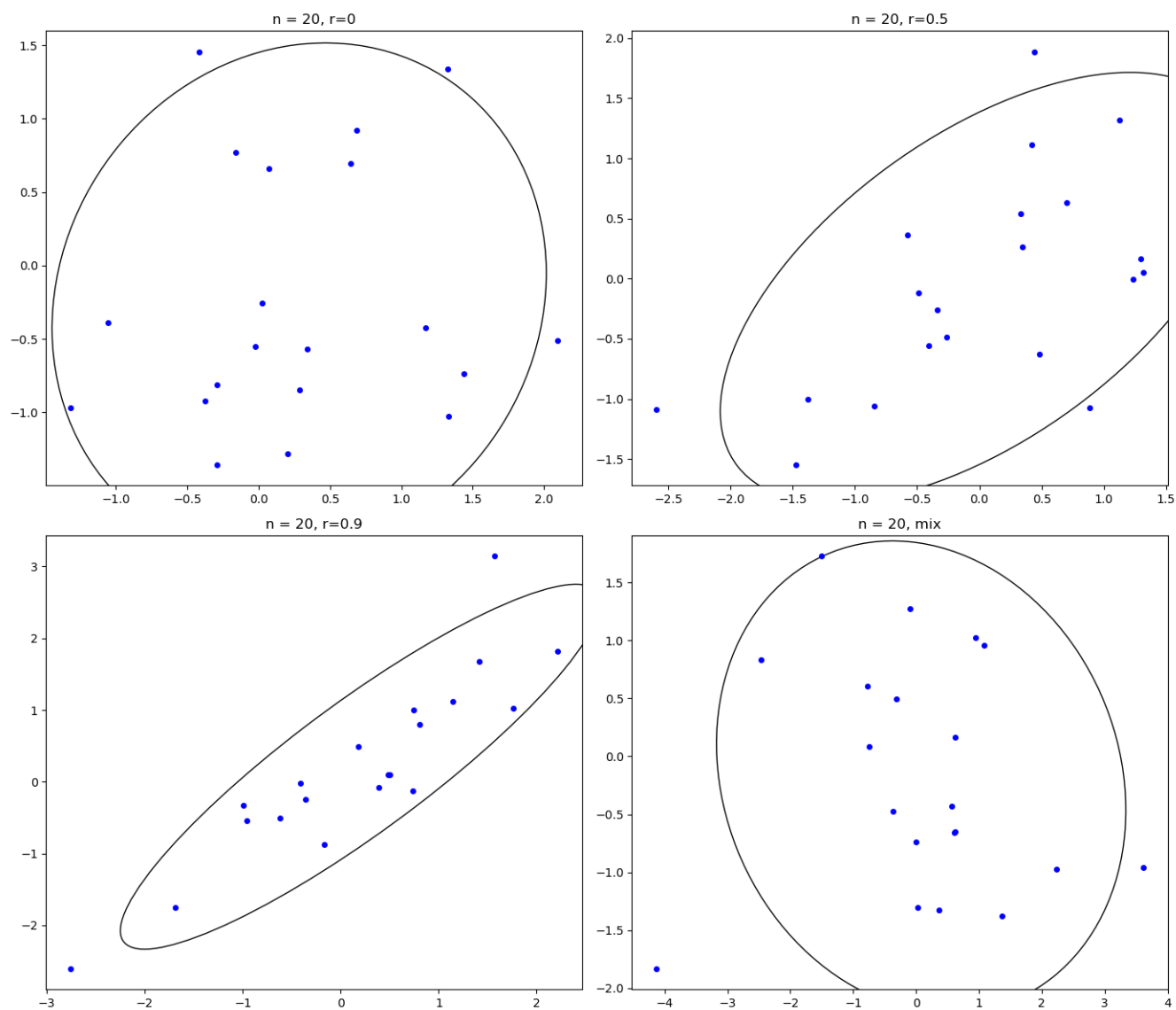


Рис. 2: Графики двумерного нормального распределения и смеси для размера выборки  $n = 60$

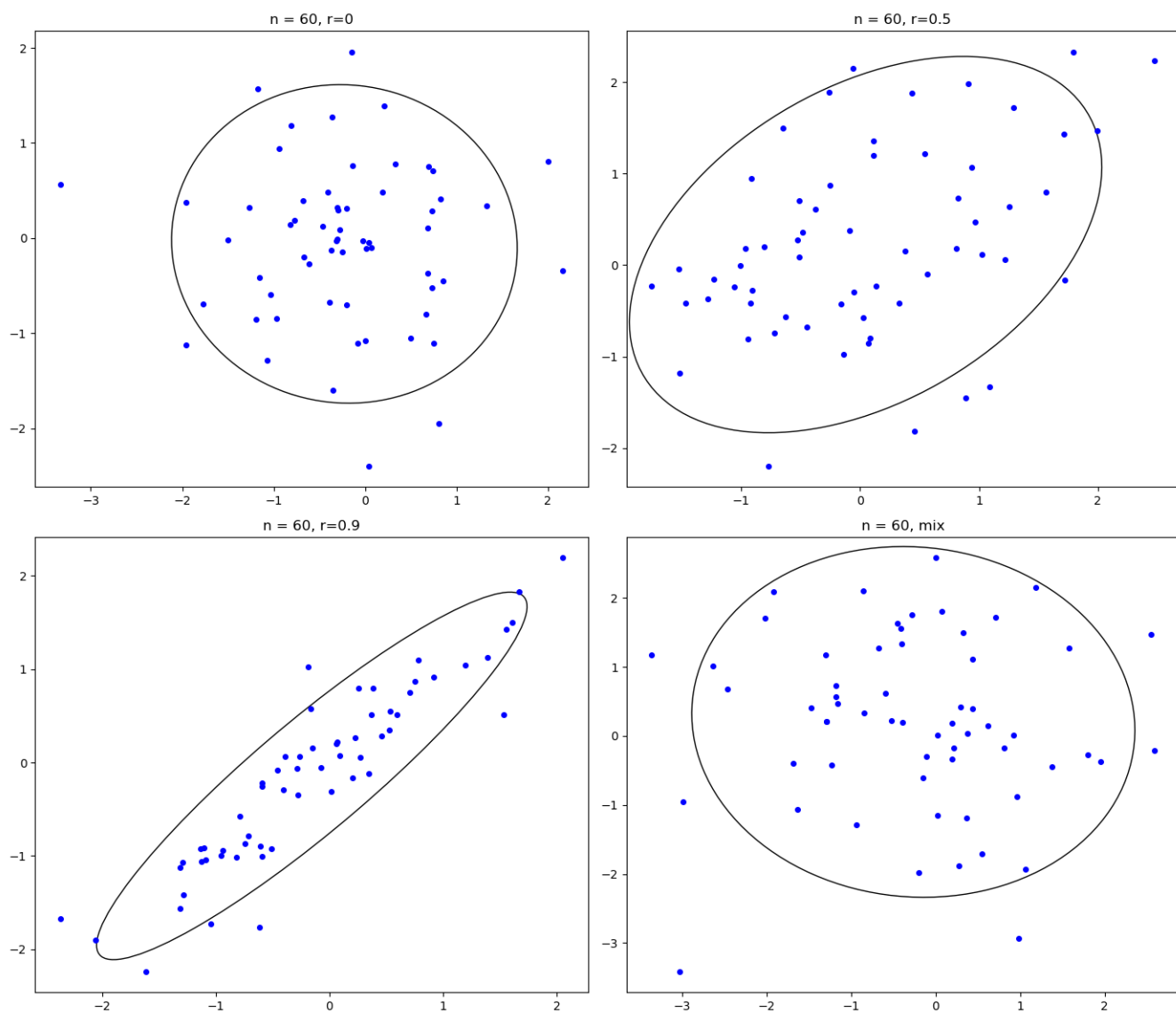




Рис. 3: Графики двумерного нормального распределения и смеси для размера выборки  $n = 100$

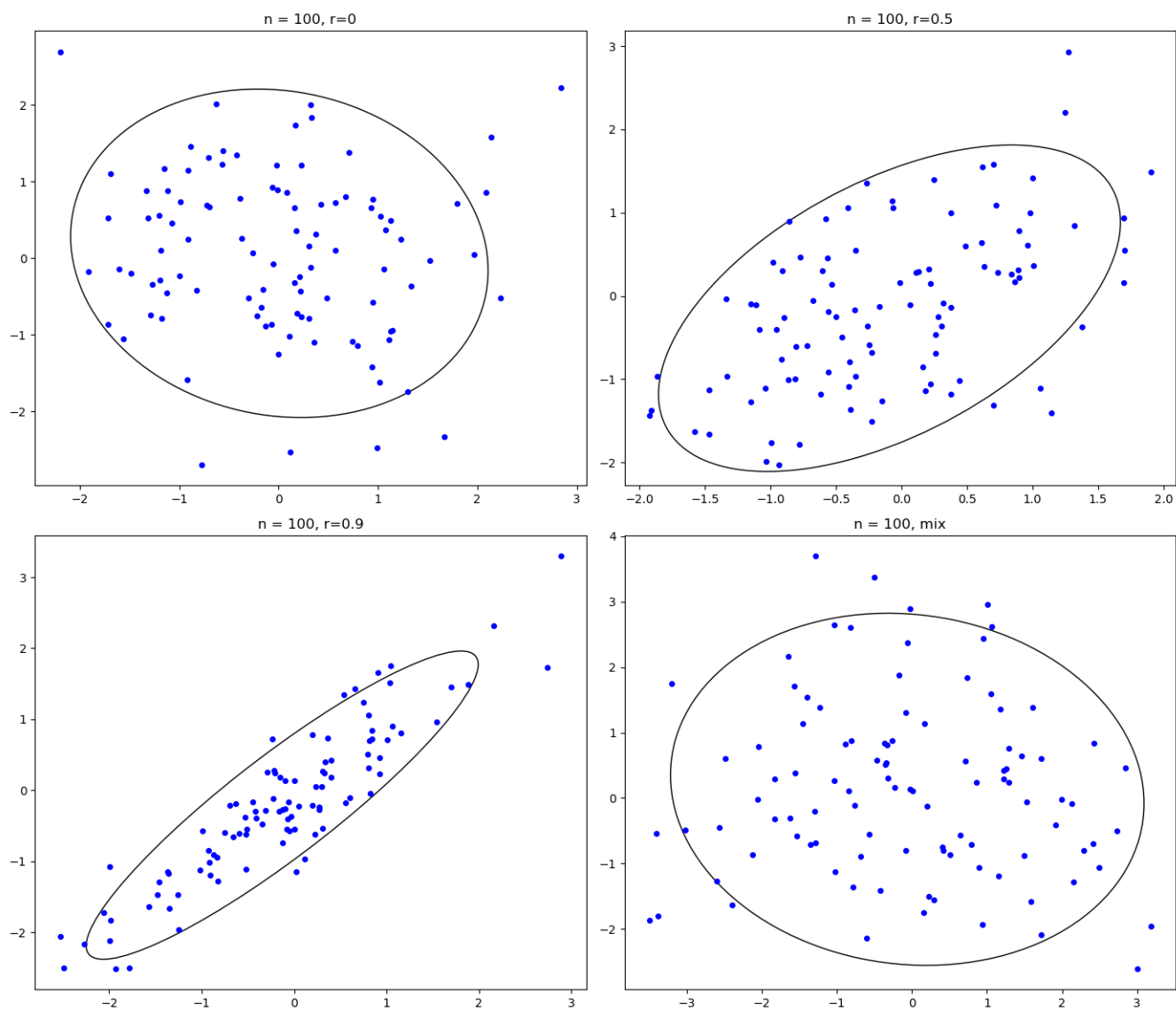


Рис. 4: Графики эллипса рассеивания для двумерного нормального распределения для 2 точек

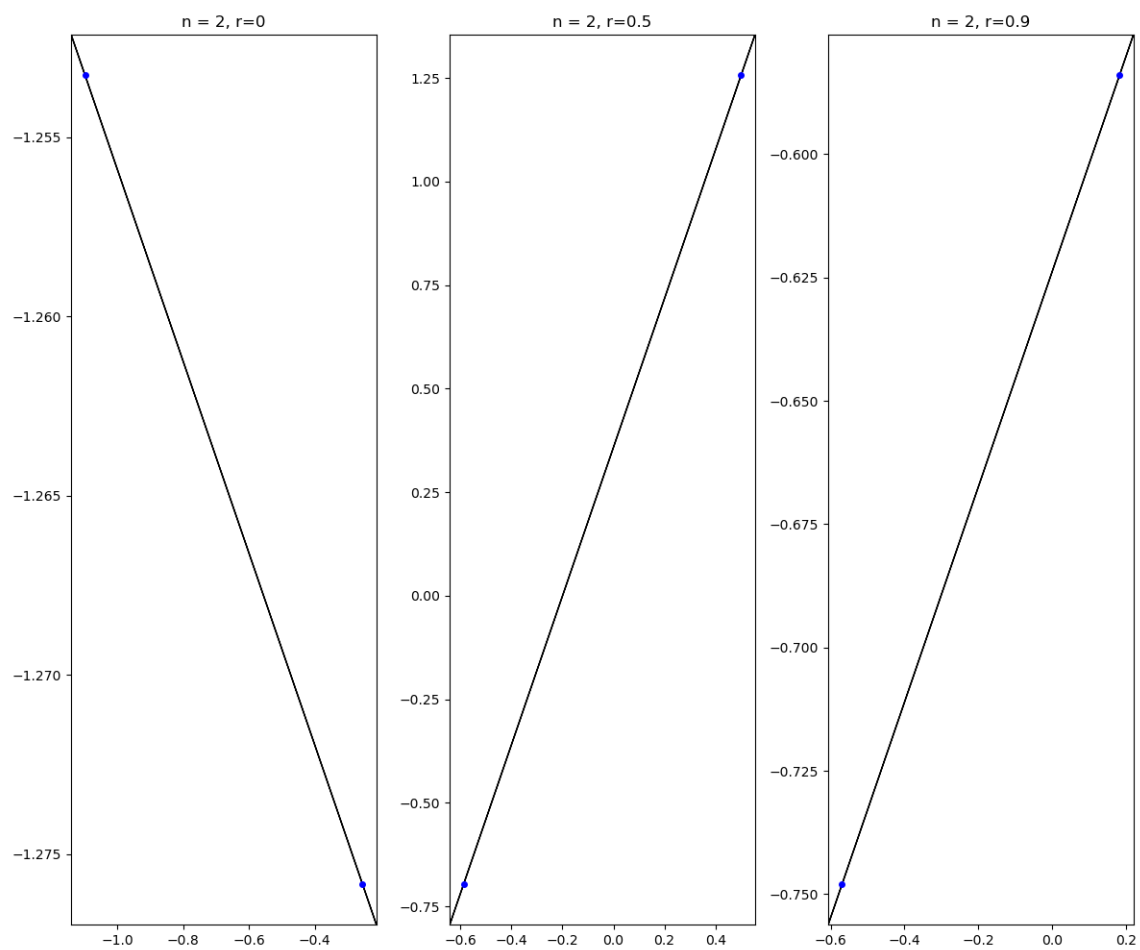
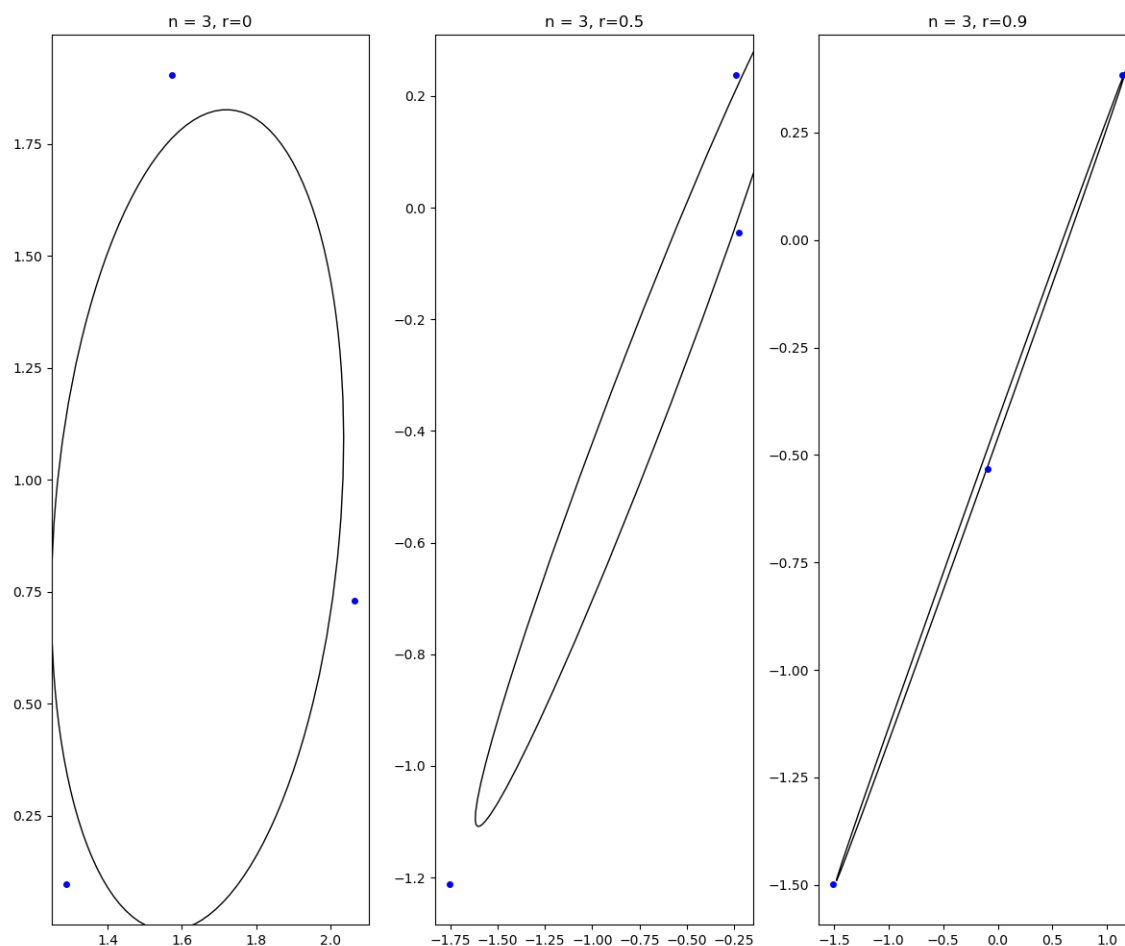


Рис. 5: Графики эллипса рассеивания для двумерного нормального распределения для 3 точек



## 7 Выводы

По графикам, видно, что, при увеличении объёма выборки, подсчитанные коэффициенты корреляции стремятся к теоретическим.

Ближе всего к теоретическому коэффициенту корреляции находится коэффициент Пирсона.

По графикам также видно, что при уменьшении корреляции эллипс равновероятности стремится к окружности, а при увеличении растягивается, стремясь к прямой.

Из графиков наглядно видно, что для построения эллипса рассеивания необходимое минимальное число событий в выборке – 3 события, так как 2 точки (2 события) вырождаются в прямую линию ( для 2 точек мы всегда можем перейти в систему координат, где у одной из компонент вектора  $(x,y)$  будет 0 мат. ожидание и 0 дисперсия, то есть переходим в одномерный случай).

## 8 Литература

[Модуль nupru](#)

[Модуль matplotlib](#)

[Модуль scipy](#)

## **9 Приложения**

[Код лабораторной](#)