

# **Математическая статистика**

## Домашняя работа № 2

### Основные понятия математической статистики

Попов Юрий, СКБ-172

## ОГЛАВЛЕНИЕ

<b>Задание 2.1 Моделирование выбранных случайных величин .....</b>	<b>3</b>
2.1.1 Геометрическое распределение .....	3
2.1.2 Экспоненциальное распределение .....	3
<b>Задание 2.2 Построение эмпирической функции распределения.....</b>	<b>4</b>
2.2.1 Геометрическое распределение .....	4
2.2.2 Экспоненциальное распределение .....	7
<b>Задание 2.3 Построение вариационного ряда выборки .....</b>	<b>9</b>
2.3.1 Геометрическое распределение .....	10
2.3.2 Экспоненциальное распределение .....	12
<b>Задание 2.4 Построение гистограммы и полигон частот .....</b>	<b>13</b>
2.4.1 Геометрическое распределение .....	13
2.4.2 Экспоненциальное распределение .....	16

# Предисловие

Все графики, которые в дальнейшем будут вставлены в эту работу, были сконструированы с помощью различных библиотек, основные которые - это `matplotlib` и `pympl` в Jupyter Notebook

К работе приложены 2 основных файла: `DZ_2_Geom` и `DZ_2_Exp`, в которых указаны расчеты соответственно геометрического и экспоненциального распределения

Также есть файл `get_quantile_geom`, в котором расписан процесс нахождения квантиля.

Большая часть определений, которые представлены в этой работы взять с лекций нашего курса.

Также некоторые определения взяты из источника Г.И. Ивченко, Ю.И. Медведев "Введение в математическую статистику"

## **Задание 2.1** Моделирование выбранных случайных величин

### **Реализация выборки**

**Определение 1.** Реализация выборки - это набор из  $n$  наблюдений  $\hat{x} = (x_1, x_2, \dots, x_n)$

#### **2.1.1 Геометрическое распределение**

Используя итоговый из задания 1 для моделирования случайных величин, подчиняющихся геометрическому распределению, были построены по 5 реализаций выборок различных объемов (5, 10, 100, 1000,  $10^{**}5$ )

Вот, пример по 5 реализаций выборки объема 5 и 10 соответственно:

Реализация выборки объема 5:

1): [5, 3, 14, 0, 1]  
2): [8, 7, 13, 13, 5]  
3): [5, 0, 4, 31, 0]  
4): [21, 13, 2, 3, 8]  
5): [3, 8, 3, 20, 2]

Рис. 1:  $n = 5$

Реализация выборки объема 10:

1): [6, 29, 1, 4, 19, 0, 4, 3, 6, 3]  
2): [2, 18, 10, 2, 4, 5, 12, 17, 5, 4]  
3): [6, 16, 5, 1, 2, 0, 25, 12, 11, 6]  
4): [9, 1, 9, 3, 23, 11, 28, 5, 5, 12]  
5): [27, 14, 2, 6, 8, 8, 9, 25, 0, 18]

Рис. 2:  $n = 10$

#### **2.1.2 Экспоненциальное распределение**

Используя итоговый из задания 1 для моделирования случайных величин, подчиняющихся геометрическому распределению, были построены по 5 реализаций выборок различных объемов (5, 10, 100, 1000,  $10^{**}5$ )

Вот, пример по 5 реализаций выборки объема 5 и 10 соответственно:

Реализация выборки экспоненциального распределени объема 5:

1): [6.8, 8.87, 4.05, 7.33, 8.5]  
2): [2.47, 4.11, 8.82, 12.82, 2.63]  
3): [21.41, 5.13, 14.58, 14.41, 1.86]  
4): [26.62, 5.43, 25.14, 4.77, 6.53]  
5): [14.35, 1.79, 4.8, 2.95, 2.96]

Рис. 3:  $n = 5$

Реализация выборки экспоненциального распределени объема 10:

1): [13.09, 1.96, 2.08, 3.38, 6.32, 10.56, 19.55, 4.73, 1.99, 5.26]  
2): [8.61, 12.9, 12.63, 2.0, 13.55, 24.12, 2.99, 10.89, 0.94, 5.52]  
3): [14.83, 0.92, 6.12, 10.23, 9.63, 11.85, 1.71, 2.68, 2.23, 1.92]  
4): [30.82, 3.75, 4.27, 4.03, 4.74, 12.96, 0.34, 12.99, 10.11, 9.32]  
5): [6.34, 3.49, 8.41, 34.44, 2.45, 1.67, 8.66, 6.01, 23.6, 1.64]

Рис. 4:  $n = 10$

## **Задание 2.2** Построение эмпирической функции распределения

### **Эмпирическая функция распределения**

**Определение 2.** Для произвольного числа  $x \in R$  рассмотрим случайную величину

$$\mu_n(x) = \sum_{i=1}^n \text{Ind}(X_i \leq x)$$

равную числу элементов выборки меньших или равных  $x$ . Тогда функция  $\hat{F}(x) = \frac{\mu_n(x)}{n}$  называется *эмпирической функцией распределения* (э.ф.р)

Эмпирическая функция распределения принимает значения  $\{0, \frac{1}{n}, \frac{2}{n}, \dots, \frac{n}{n}\}$

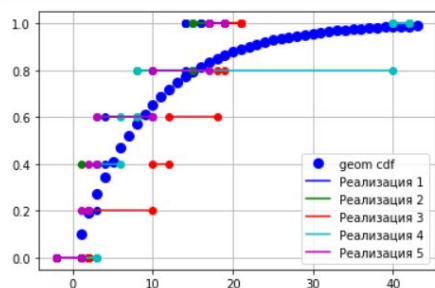
$$P(\hat{F}(x) = \frac{k}{n}) = C_k^m F^k(x)(1 - F(x))^{n-k}$$

#### **2.2.1 Геометрическое распределение**

Для каждой выборки построим эфр. На каждом графике приведены графики э.ф.р 5 реализаций одинакового объема, а также график функции распределения, помеченный синим цветом. Для его построения использовался модуль `scipy.stats`

Эфр для выборки объема 5:

```
In [118]: make_cdf(0.1)
make_efr(M, 5)
```

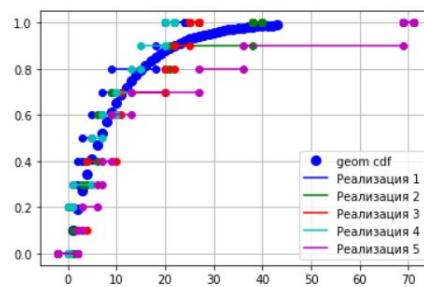


a)

Эфр для выборки объема 10:

```
In [119]: M = make_vibor(10)
```

```
In [120]: make_cdf(0.1)
make_efr(M, 10)
```

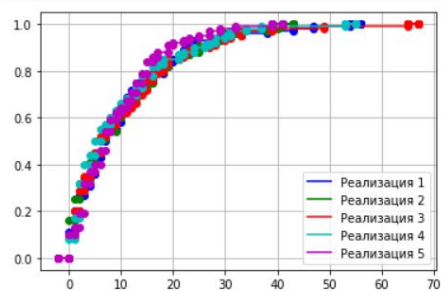


b)

Эфр для выборки объема 100:

```
In [121]: M = make_vibor(100)
```

```
In [122]: make_efr(M, 100)
```

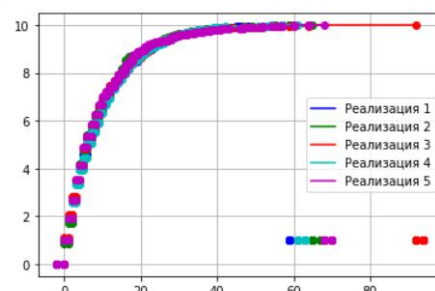


c)

Эфр для выборки объема 1000:

```
In [123]: M = make_vibor(1000)
```

```
In [124]: make_efr(M, 100)
```

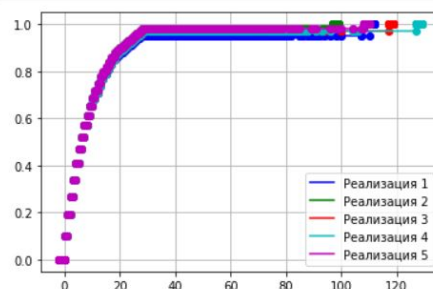


d)

Эфр для выборки объема 10\*\*5:

```
In [125]: M = make_vibor(10**5)
```

```
In [126]: make_efr(M, 10**5)
```



e)

Теперь найдем точную верхнюю границу разности каждой пары эмпирических функций распределения:

Для этого выберет какое-то значение на оси  $x$  (например  $x = 4$ ), и посмотри чему равно  $f(x)$  э.ф.р для данного икса.

Приведем результаты для выборок различного объема:

Для  $n = 5$ :

```
M = make_vibor(5)
```

```
upper_limit(M, 5, 4)
```

Точная верхняя граница выборки объема 5: 0.2

$n = 5$

Для  $n = 100$ :

```
M = make_vibor(100)
```

```
upper_limit(M, 100, 4)
```

Точная верхняя граница выборки объема 100: 0.15999999999999998

$n = 100$

Для  $n = 10^5$ :

```
M = make_vibor(10**5)
```

```
upper_limit(M, 10**5, 4)
```

Точная верхняя граница выборки объема 100000: 0.07

$n = 100000$

Для  $n = 10$ :

```
M = make_vibor(10)
```

```
upper_limit(M, 10, 4)
```

Точная верхняя граница выборки объема 10: 0.3

$n = 10$

Для  $n = 1000$ :

```
M = make_vibor(1000)
```

```
upper_limit(M, 1000, 4)
```

Точная верхняя граница выборки объема 1000: 0.08000000000000007

$n = 1000$

### 2.2.2 Экспоненциальное распределение

Для каждой выборки построим эфр. На каждом графике приведены графики э.ф.р 5 реализаций одинакового объема, а также график функции распределения, помеченный синим цветом. Для его построения использовался модуль `scipy.stats`

Теперь найдем точную верхнюю границу разности каждой пары эмпирических функций распределения:

Для этого выберет какое-то значение на оси  $x$  (например  $x = 4$ ), и посмотри чему равно  $f(x)$  э.ф.р для данного  $x$ .

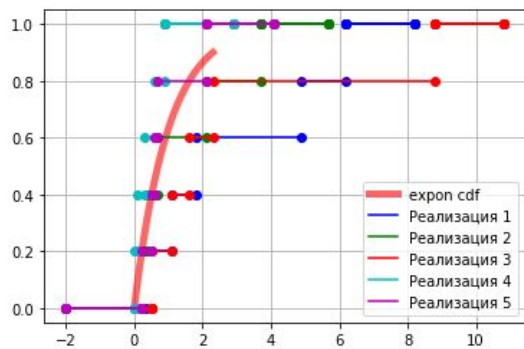
Приведем результаты для выборок различного объема:



Эфр для выборки объема 5:

```
M = make_vibor_exp(0.8, 5)
make_cdf_expon()
make_efr_expon(M, 5)
```

[ ]

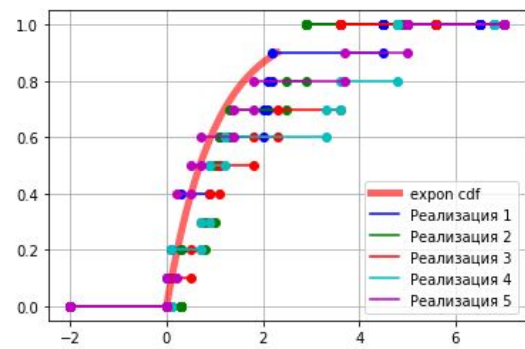


a)

Эфр для выборки объема 10:

```
M = make_vibor_exp(0.8, 10)
make_cdf_expon()
make_efr_expon(M, 10)
```

[ ]

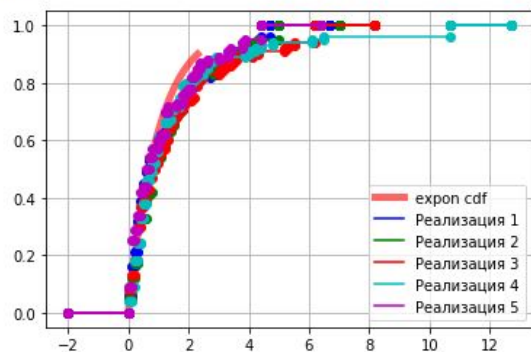


b)

Эфр для выборки объема 100:

```
M = make_vibor_exp(0.8, 100)
make_cdf_expon()
make_efr_expon(M, 100)
```

[ ]

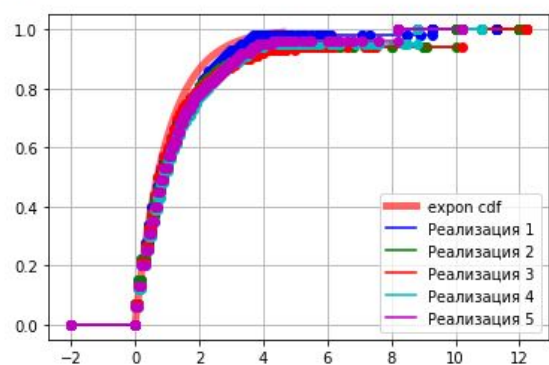


c)

Эфр для выборки объема 1000:

```
M = make_vibor_exp(0.8, 1000)
make_cdf_expon()
make_efr_expon(M, 1000)
```

[ ]

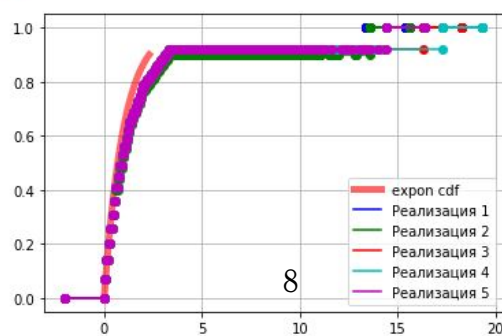


d)

Эфр для выборки объема  $10^{**}5$ :

```
M = make_vibor_exp(0.8, 10**5)
make_cdf_expon()
make_efr_expon(M, 10**5)
```

[ ]



e)

Для n = 5:

```
M = make_vibor_exp(0.8, 5)
upper_limit_expon(M, 5, 4)
```

Точная верхняя граница выборки объема 5: 0.2

n = 5

Для n = 100:

```
M = make_vibor_exp(0.8, 100)
upper_limit_expon(M, 100, 4)
```

Точная верхняя граница выборки объема 100: 0.04

n = 100

Для n = 10:

```
M = make_vibor_exp(0.8, 10)
upper_limit_expon(M, 10, 4)
```

Точная верхняя граница выборки объема 10: 0.1

n = 10

Для n = 1000:

```
M = make_vibor_exp(0.8, 1000)
upper_limit_expon(M, 1000, 4)
```

Точная верхняя граница выборки объема 1000: 0.03

n = 1000

Для n = 10\*\*5:

```
M = make_vibor_exp(0.8, 10**5)
upper_limit_expon(M, 10**5, 4)
```

Точная верхняя граница выборки объема 100000: 0.01

n = 100000

### **Задание 2.3** Построение вариационного ряда выборки

#### **Вариационный ряд выборки**

**Определение 3.** Пусть есть

$$\vec{X} = (X_1, \dots, X_n),$$

где  $X_i, i = \overline{1, n}$  — независимые одинаково распределенные случайные величины из распределения  $\xi$ . И  $\vec{x} = (x_1, \dots, x_n)$  является реализацией имеющейся выборки  $\vec{X}$ . Отсортируем вектор  $\vec{x}$  по возрастанию:

$$x_{(1)} \leq x_{(2)} \leq \dots \leq x_{(n)}$$

Тогда  $x_{(1)} = \min(x_1, x_2, \dots, x_n)$ , а  $x_{(n)} = \max(x_1, x_2, \dots, x_n)$ . Через  $X_{(i)}$  обозначают случайную величину, которая для каждой реализации выборки принимает значение  $X_{(i)}$ . Вектор  $(X_{(1)}, X_{(2)}, \dots, X_{(n)})$  называют вариационным рядом выборки.

#### **Квантиль**

**Определение 4.** Квантилью уровня  $\alpha \in (0, 1)$  функции распределения  $F(x)$  называется величина  $\zeta_\alpha = \sup\{x : F(x) \leq p\} = F^{-1}(p)$ .

#### **Выборочный квантиль**

**Определение 5.** *Выборочными квантилями* называют квантили выборочного распределения.

### 2.3.1 Геометрическое распределение

Для каждой выборки построим вариационный ряд. Вот, примеры вариационных рядов для выборок объема  $n = 5$  и для  $n = 10$ :

Вариационные ряды для 5 реализаций выборки, объема 5:

X:	0	1	5	15
f:	1	2	1	1

X:	0	2	6	9	25
f:	1	1	1	1	1

X:	1	4	5	7	8
f:	1	1	1	1	1

X:	0	8	13	17	21
f:	1	1	1	1	1

X:	0	1	3	7	18
f:	1	1	1	1	1

Рис. 5:  $n = 5$

Вариационные ряды для 5 реализаций выборки, объема 10:

X:	0	1	2	5	7	14	16	19	39
f:	1	1	1	2	1	1	1	1	1

X:	0	1	2	3	6	8	23
f:	1	4	1	1	1	1	1

X:	0	1	2	3	6	9	12	13	15	33
f:	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

X:	0	1	3	5	16	28
f:	4	2	1	1	1	1

X:	0	1	3	4	5	6	8	12	17
f:	1	1	1	2	1	1	1	1	1

Рис. 6:  $n = 10$

Перейдем к нахождению выборочной квантили.

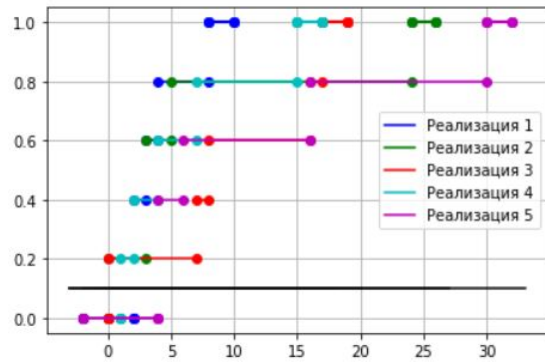
Поясним простыми словами на примере уровня квантиля 0.1, что такое выборочная квантиль:

Выборочная квантиль уровня 0,1 - это точка, левее которой (включая её саму) лежит не менее 10% всей выборки, и правее которой (снова включая её саму) - не менее  $100\% - 10\% = 90\%$  выборки.

Будем искать выборочную квантиль графическим способом: проведем прямую  $y$  =(уровень квантиля) до пересечения с графиком. И определим  $x$ , при котором прямая пересекает график. Если точка пересечения одна, то именно это значения  $x$  и будет выборочной квантиль. А если пересечение проходит по отрезку, то квантилей будет много. Например, если отрезок от 3 до 4 является прямой  $y$ , то квантилью будет любое число от 3 до 4. Для определённости в практической статистике в таких случаях выбирают по какому-то правилу одно из чисел "отрезка квантилей". Например, середину отрезка - в данном случае 3,5.

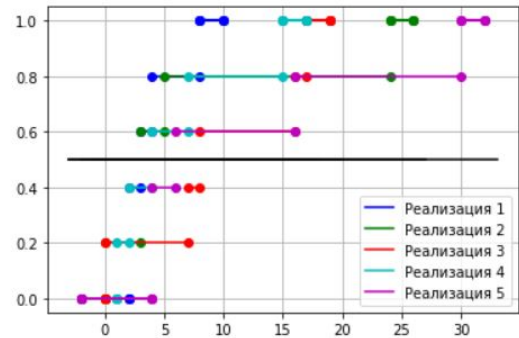
Ниже показано в первой строчке расчет выборочной квантильи уровня 0.1, 0.5, 0.7, а затем графическое представление для геометрического распределения. Жирной, серой чертой как раз и проведена линия уровня, по которой мы находим квантиль

Квантиль уровня 0.1 : 1.9



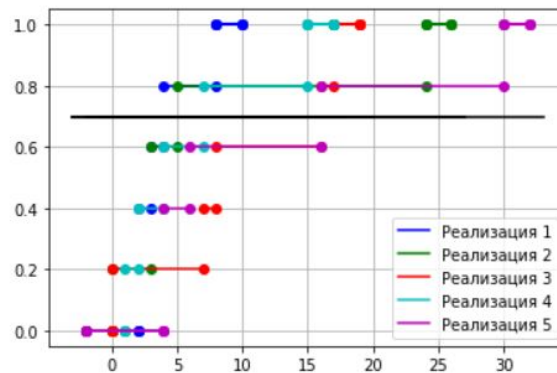
$a = 0.1$

Квантиль уровня 0.5 : 7.0



$a = 0.5$

Квантиль уровня 0.7 : 7.6



$a = 0.7$

### 2.3.2 Экспоненциальное распределение

Для каждой выборки построим вариационный ряд. Вот, примеры вариационных рядов для выборок объема  $n = 5$  и для  $n = 10$ :

Вариационные ряды для 5 реализаций выборки, объема 5:

X:	0.0	0.4	0.7	1.9	3.8
f:	1	1	1	1	1
X:	0.9	1.1	2.0	11.7	
f:	1	1	2	1	
X:	0.1	0.2	0.4	1.2	2.2
f:	1	1	1	1	1
X:	0.3	0.5	0.7	2.6	
f:	1	1	2	1	
X:	0.2	0.3	0.5	0.9	1.1
f:	1	1	1	1	1

Рис. 7:  $n = 5$

Вариационные ряды для 5 реализаций выборки, объема 10:

X:	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.8	0.9	1.2
f:	1	1	1	1	2	1	1	1	1
X:	0.2	0.6	0.8	1.0	1.7	1.8	2.0	3.2	
f:	1	2	1	1	1	2	1	1	
X:	0.3	0.4	0.7	1.0	1.6	2.0	2.2	2.4	3.1
f:	1	1	1	2	1	1	1	1	1
X:	0.2	0.3	0.6	0.9	1.2	1.4	1.5	1.7	2.5
f:	1	1	1	1	1	1	1	1	1
X:	0.1	0.2	0.3	1.3	1.5	3.1	3.6		
f:	1	1	4	1	1	1	1		

Рис. 8:  $n = 10$

## Задание 2.4 Построение гистограммы и полигон частот

### Гистограмма

**Определение 4.** Для непрерывной случайной величины  $\xi$ , обладающей непрерывной плотностью  $f(x)$ , также можно построить по соответствующей выборке  $X = (X_1, \dots, X_n)$  статистический аналог  $\hat{f}_n(x)$  для плотности  $f(x)$ , который называется *гистограммой*

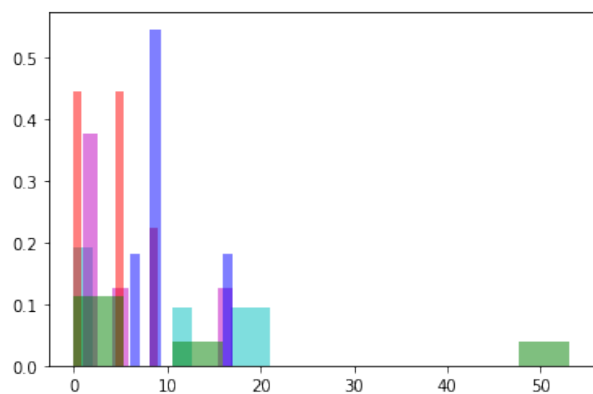
### Полигон частот

**Определение 5.** Наряду с гистограммой, в качестве приближения для неизвестной теоретической плотности  $f(x)$  можно использовать кусочно-линейный график, называемый *полигоном частот*, и который строится так: если построена гистограмма  $\hat{f}_n(x)$ , то ординаты, соответствующие серединам интервалов группировки, последовательно соединяют отрезками прямых.

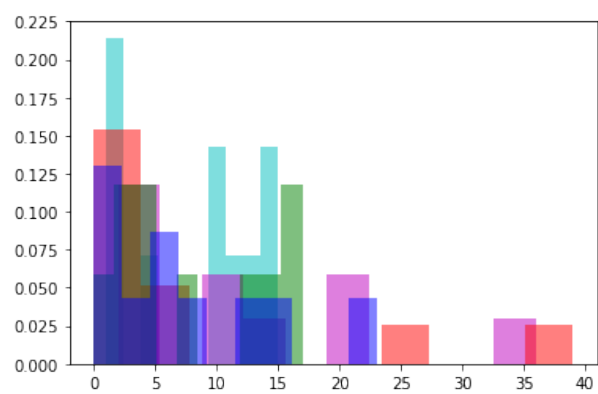
## 2.4.1 Геометрическое распределение

Ниже представлены гистограммы частот для геометрического распределения:

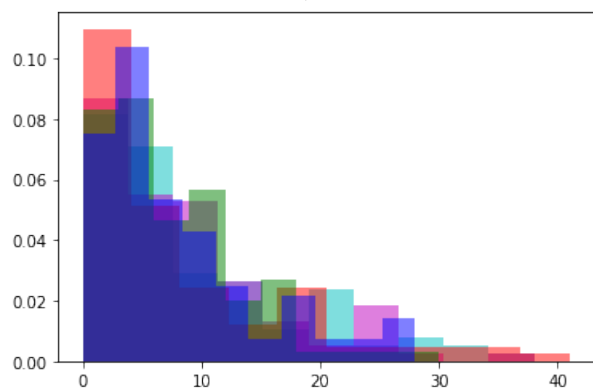
Ниже представлены полигоны частот для геометрического распределения:



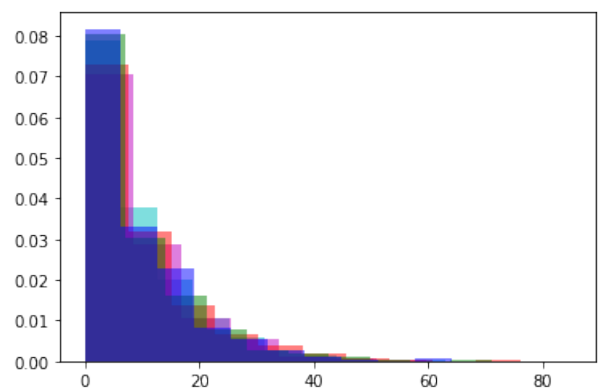
a)



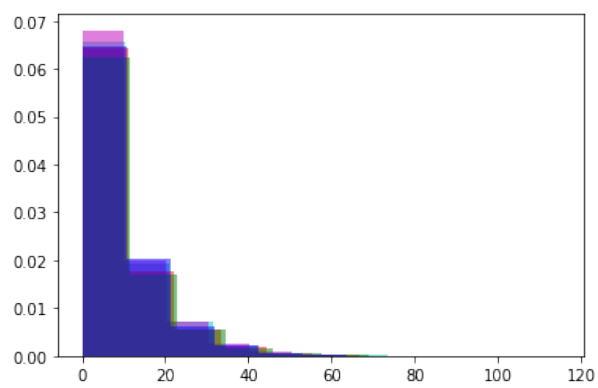
b)



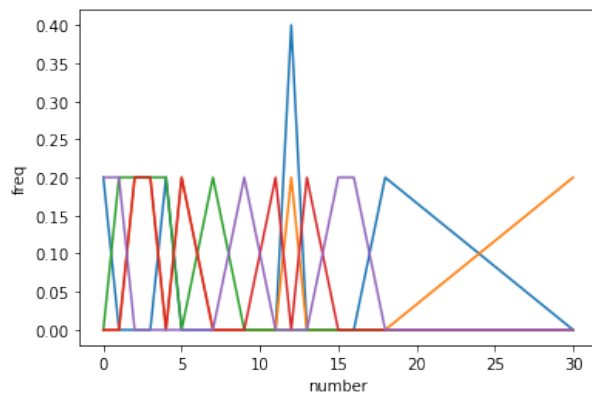
c)



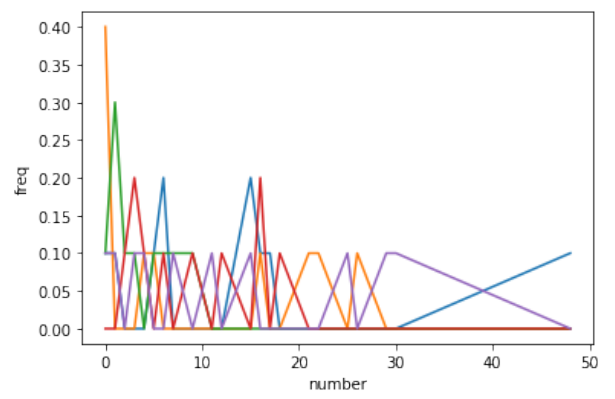
d)



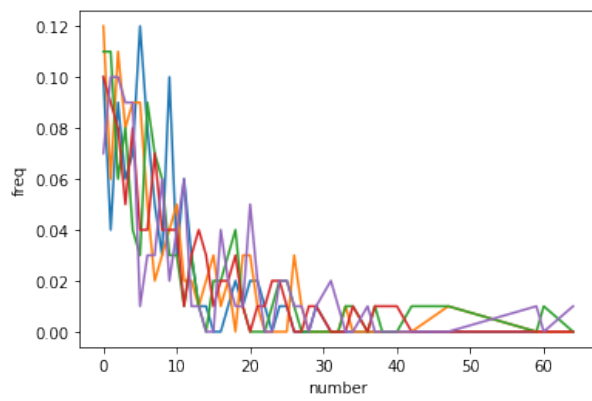
e)



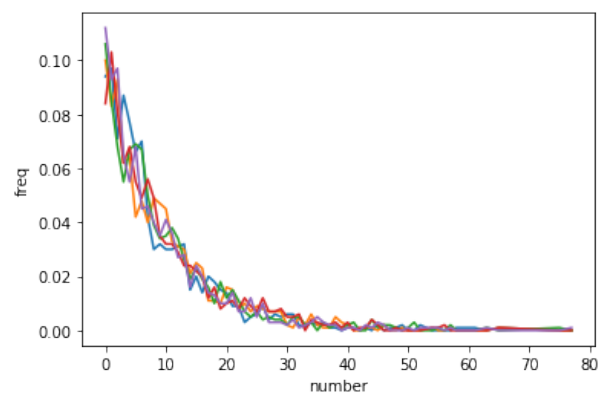
a)



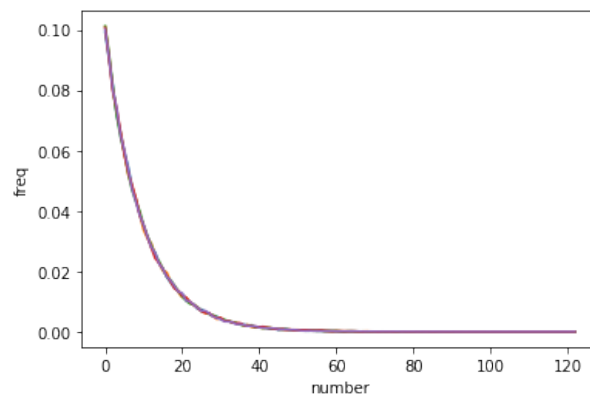
b)



c)



d)

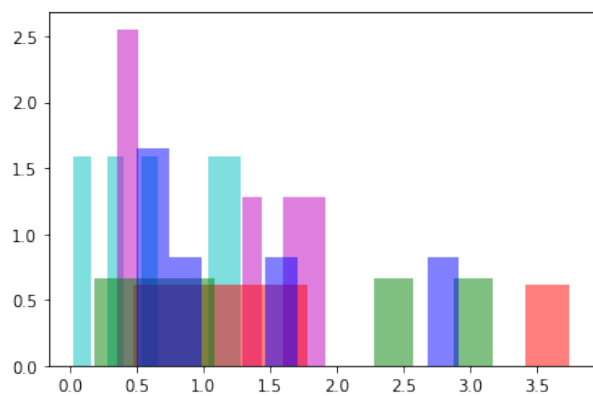


e)

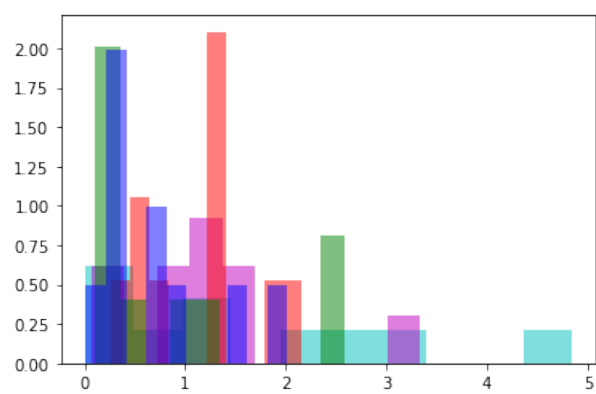


### **2.4.2 Экспоненциальное распределение**

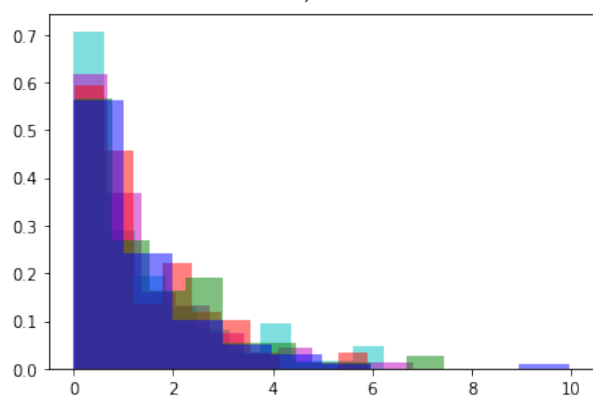
Ниже представлены гистограммы частот для экспоненциального распределения:



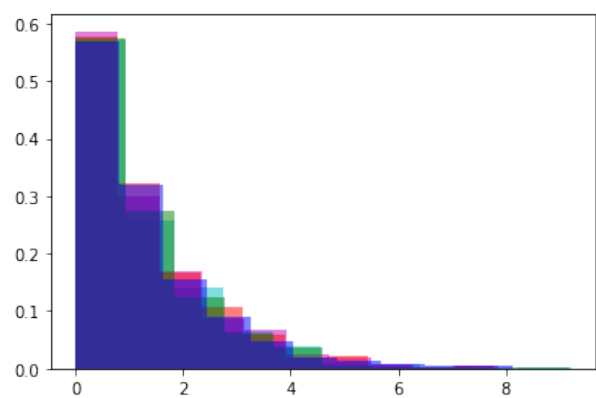
a)



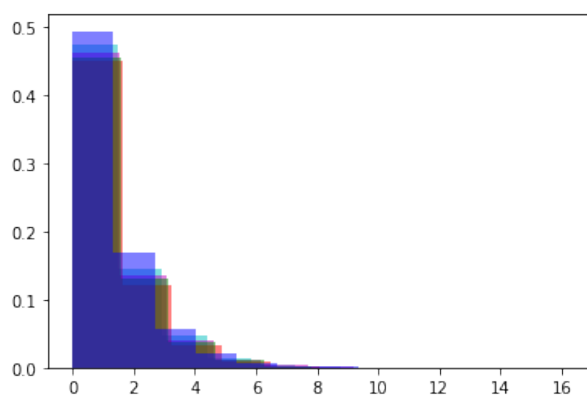
b)



c)

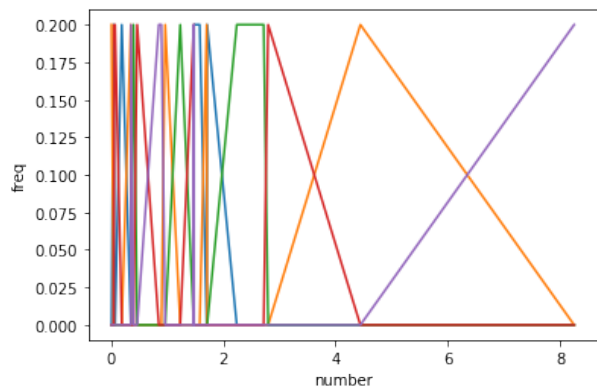


d)

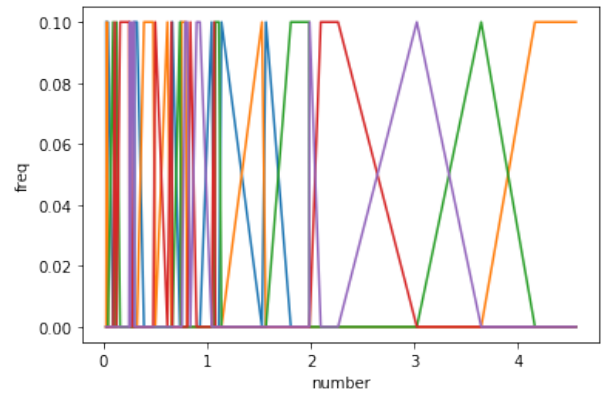


e)

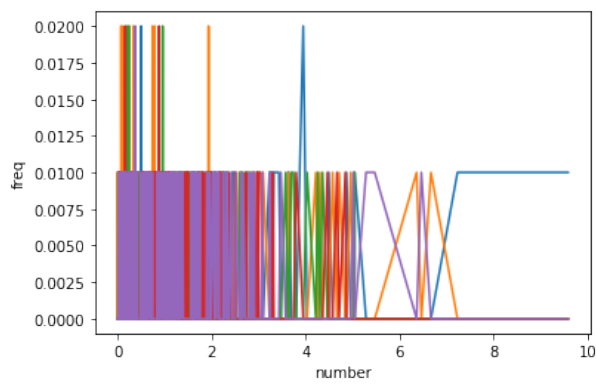
Ниже представлены полигоны частот для экспоненциального распределения:



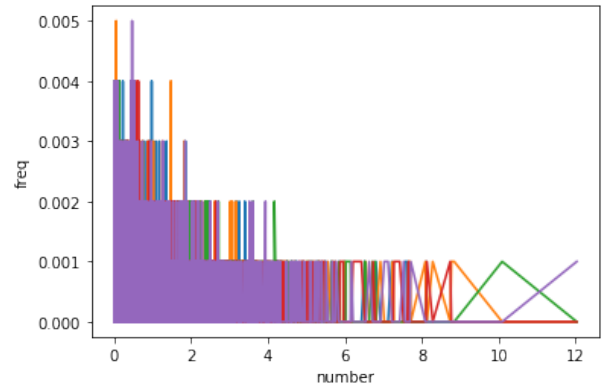
a)



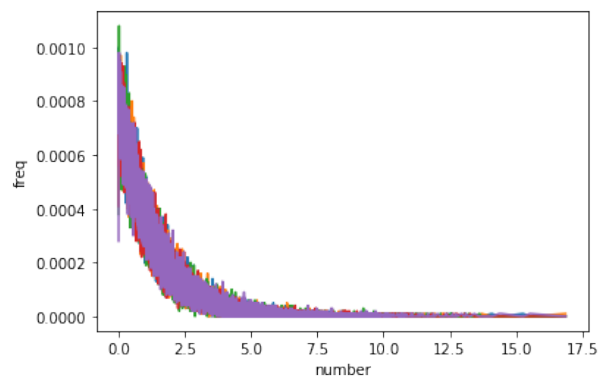
b)



c)



d)



e)

## Литература

- [1]
- [2] [ссылка1](#)
- [3] [ссылка2](#)
- [4] [// ссылка3](#)
- [5] [// ссылка4](#)