

**Федеральное государственное образовательное  
бюджетное учреждение  
высшего образования**

**«ФИНАНСОВЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ПРИ ПРАВИТЕЛЬСТВЕ РОССИЙСКОЙ  
ФЕДЕРАЦИИ»**

**(Финансовый университет)**

**Факультет  
информационных технологий и анализа больших данных  
Кафедра «Бизнес-информатика»**

**Домашнее задание № 8**

**«Решение задач систем массового обслуживания.»**

Студенты группы БИ20-8:

Луканина Полина

Аверкин Никита

Филимонова Арина

Совин Владимир

Горшков Георгий

Киселева Евгения

Руководитель:

Аксенов Дмитрий Андреевич

**Москва 2022**

## Оглавление

Оглавление	2
1.	5
2.	5
3.1. Алгоритм в Python	8
3.1.1. Описание входных данных.	8
3.1.2. Описание алгоритма решения	9
3.1.3. Описание выходных данных	9
4. Вариант использования	12
5. Архитектура решения	15
5.1 Функции считывания информации	15
5.2 Функции обработки информации	16
5.3 Функции вывода информации	24
6. Тестирование	25
6.1. Тестирование Датасета №1:	25
6.1.1 Метод Python:	25
6.1.2 Метод Excel:	29
6.2. Тестирование Датасета №2:	32
6.2.1 Метод Python:	32
6.2.2 Метод Excel:	35
6.3. Тестирование Датасета №3:	38
6.3.1 Метод Python:	38
6.3.2 Метод Excel:	41
6.4. Тестирование Датасета №4:	44
6.4.1 Метод Python:	44

6.4.2 Метод Excel: 47

6.5. Тестирование Датасета №5: 50

6.5.1 Метод Python: 50

6.5.2 Метод Excel: 53



55



## **1. Постановка задачи (физическая модель)**

К нам обратилась крупная сеть заправок. Они столкнулись с проблемой хаотичного наплыва клиентов. В связи с этим в пиковые нагрузки система не справляется, образуются очереди и это вызывает негатив клиентов.

Нам необходимо на основе статистических данных, которые предоставил нам заказчик рассчитать при каком количестве людей система начинает не справляться и образуется очередь; что нужно сделать (какие решения внедрить), чтобы при минимальных затратах получить решение проблемы. Критичность очереди составляет не более 3 человек (как на заправку, так и на оплату) и время обслуживания не более 3 минут.

## **2. Математическая модель**

### **Структура системы массового обслуживания**

Математическая модель для всех систем массового обслуживания имеет одинаковую структуру. Ее компонентами являются:

- Поступающие новые заявки
- Ожидающие в очереди заявки
- Обслуживающие устройства
- Обслуженные исходящие заявки

### **Потоки заявок**

Входной поток заявок характеризуется скоростью поступления заявок в систему (интенсивностью входного потока заявок). Данный показатель показывает сколько заявок приходит в систему за определенный интервал времени.

Если известен средний интервал времени между потоком заявок, то используется формула:

$$\lambda = \frac{N}{t}$$

Если нет, то необходимо определить количество заявок, пришедшее за определенный период времени.

$$\lambda = \frac{1}{t_{\text{вх}}}$$

где  $N$  – количество заявок, пришедшее за период времени  $t$ ,  $t_{\text{вх}}$  – средний интервал времени между поступлением заявок.

Выходной поток заявок характеризуется скоростью обработки заявок системой (интенсивностью выходного потока заявок от одного прибора). Данный показатель показывает сколько заявок обрабатывает один прибор за единицу времени и рассчитывается по формуле. Если известно среднее время, необходимое на обработку 1 заявки одним прибором, то используется

$$\text{формула: } \mu = \frac{N}{nt}$$

Если нет, то необходимо определить количество заявок, обработанное за

$$\text{период времени некоторым количеством приборов. } \mu = \frac{1}{t_{\text{вых}}}$$

где  $N$  – количество заявок, обработанное за период времени  $t$  всеми  $n$  приборами,  $t_{\text{вых}}$  – среднее время на обработку одной заявки одним прибором.

### **Вероятности состояний системы**

Вероятность того, что система бездействует, определяется по следующей формуле:

$$p_0 = \left[ \sum_{k=0}^n \frac{p^k}{k!} + \sum_{k=n+1}^{n+m} \frac{p^k}{n^{k-n} n!} \right]^{-1}, p = \frac{\lambda}{\mu}$$

Для вероятностей наступления состояний обслуживания используется представленная ниже формула.

$$p_k = \frac{p^k}{k!} p_0, k = \dots n$$

Для вероятностей наступления состояний очереди используются следующая формула:

$$p_k = \frac{p^k}{n^{k-n} n!} p_0, k = (n + 1) \dots (n + m)$$

### **Показатель загрузки системы**

Величина  $\rho$  является показателем загрузки системы и дает представление о том, насколько система справляется с потоком клиентов.

$$\rho = \frac{\lambda}{\mu}$$

- $\rho \ll n$  (показатель загрузки сильно меньше количества касс)

– система недогружена, что выгодно для клиента, так как нет очередей, но невыгодна для владельца, так как есть лишние кассы и большой простой по времени;

- $\rho < n$  (показатель загрузки меньше количества касс) –

система сбалансирована для клиента, так как есть приемлемые очереди и допустимый простой касс;

- $\rho \leq n$  – (показатель загрузки приближен к количеству касс)

система сбалансирована для владельца, так как есть большие очереди клиентов, кассы заняты практически полностью;

- $\rho > n$  (показатель загрузки больше количества касс) –

система перегружена, что выгодно для владельца, так как заявок больше, чем можно обработать, но невыгодно для клиента по причине бесконечно растущей очереди

### **Показатели для клиентов**

Вероятность отказа в обслуживании показывает вероятность, что новая заявка не помещается в систему (заняты все приборы и заполнена вся очередь – последняя «правая» вероятность):

$$P_{отк} = P_{n+m}$$

Вероятность встать в очередь показывает вероятность того, что новая заявка встречает в системе очередь (заняты все приборы и есть место в очереди - сумма всех вероятностей очередей):

$$p_{оч} = \sum_{k=n+1}^{n+m-1} p_k$$

Средняя длина очереди показывает среднее количество заявок, ожидающих в очереди:

$$L_{оч} = \frac{p^{n+1}}{n \cdot n!} \cdot \frac{1 - \left(\frac{p}{n}\right)^m \left(m + 1 - \frac{mp}{n}\right)}{\left(1 - \frac{p}{n}\right)^2} \cdot p_0$$

Среднее время ожидания в очереди рассчитывается по формуле Литтла:

$$T_{оч} = \frac{L_{оч}}{\lambda(1 - p_{отк})}$$

### **Показатели для владельцев**

Абсолютная пропускная способность показывает скорость обслуживания заявок (сколько заявок успевает обрабатываться системой в единицу времени):

$$A = \lambda(1 - p_{отк})$$

Относительная пропускная способность показывает процент обслуженных заявок (какой процент заявок не успевает обрабатываться и получает отказ):

$$Q = 1 - p_{отк}$$

Среднее количество занятых приборов:

$$\underline{n}_{зан} = \frac{A}{\mu}$$

Коэффициент простоя показывает процент времени простоя обслуживающих приборов:



$$K_{\text{пр}} = 1 - \frac{n_{\text{зан}}}{n}$$

### 3.1. Алгоритм в Python

#### 3.1.1. Описание входных данных.

Формат входных данных определяется тем, что в программу необходимо вбивать данные вручную.

Количество интервалов: 3

Данные по интервалу №1

Количество пришедших заявок  $N$  (за время  $t$ ): 5

Средний интервал времени между поступлением заявок ( $t_{\text{вх}}$ ): 10

Среднее время на обработку одной заявки одним прибором ( $t_{\text{вых}}$ ): 5

Данные по интервалу №2

Количество пришедших заявок  $N$  (за время  $t$ ): 1

Средний интервал времени между поступлением заявок ( $t_{\text{вх}}$ ): 10

Среднее время на обработку одной заявки одним прибором ( $t_{\text{вых}}$ ): 6

Данные по интервалу №3

Количество пришедших заявок  $N$  (за время  $t$ ): 10

Средний интервал времени между поступлением заявок ( $t_{\text{вх}}$ ): 10

Среднее время на обработку одной заявки одним прибором ( $t_{\text{вых}}$ ): 4

*Рисунок 1. Пример входных данных в CSV файле*

#### 3.1.2. Описание алгоритма решения

После того как данные введены, программе необходимо преобразовать данные для дальнейшего использования.

Шаг 1: расчет показателей интенсивности входного и выходного потока заявок.

Шаг 2: расчет количества обслуживающих приборов и максимальной длины очереди.

Шаг 3: расчет вероятностей нахождения системы в каждой из состояний.

Шаг 4: построение гистограмма по вероятностям.

Шаг 5: расчет расчета средней длины очереди.

Шаг 6: расчет среднего времени ожидания в очереди.

Шаг 7: расчет параметров системы, важных для владельца.

### 3.1.3. Описание выходных данных

В конце программа выдаст вероятности нахождения системы в каждом состоянии временного интервала, гистограммы по этим интервалам, характеристику для клиентов и характеристику для владельцев.

	Интервал 1	Интервал 2	Интервал 3
Интенсивность входного потока	0.5	0.1000	1.00
Интенсивность выходного потока	0.2	0.1667	0.25
Показатель нагруженности системы	2.5	0.5999	4.00

Количество обслуживающих приборов: 3  
Максимальная длина очереди: 8

p0 - Бездействие  
p1-p4 - Нагруженность системы без очереди  
p5-p14 - Нагруженность системы с очередью

Вероятности нахождения системы в каждом из состояний временного интервала 1

	p0	p1	p2	p3	p4	p5	p6	p7	p8	\
Вероятность, %	7.38	18.46	23.07	19.23	12.02	7.51	4.69	2.93	1.83	

	p9	p10	p11	p12	p13	p14
Вероятность, %	1.15	0.72	0.45	0.28	0.17	0.11

Рисунок 2.Пример выходных данных

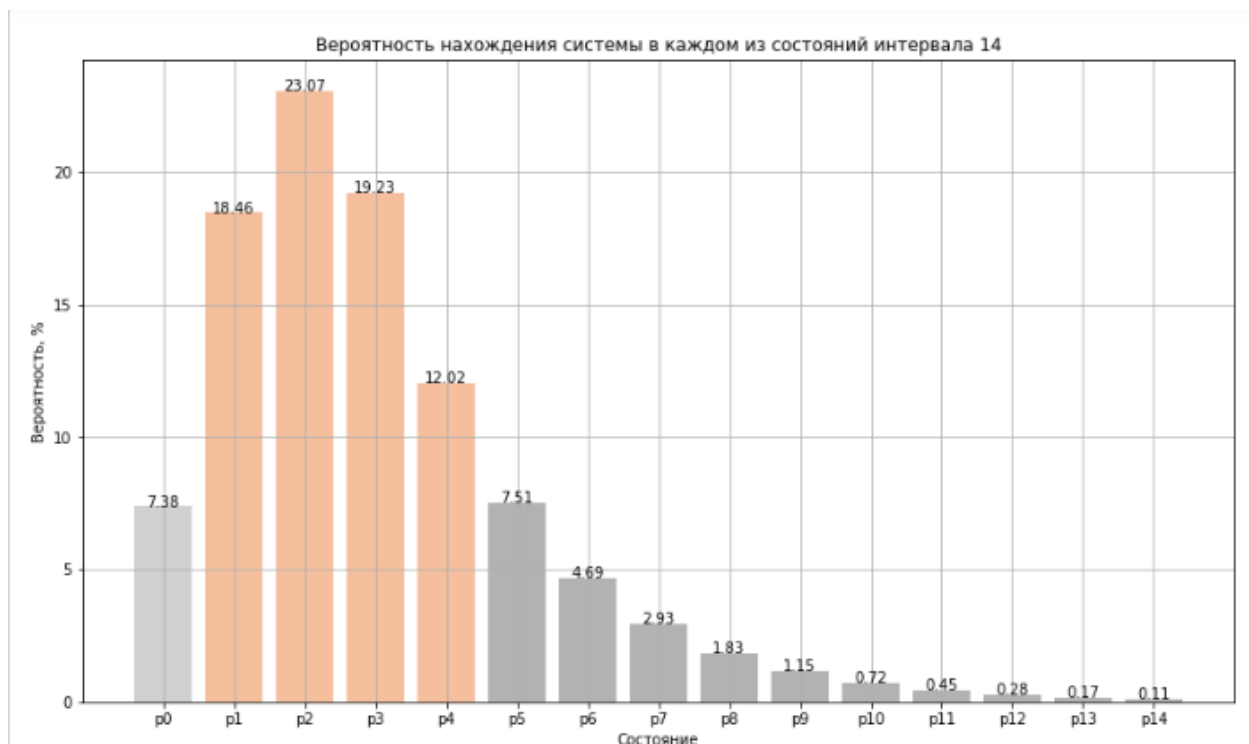


Рисунок 3. Пример выходных данных

Вероятности нахождения системы в каждом из состояний временного интервала 2											
	p0	p1	p2	p3	p4	p5	p6	p7	p8	p9	p10
Вероятность, %	54.88	32.92	9.87	1.98	0.3	0.04	0.01	0.0	0.0	0.0	0.0
	p11 p12 p13 p14										
Вероятность, %	0.0	0.0	0.0	0.0							

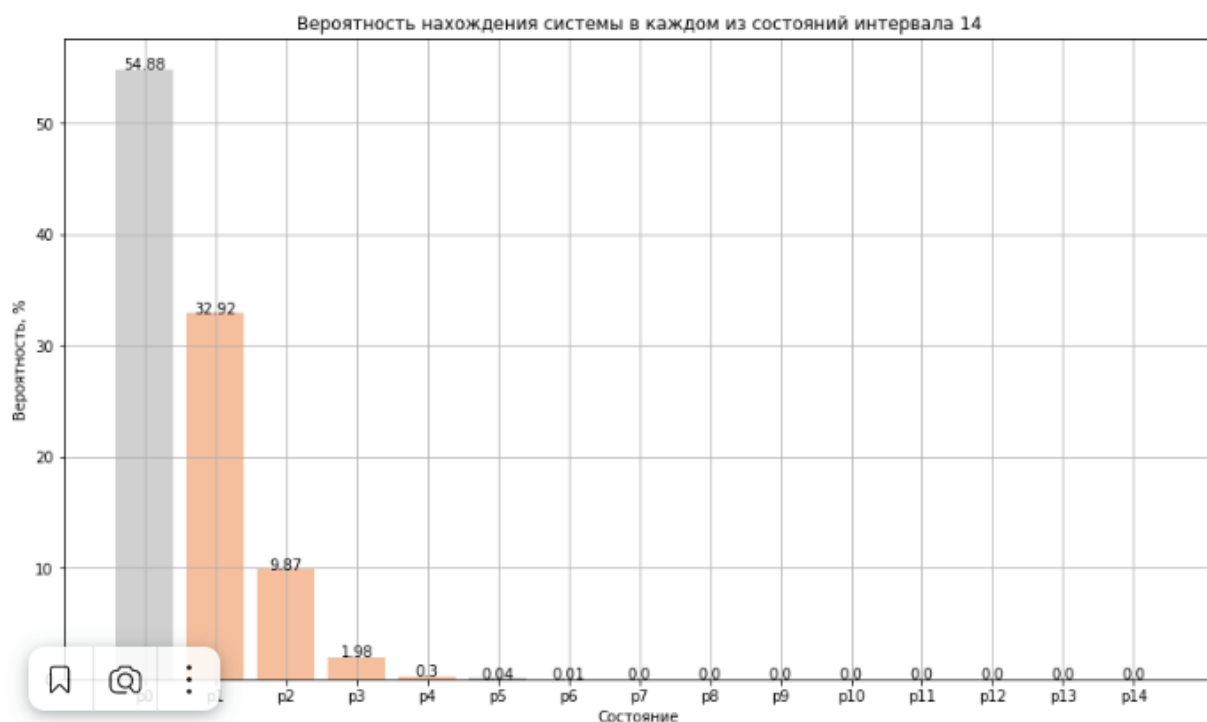


Рисунок 4. Пример выходных данных

Вероятности нахождения системы в каждом из состояний временного интервала 3										
	p0	p1	p2	p3	p4	p5	p6	p7	p8	p9 \
Вероятность, %	0.71	2.84	5.67	7.57	7.57	7.57	7.57	7.57	7.57	7.57

	p10	p11	p12	p13	p14
Вероятность, %	7.57	7.57	7.57	7.57	7.57

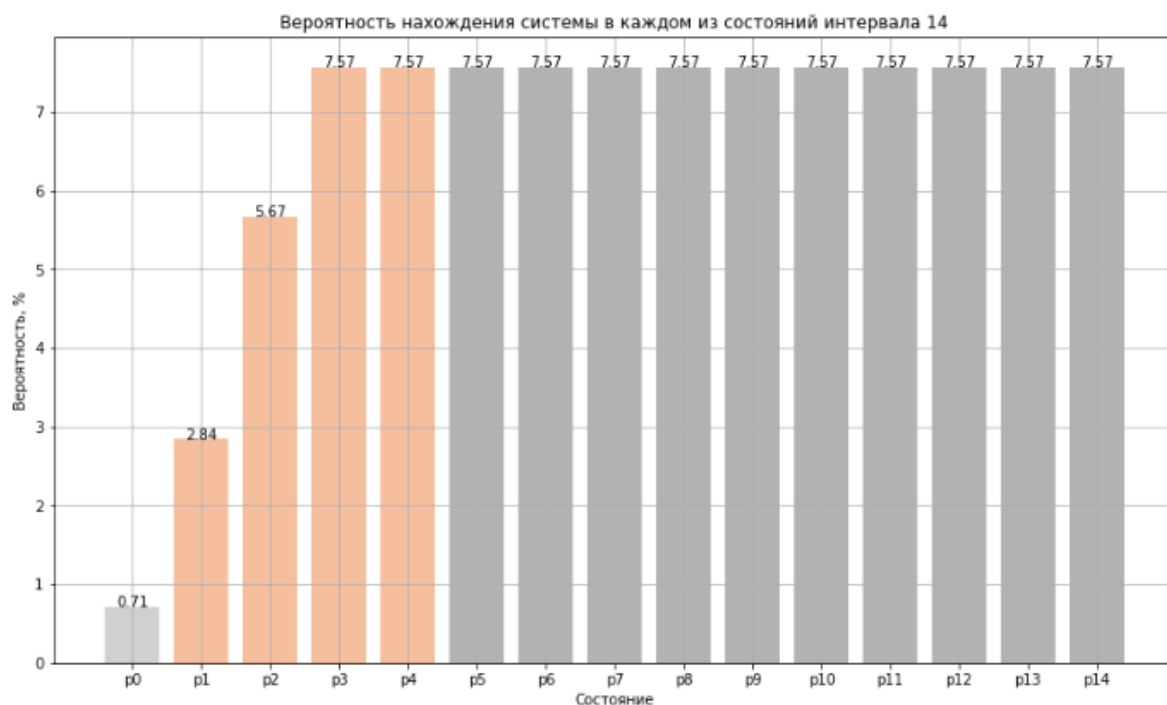


Рисунок 5. Пример выходных данных

#### Характеристика для клиентов

	Интервал 1	Интервал 2	Интервал 3
Вероятность отказа в обслуживании, %	0.110	0.000	7.57
Вероятность встать в очередь, %	19.730	0.050	68.13
Средняя длина очереди	0.511	0.001	0.00
Среднее время ожидания в очереди	1.023	0.010	0.00

#### Характеристика для владельца

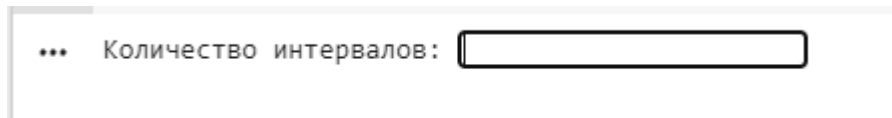
	Интервал 1	Интервал 2	Интервал 3
Абсолютн. пропускная способн.	0.499	0.10	0.924
Относит. пропускная способн., %	0.999	1.00	0.924
Среднее число занятых приборов	2.495	0.60	3.696
Коэффициент простоя	0.376	0.85	0.076

Рисунок 6. Пример выходных данных

## 4. Вариант использования

Существует единственный вариант использования кода – это ручной ввод данных. Данный вариант использования включает в себя ввод данных

ручным способом. Для того, чтобы внести данные необходимо запустить программу и задать количество интервалов, которые вам необходимы.



*Рисунок 7. Установка интервалов*

После этого появляется окно, в котором вам необходимо ввести, сколько пришло заявок, средний интервал между ними и сколько времени нужно, чтобы обработать одну заявку. Пример:

```
Данные по интервалу №1
Количество пришедших заявок N (за время t): 3
Средний интервал времени между поступлением заявок (tvx): 2
Среднее время на обработку одной заявки одним прибором (tvых): 1
```

*Рисунок 8. Пример вводных данных*

Так нужно прописать для всех интервалов, которые вы указали пунктом выше.

В конце нужно указать количество обслуживающих приборов и максимально допустимую длину очереди.

```
Количество обслуживающих приборов: 4
Максимальная длина очереди: 3
```

*Рисунок 9. Пример ввода данных*

Вы импортировали:

	Эксперт 1	Эксперт 2	Эксперт 3	Эксперт 4	Эксперт 5
Варианты					
Вариант 1	10.0	2.0	4.0	8.0	3.0
Вариант 2	8.0	3.0	5.0	6.0	5.0
Вариант 3	7.0	5.0	6.0	8.0	6.0
Вариант 4	3.0	10.0	3.0	7.0	2.0
Вариант 5	5.0	3.0	8.0	10.0	8.0
Вариант 6	2.0	9.0	9.0	2.0	8.0
Вариант 7	7.0	9.0	1.0	2.0	6.0
Вариант 8	8.0	8.0	2.0	4.0	9.0
Вариант 9	5.0	7.0	6.0	10.0	3.0
Вариант 10	9.0	5.0	3.0	4.0	5.0

#### Математическая обработка экспертных оценок

	Мат.ожидание	Дисперсия	Стандарт.откл	Доверит.интерв (+-2σ)
Вариант 1	5.4	11.8	3.4351	[-1.4702, 12.2702]
Вариант 2	5.4	3.3	1.8166	[1.7668, 9.0332]
Вариант 3	6.4	1.3	1.1402	[4.1196, 8.6804]
Вариант 4	5.0	11.5	3.3912	[-1.7823, 11.7823]
Вариант 5	6.8	7.7	2.7749	[1.2502, 12.3498]
Вариант 6	6.0	13.5	3.6742	[-1.3485, 13.3485]
Вариант 7	5.0	11.5	3.3912	[-1.7823, 11.7823]
Вариант 8	6.2	9.2	3.0332	[0.1337, 12.2663]
Вариант 9	6.2	6.7	2.5884	[1.0231, 11.3769]
Вариант 10	5.2	5.2	2.2804	[0.6393, 9.7607]

Рисунок 10. Решение

При выборе 3 типа задачи необходимо ввести количество экспертов и после этого для каждого подгрузить соответствующие файлы.

## Математическая обработка бинарных отношений

```
Количество экспертов: 3
Введите путь к файлу:
/content/tt7_1.csv
Введите путь к файлу:
/content/tt7_2.csv
Введите путь к файлу:
/content/tt7_3.csv
```

*Рисунок 11. 3 тип задачи*

### 5. Архитектура решения

Для решения задачи использовались методы (функции), которые можно разделить на 3 принципиальных кода.

#### 5.1 Функции считывания информации

Функция `input_data`:

**Входные данные:**

- Нет входных данных.

**Выходные данные:**

- Нет выходных данных.

**Переменные, затрагиваемые в ходе работы:**

- `value` - принимает все значения, введенные пользователем.
- `i` – название вводимого параметра.

```
def input_data(i):
    """Метод предназначен для защиты от неверного ввода данных."""
    try:
        value = int(input(i))
        return value
    except:
        print('Вводимые данные должны быть целым числом!')
        return input_data(i)
```

Рисунок 12. Фрагмент кода

## 5.2 Функции обработки информации

После того, как вы введете все необходимые данные, программа их получит и начнет первичную обработку.

Функция `task_1` предназначена для расчета всех показателей и включает в себя 2 функции: `intensivn_input`, в которой рассчитывается интенсивность входного и выходного потока заявок и показатель загруженности системы; `queuee`, в которой рассчитывается количество обслуживающих приборов и максимальную длину очереди.

Функция `task_2` предназначена для расчета показателей и включает в себя 3 функции: `p`, в которой рассчитывается вероятность нахождения системы в каждом из состояний; `color`, в которой устанавливается цвета столбцов в гистограммах; `graph`, в которой осуществляется построение гистограммы по вероятностям.

Функция `task_3` предназначена для расчета параметров важных для клиента и включает в себя 2 функции: `average_len_queuee`, в которой рассчитывается средняя длина очереди; `average_time_waitin`, в которой рассчитывается среднее время ожидания в очереди.

Функция `task_4` предназначена для расчета параметров системы важных для владельца, таких как абсолютной пропускной способности, относительной пропускной способностью, среднее число занятых приборов, коэффициент простоя.

### **Функция `task_1`:**



Она включает в себя две функции:

Функция `intensivn_input`:

**Входные данные:**

- `data` – словарь с данными, которые ввел пользователь.

**Выходные данные:**

- Нет выходных данных.

**Переменные, затрагиваемые в ходе работы:**

- `list_intensivn_input` – интенсивность входного потока заявок.
- `list_intensivn_output` – интенсивность выходного заявок.
- `system_load` – показатель загруженности системы.
- `data` – словарь с данными, которые ввел пользователь.

Функция `queue`:

**Входные данные:**

- `system_load` – показатель загруженности системы.

**Выходные данные:**

- `load` – словарь с данными, которые ввел пользователь.
- `system_load` – показатель загруженности системы.
- `sum_service_device` – количество обслуживающих приборов.
- `sum_queue` – максимальная длина очереди.

**Переменные, затрагиваемые в ходе работы:**

- `sum_service_device` – количество обслуживающих приборов.

- `sum_queue` – максимальная длина очереди.
- `system_load` – показатель загруженности системы.
- `name_rows` – название столбцов в Dataframe.
- `name_rows` – название строк в Dataframe.

```
def task_1(data):
    """Функция для расчета всех показателей задания 2 из ТЗ."""

    def intensivn_input(data):
        """
        Функция рассчитывает интенсивность входного и выходного потока заявок
        и показатель загруженности системы.
        """
        list_intensivn_input = []
        list_intensivn_output = []
        system_load = []
        for interval in data:
            list_intensivn_input.append(round(data[interval]['N'] / data[interval]['t_in'], 4))
            list_intensivn_output.append(round(1 / data[interval]['t_out'], 4))
            system_load.append(round(list_intensivn_input[-1] / list_intensivn_output[-1], 4))
        return list_intensivn_input, list_intensivn_output, system_load

    def queue(system_load):
        """
        Функция рассчитывает количество обслуживающих приборов
        и максимальную длину очереди.
        """
        sum_service_device = math.ceil(sum(system_load) / len(system_load))
        sum_queue = 0
        for k in system_load:
            sum_queue += k * sum_service_device
        sum_queue = math.ceil(sum_queue / len(system_load))
        return sum_service_device, sum_queue

    list_intensivn_input, list_intensivn_output, system_load = intensivn_input(data)
    sum_service_device, sum_queue = queue(system_load)

    name_cols = [f'Интервал {i}' for i in range(1, len(list_intensivn_input) + 1)]
    name_rows = ['Интенсивность входного потока', 'Интенсивность выходного потока', 'Показатель загруженности системы']
    print('\n\n', pd.DataFrame([list_intensivn_input, list_intensivn_output, system_load],
                               columns = name_cols,
                               index = name_rows))

    print('\nКоличество обслуживающих приборов: ', sum_service_device)
    print('Максимальная длина очереди: ', sum_queue)
    return system_load, sum_service_device, sum_queue, list_intensivn_input, list_intensivn_output
```

Рисунок 13. Фрагмент кода

## Функция `task_2`:

Она включает в себя три функции:

Функция `r`:

## Входные данные:

- `load` – словарь с данными, которые ввел пользователь.
- `device` – количество используемых приборов.

### **Выходные данные:**

- Нет выходных данных.

### **Переменные, затрагиваемые в ходе работы:**

- load – словарь с данными, которые ввел пользователь.
- list\_load\_1 – список состояния без очереди.
- list\_load\_2 – список состояния с очередью.
- list\_load – вспомогательные вычисления.
- value – значения состояний.
- list\_p – список вероятностей состояний.
- df – Dataframe с вероятностями состояний.

Функция color:

### **Входные данные:**

- device – количество используемых приборов.
- sum\_queue – максимальная длина очереди.

### **Выходные данные:**

- Нет выходных данных.

### **Переменные, затрагиваемые в ходе работы:**

- device – количество используемых приборов.
- sum\_queue – максимальная длина очереди.
- color – список цветов гистограммы.

Функция graph:

### **Входные данные:**

- device – количество используемых приборов.
- sum\_queue – максимальная длина очереди.
- list\_p – список вероятностей состояний.

**Выходные данные:**

- Нет выходных данных.

**Переменные, затрагиваемые в ходе работы:**

- device – количество используемых приборов.
- sum\_queue – максимальная длина очереди.
- list\_p – список вероятностей состояний.
- color – список цветов гистограммы.
- sum\_service\_device – количество обслуживающих приборов.

```

def task_2(data, system_load, sum_service_device, sum_queue):
    """Функция для расчета всех показателей задания 3 из ТЗ."""

    def p(load, device, queue, n):
        """
        Функция предназначена для расчета вероятностей
        нахождения системы в каждом из состояний.
        """
        list_load_1 = []
        for i in range(device + 1):
            value = load**i / math.factorial(i)
            list_load_1.append(round(value, 4))

        list_load_2 = []
        for i in range(device + 1, queue + device + 1):
            value = load**i / (device**(i - device) * math.factorial(device))
            list_load_2.append(round(value, 4))
        list_load = list_load_1 + list_load_2

        p_0 = sum(list_load)**(-1)
        list_p = []
        list_p.append(round(p_0 * 100, 2))
        for i in list_load[1:]:
            list_p.append(round(i * p_0 * 100, 2))

        df = pd.DataFrame([list_p],
                           columns = [f'p{i}' for i in range(len(list_p))],
                           index = ['Вероятность, %'])
        print('\n', f'Вероятности нахождения системы в каждом из состояний временного интервала {n}\n', df)
        return list_p

    def color(device, sum_queue):
        """Функция для установки цветов столбцов в гистограммах."""
        color = []
        color.append('#d8d8d8')
        for i in range(device):
            color.append('#f5bf9d')
        for i in range(sum_queue):
            color.append('#b2b2b2')
        return color

    def graph(list_p, device, sum_queue, i):
        """Функция для построения гистограмм по вероятностям."""
        plt.figure(figsize=(14, 8))
        plt.bar([f'p{i}' for i in range(len(list_p))],
                 list_p,
                 color=color(device, sum_queue))

        for i, v in enumerate(list_p):
            plt.text(i, v, str(v), ha="center", color='black')

        plt.title(f'Вероятность нахождения системы в каждом из состояний интервала {i}')
        plt.xlabel('Состояние')
        plt.ylabel('Вероятность, %')
        plt.grid()
        plt.show()

    print('\nр0 - Бездействие')
    print(f'p1-p{sum_service_device} - Нагруженность системы без очереди')
    print(f'p{sum_service_device + 1}-p{sum_service_device + sum_queue} - Нагруженность системы с очередью')

    all_list_p = []
    for i in range(len(data)):
        list_p = p(system_load[i], sum_service_device, sum_queue, i + 1)
        all_list_p.append(list_p)
        graph(list_p, sum_service_device, sum_queue, i + 1)
    return all_list_p

```

Рисунок 14. Фрагмент кода

### Функция task\_3:

Она включает в себя две функции:

Функция average\_len\_queue:

### **Входные данные:**

- list\_p – список вероятностей состояний.
- system\_load – показатель загруженности системы.
- sum\_queue – максимальная длина очереди.
- device – количество используемых приборов.

### **Выходные данные:**

- Нет выходных данных.

### **Переменные, затрагиваемые в ходе работы:**

- list\_p – список вероятностей состояний.
- system\_load – показатель загруженности системы.
- sum\_queue – максимальная длина очереди.
- device – количество используемых приборов.
- value1 – средняя длина очереди.

Функция average\_time\_waiting:

### **Входные данные:**

- length– средняя длина очереди.
- list\_p – список вероятностей состояний.
- intensivn – данные, введенные пользователем.

### **Выходные данные:**

- Нет выходных данных.

### **Переменные, затрагиваемые в ходе работы:**

- length– средняя длина очереди.

- list\_p – список вероятностей состояний.
- intensivn – данные, введенные пользователем.
- name\_rows – название столбцов в Dataframe.
- name\_rows – название строк в Dataframe.

```
def task_3(list_p, system_load, device, sum_queue, intensivn):
    """Функция для расчета параметров системы, важных для клиента."""

    def average_len_queue(i, list_p, system_load, device, sum_queue):
        """Функция для расчета средней длины очереди."""
        try:
            value_1 = (1 - ((system_load[i] / device)**sum_queue) * (sum_queue + 1 - sum_queue * system_load[i] / device))
            value_2 = device * math.factorial(device) * ((1 - system_load[i] / device)**2)
            return round(((system_load[i]**(device + 1)) * value_1 * list_p[i][0]/100) / value_2, 3)
        except:
            return 0

    def average_time_waiting(i, length, list_p, intensivn):
        """Функция для расчета среднего времени ожидания в очереди."""
        return round(length / (intensivn[i] * (1 - list_p[i][-1] / 100)), 3)

    p_refusal, p_queue, average_queue, average_time_wait = [], [], [], []
    for i in range(len(intensivn)):
        p_refusal.append(list_p[i][-1])
        p_queue.append(round(sum(list_p[i][device + 1 : len(list_p[i]) - 1]), 3))
        length = average_len_queue(i, list_p, system_load, device, sum_queue)
        average_queue.append(length)
        average_time_wait.append(average_time_waiting(i, length, list_p, intensivn))

    name_cols = [f'Интервал {i}' for i in range(1, len(intensivn) + 1)]
    name_rows = ['Вероятность отказа в обслуживании, %',
                 'Вероятность встать в очередь, %',
                 'Средняя длина очереди',
                 'Среднее время ожидания в очереди']
    print('Характеристика для клиентов\n', pd.DataFrame([p_refusal, p_queue, average_queue, average_time_wait],
                                                           columns = name_cols,
                                                           index = name_rows))

    return p_refusal
```

Рисунок 15. Фрагмент кода

### Функция task\_4:

#### Входные данные:

- p\_refusal – вероятность отказа в обслуживании.
- device – количество используемых приборов.

#### Выходные данные:

- Нет выходных данных.

#### Переменные, затрагиваемые в ходе работы:

- `p_refusal` – вероятность отказа в обслуживании.
- `device` – количество используемых приборов.
- `name_cols` – название столбцов в `Dataframe`.
- `name_rows` – название строк в `Dataframe`.
- `absol_throughput` – абсолютная пропускная способность.
- `relat_throughput` – относительная пропускная способность.
- `busy_device` – среднее число занятых приборов.
- `K` – коэффициент простоя.

```
def task_4(p_refusal, intensivn_inp, intensivn_out, device):
    """Функция для расчета параметров системы, важных для владельца."""
    absol_throughput, relat_throughput, busy_device, K = [], [], [], []
    for i in range(len(intensivn_inp)):
        absol_throughput.append(round(intensivn_inp[i] * (1 - p_refusal[i] / 100), 3))
        relat_throughput.append(round(1 - p_refusal[i] / 100, 3))
        busy_device.append(round(absol_throughput[i] / intensivn_out[i], 3))
        K.append(round(1 - busy_device[i] / device, 3))

    name_cols = [f'Интервал {i}' for i in range(1, len(intensivn_inp) + 1)]
    name_rows = ['Абсолютн. пропускная способн.',
                 'Относит. пропускная способн., %',
                 'Среднее число занятых приборов',
                 'Коэффициент простоя']
    print('\n\nХарактеристика для владельца\n', pd.DataFrame([absol_throughput, relat_throughput, busy_device, K],
                                                             columns = name_cols,
                                                             index = name_rows))

data = {}
interval = {}

for i in range(1, input_data('Количество интервалов: ') + 1):
    print(f'\nДанные по интервалу №{i}')
    interval['N'] = input_data('Количество пришедших заявок N (за время t): ')
    interval['t_in'] = input_data('Средний интервал времени между поступлением заявок (tвх): ')
    interval['t_out'] = input_data('Среднее время на обработку одной заявки одним прибором (tвых): ')
    data[f'Интервал {i}'] = interval
    interval = {}
```

Рисунок 16. Фрагмент кода

## 5.3 Функции вывода информации

Метод вывода информации

Что делает: осуществляет вывод необходимой информации

В данном методе осуществляется непосредственно вызов функций с помощью метода `print ()`.



```

for i in range(1, input_data('Количество интервалов: ') + 1):
    print(f'\nДанные по интервалу №{i}')
    interval['N'] = input_data('Количество пришедших заявок N (за время t): ')
    interval['t_in'] = input_data('Средний интервал времени между поступлением заявок (tвх): ')
    interval['t_out'] = input_data('Среднее время на обработку одной заявки одним прибором (tвых): ')
    data[f'Интервал {i}'] = interval
    interval = {}

```

*Рисунок 17. Часть кода, отвечающая за вывод данных*

## 6. Тестирование

Проведём тестирование нашей программы и сравним полученные показатели, чтобы сделать вывод о предпочтительном варианте использования нашей программы или Excel под условия заказчика.

### 6.1. Тестирование Датасета №1:

#### 6.1.1 Метод Python:

Вводим необходимое количество интервалов, определяем количество пришедших заявок, средний интервал времени между поступлением заявок и среднее время на обработку одной заявки одним прибором, повторяем процедуру по количеству введённых интервалов.

Количество интервалов: 3

Данные по интервалу №1

Количество пришедших заявок N (за время t): 5

Средний интервал времени между поступлением заявок (t<sub>вх</sub>): 10

Среднее время на обработку одной заявки одним прибором (t<sub>вых</sub>): 5

Данные по интервалу №2

Количество пришедших заявок N (за время t): 1

Средний интервал времени между поступлением заявок (t<sub>вх</sub>): 10

Среднее время на обработку одной заявки одним прибором (t<sub>вых</sub>): 6

Данные по интервалу №3

Количество пришедших заявок N (за время t): 10

Средний интервал времени между поступлением заявок (t<sub>вх</sub>): 10

Среднее время на обработку одной заявки одним прибором (t<sub>вых</sub>): 4

Количество обслуживающих приборов: 3

Максимальная длина очереди: 8

	Интервал 1	Интервал 2	Интервал 3
Интенсивность входного потока	0.5	0.1000	1.00
Интенсивность выходного потока	0.2	0.1667	0.25
Показатель нагруженности системы	2.5	0.5999	4.00

p0 - Бездействие

p1-p3 - Нагруженность системы без очереди

p4-p11 - Нагруженность системы с очередью

Рисунок 18. Входные данные в питон

Вероятности нахождения системы в каждом из состояний временного интервала 1

	p0	p1	p2	p3	p4	p5	p6	p7	p8	p9	\
Вероятность, %	5.2	13.01	16.26	13.55	11.29	9.41	7.84	6.53	5.44	4.54	

	p10	p11
Вероятность, %	3.78	3.15

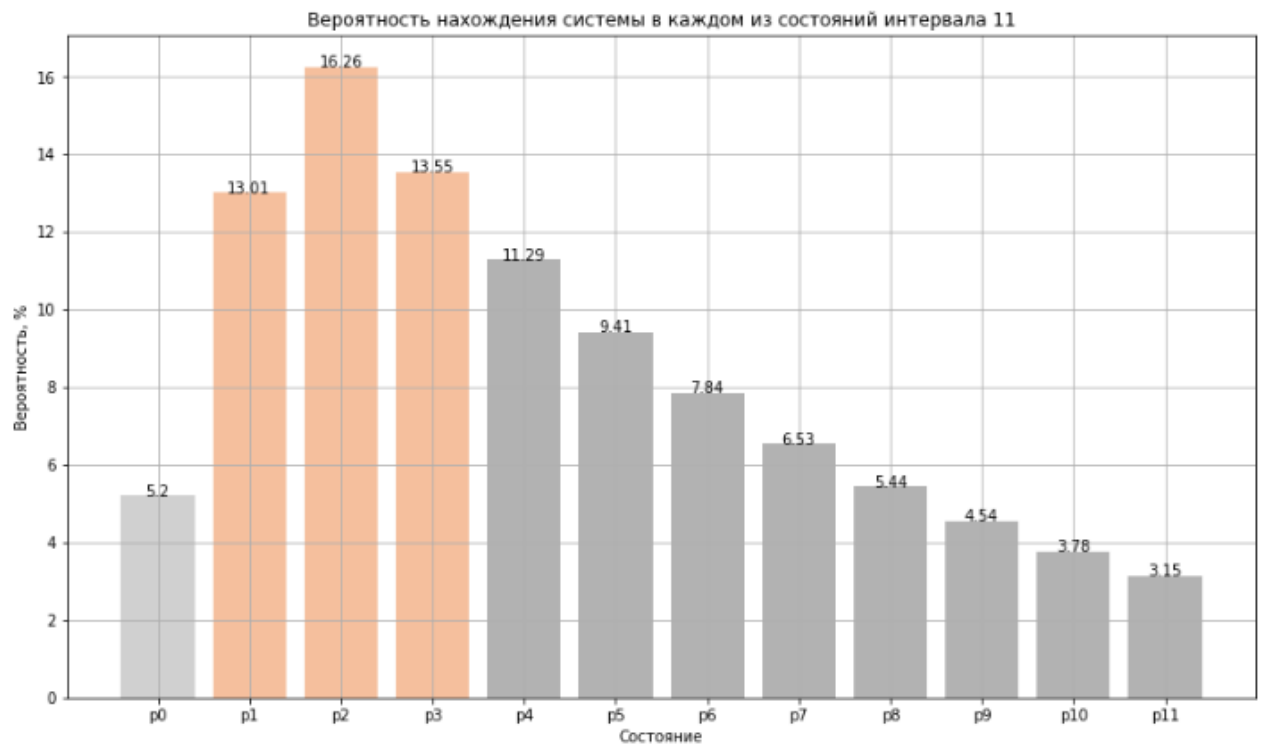


Рисунок 19. Выходные данные в питоне

Вероятности нахождения системы в каждом из состояний временного интервала 2

	p0	p1	p2	p3	p4	p5	p6	p7	p8	p9	\
Вероятность, %	54.8	32.87	9.86	1.97	0.39	0.08	0.02	0.01	0.0	0.0	

	p10	p11
Вероятность, %	0.0	0.0

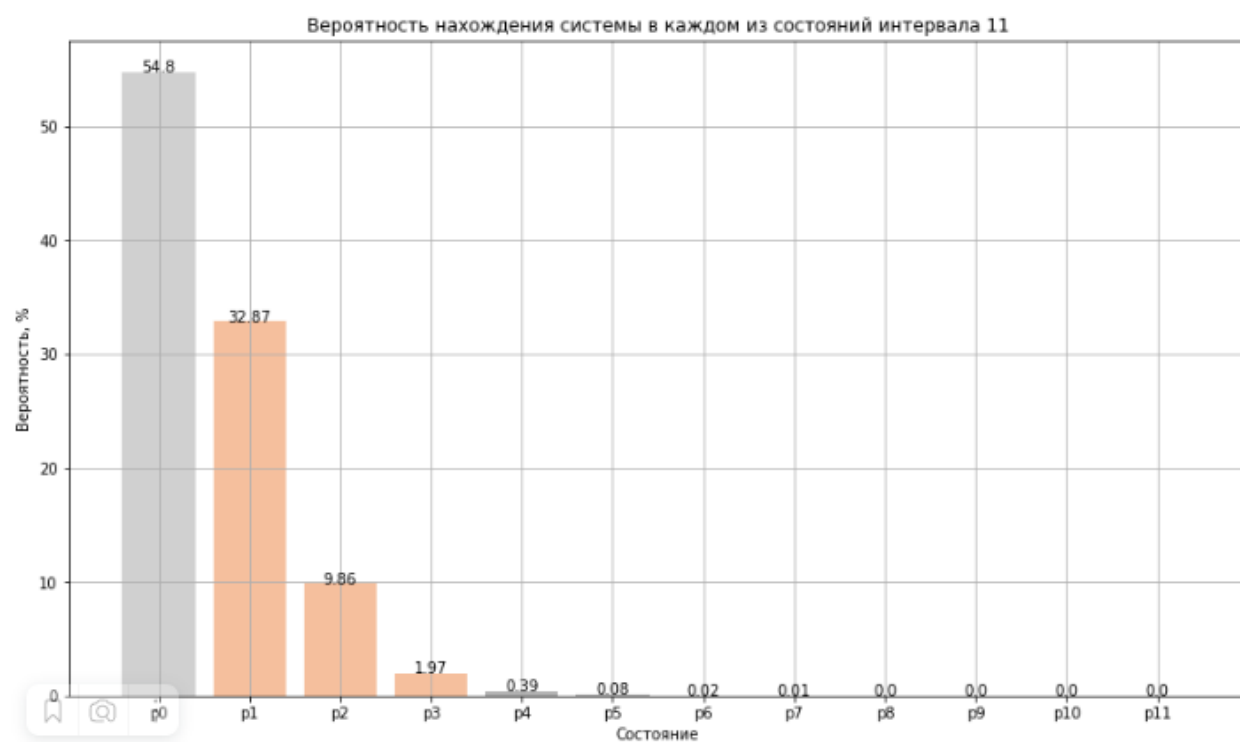


Рисунок 20. Выходные данные в питоне

Вероятности нахождения системы в каждом из состояний временного интервала 3

	p0	p1	p2	p3	p4	p5	p6	p7	p8	p9 \
Вероятность, %	0.25	0.98	1.96	2.62	3.49	4.66	6.21	8.28	11.04	14.72

	p10	p11
Вероятность, %	19.62	26.17

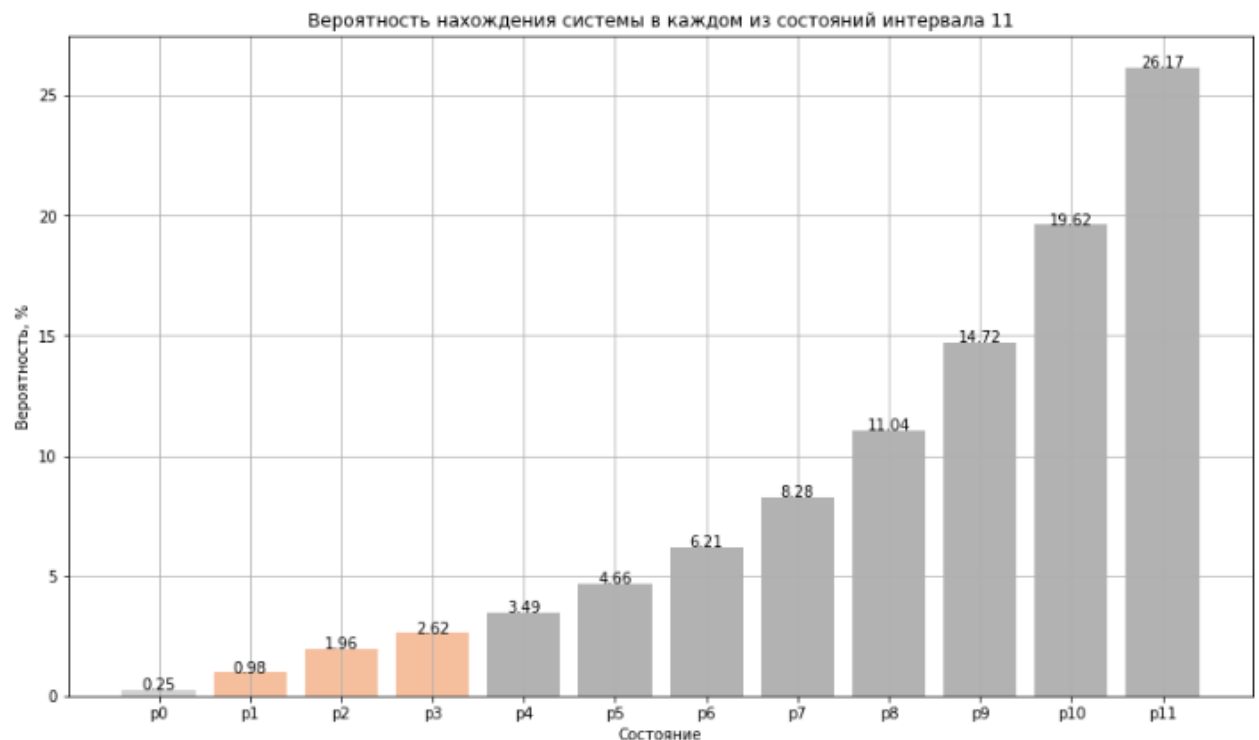


Рисунок 21. Выходные данные в питоне

#### Характеристика для клиентов

	Интервал 1	Интервал 2	Интервал 3
Вероятность отказа в обслуживании, %	3.150	0.000	26.170
Вероятность встать в очередь, %	48.830	0.500	68.020
Средняя длина очереди	1.858	0.006	5.647
Среднее время ожидания в очереди	3.837	0.060	7.649

#### Характеристика для владельца

	Интервал 1	Интервал 2	Интервал 3
Абсолютн. пропускная способн.	0.484	0.1	0.738
Относит. пропускная способн., %	0.969	1.0	0.738
Среднее число занятых приборов	2.420	0.6	2.952
Коэффициент простоя	0.193	0.8	0.016

Рисунок 22. Выходные данные в питоне

## 6.1.2 Метод Excel:

Вводим данные датасета в необходимые поля и получаем результат:



Состояния системы												
Интервал 1												
Бездейств.	Без очереди				С очередью							
S0	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	
k =	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Вспомог.	1	2,5	3,125	2,604167	1,627604	1,808449074	1,507041	1,255867	1,046556	0,87213	0,726775	0,605646
Вероятн.	p0	p1	p2	p3	p4	p5	p6	p7	p8	p9	p10	p11
100%	5%	13%	17%	14%	9%	10%	8%	7%	6%	5%	4%	3%
Интервал 2												
Бездейств.	Без очереди				С очередью							
S0	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	
k =	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Вспомог.	1	0,6	0,18	0,036	0,0054	0,00144	0,000288	5,76E-05	1,15E-05	2,3E-06	4,61E-07	9,22E-08
Вероятн.	p0	p1	p2	p3	p4	p5	p6	p7	p8	p9	p10	p11
100%	55%	33%	10%	2%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Интервал 3												
Бездейств.	Без очереди				С очередью							
S0	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	
k =	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Вспомог.	1	4	8	10,66667	10,66667	18,96296296	25,28395	33,71193	44,94925	59,93233	79,90977	106,5464
Вероятн.	p0	p1	p2	p3	p4	p5	p6	p7	p8	p9	p10	p11
100%	0%	1%	2%	3%	3%	5%	6%	8%	11%	15%	20%	26%

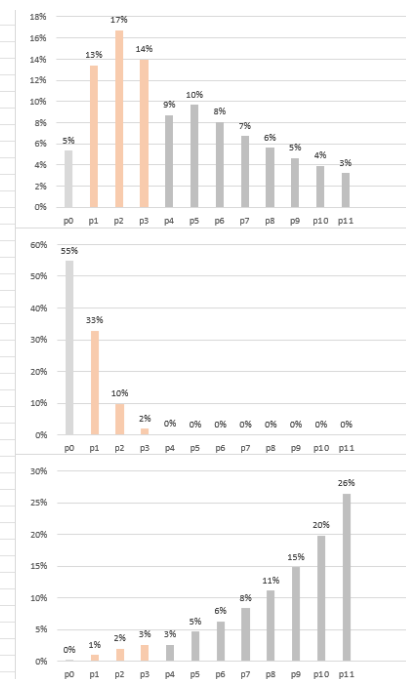


Рисунок 24. Тест в экселе

Характеристика для клиентов									
Интервал 1			Интервал 2			Интервал 3			
Вероятность отказа в обслуживании			Вероятность отказа в обслуживании			Вероятность отказа в обслуживании			
p_отк =	0%		p_отк =	0%		p_отк =	0%		
Вероятность встать в очередь			Вероятность встать в очередь			Вероятность встать в очередь			
p_оч	42%		p_оч	0%		p_оч	91%		
Средняя длина очереди			Средняя длина очереди			Средняя длина очереди			
L_оч	1,912808		L_оч	0,006170353		L_оч	5,596531		
Среднее время ожидания в очереди			Среднее время ожидания в очереди			Среднее время ожидания в очереди			
T_оч =	3,825615 мин		T_оч =	0,061703527 мин		T_оч =	5,596531 мин		
Характеристика для владельцев									
Интервал 1			Интервал 2			Интервал 3			
Абсол. Пропускная способность			Абсол. Пропускная способность			Абсол. Пропускная способность			
A =	0,5 авт/мин		A =	0,1 авт/мин		A =	1 авт/мин		
Относ.Пропускная способность			Относ.Пропускная способность			Относ.Пропускная способность			
Q =	100%		Q =	100%		Q =	100%		
Среднее колич. Занятых колонок			Среднее колич. Занятых колонок			Среднее колич. Занятых колонок			
n_занятых =	2,5		n_занятых =	0,6		n_занятых =	4		
Коэффициент простоя колонок			Коэффициент простоя колонок			Коэффициент простоя колонок			
K простоя =	0.166667		K простоя =	0.8		K простоя =	-0.33333		

Рисунок 25. Тест в экселе

## 6.2. Тестирование Датасета №2:

### 6.2.1 Метод Python:

Вводим необходимое количество интервалов, определяем количество пришедших заявок, средний интервал времени между поступлением заявок и среднее время на обработку одной заявки одним прибором, повторяем процедуру по количеству введенных интервалов.

Количество интервалов: 3

Данные по интервалу №1

Количество пришедших заявок N (за время t): 2

Средний интервал времени между поступлением заявок (t<sub>вх</sub>): 4

Среднее время на обработку одной заявки одним прибором (t<sub>вых</sub>): 1

Данные по интервалу №2

Количество пришедших заявок N (за время t): 3

Средний интервал времени между поступлением заявок (t<sub>вх</sub>): 4

Среднее время на обработку одной заявки одним прибором (t<sub>вых</sub>): 2

Данные по интервалу №3

Количество пришедших заявок N (за время t): 4

Средний интервал времени между поступлением заявок (t<sub>вх</sub>): 1

Среднее время на обработку одной заявки одним прибором (t<sub>вых</sub>): 3

Количество обслуживающих приборов: 4

Максимальная длина очереди: 10

	Интервал 1	Интервал 2	Интервал 3
Интенсивность входного потока	0.5	0.75	4.0000
Интенсивность выходного потока	1.0	0.50	0.3333
Показатель нагруженности системы	0.5	1.50	12.0012

p0 - Бездействие

p1-p4 - Нагруженность системы без очереди

p5-p14 - Нагруженность системы с очередью

Рисунок 26. Входные данные в питон



Вероятности нахождения системы в каждом из состояний временного интервала 1

	p0	p1	p2	p3	p4	p5	p6	p7	p8	p9	p10	\
Вероятность, %	60.65	30.33	7.58	1.26	0.16	0.02	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	

	p11	p12	p13	p14
Вероятность, %	0.0	0.0	0.0	0.0

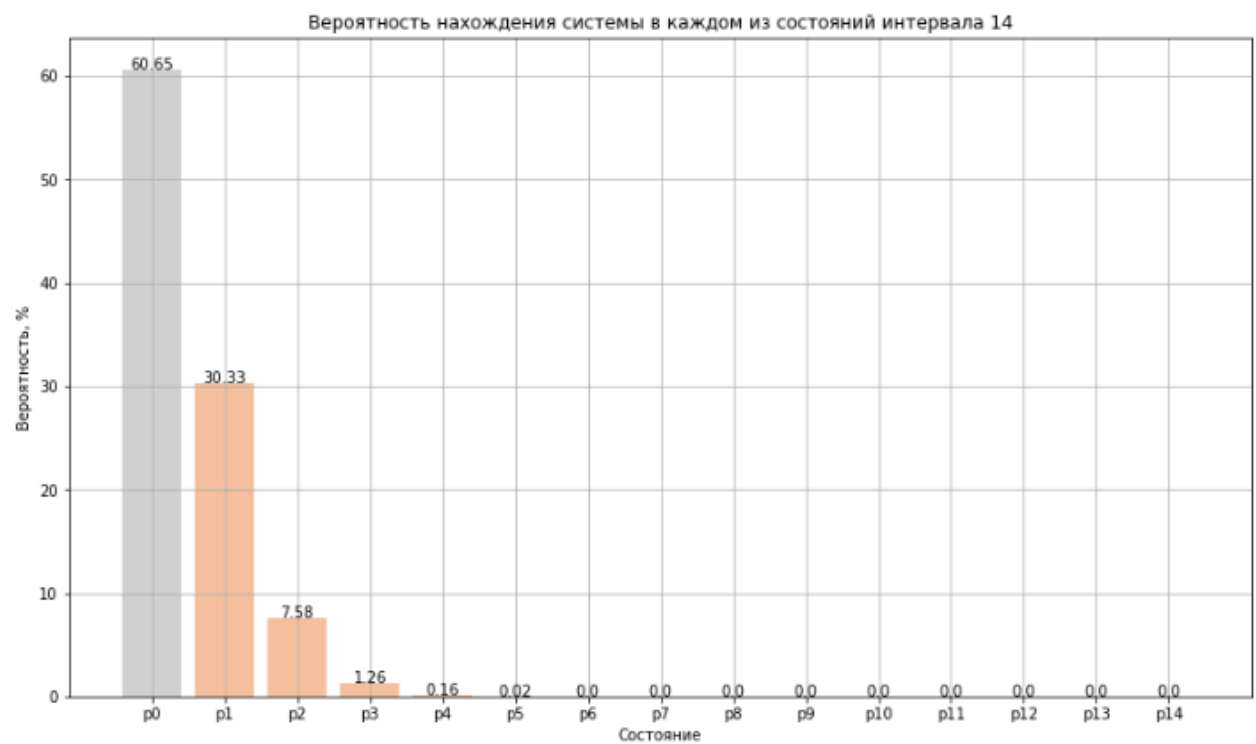


Рисунок 27. Выходные данные в питоне

Вероятности нахождения системы в каждом из состояний временного интервала 2

	p0	p1	p2	p3	p4	p5	p6	p7	p8	p9	\
Вероятность, %	22.1	33.15	24.86	12.43	4.66	1.75	0.66	0.25	0.09	0.04	

	p10	p11	p12	p13	p14
Вероятность, %	0.01	0.0	0.0	0.0	0.0

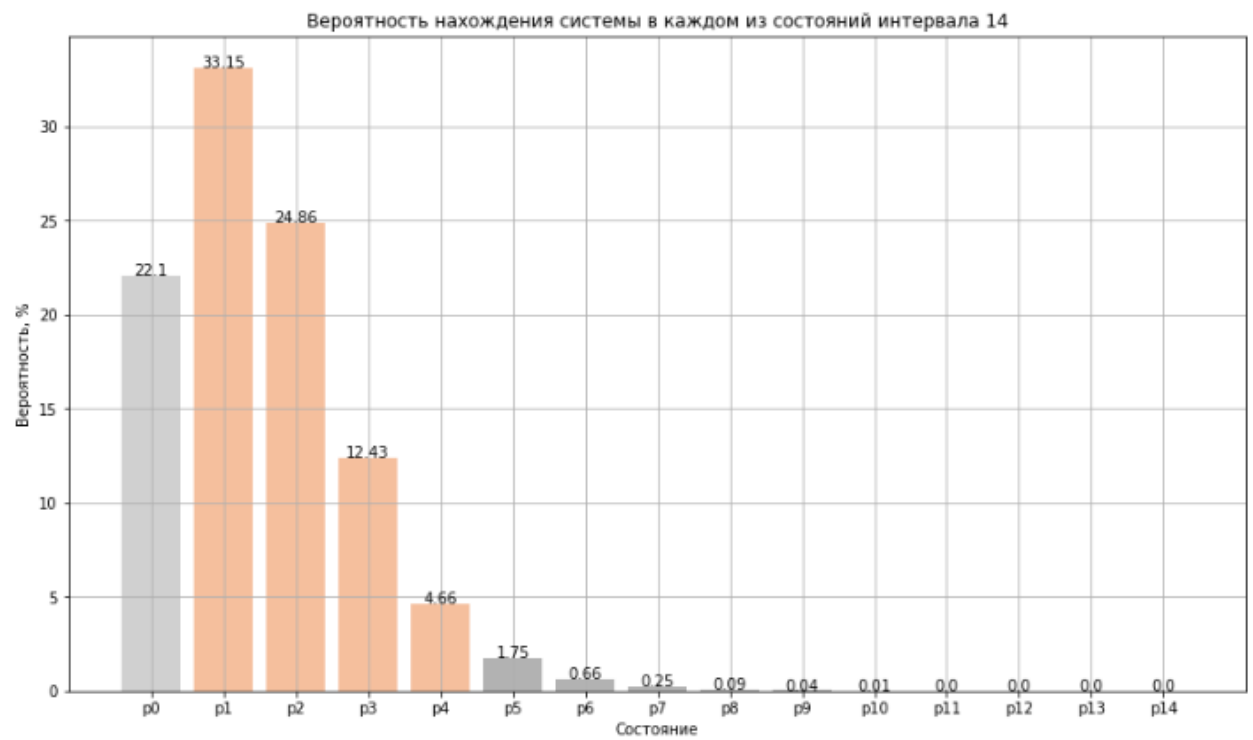


Рисунок 28. Выходные данные в питоне

Вероятности нахождения системы в каждом из состояний временного интервала 3

	p0	p1	p2	p3	p4	p5	p6	p7	p8	p9	p10 \
Вероятность, %	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.01	0.03	0.09	0.27	0.82

	p11	p12	p13	p14
Вероятность, %	2.47	7.41	22.22	66.67

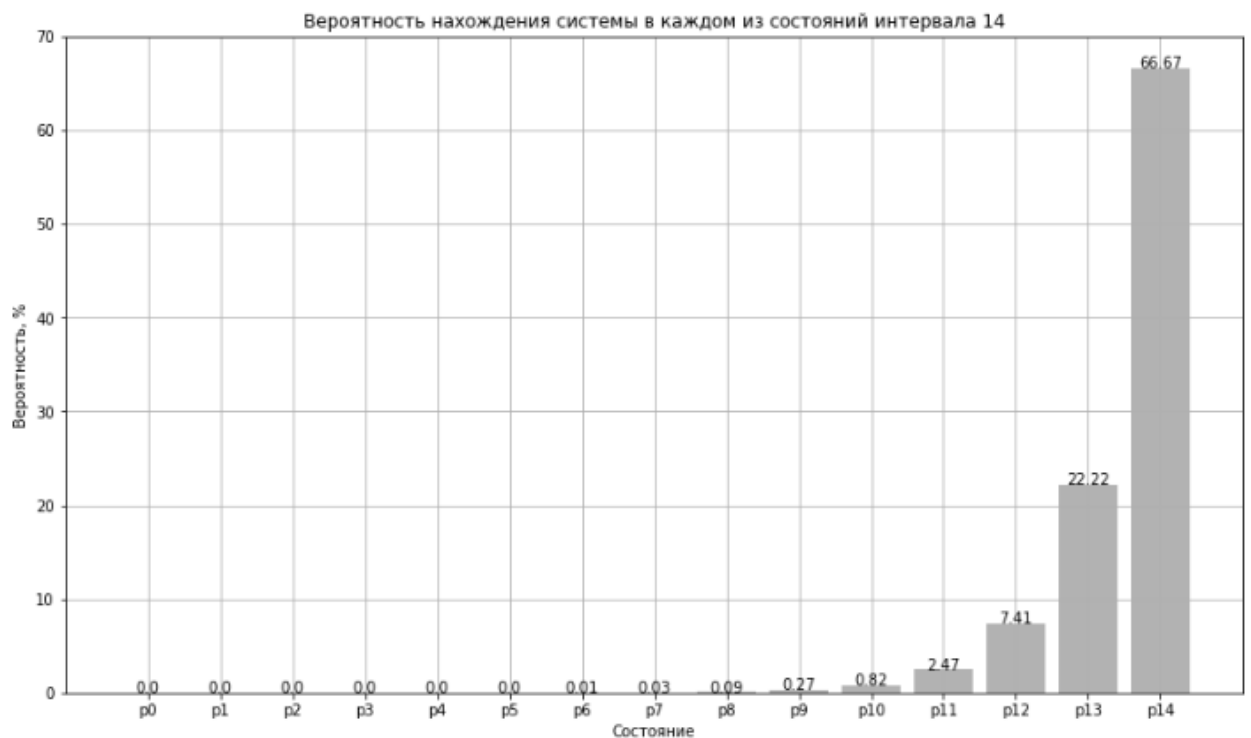


Рисунок 29. Выходные данные в питоне

#### Характеристика для клиентов

	Интервал 1	Интервал 2	Интервал 3
Вероятность отказа в обслуживании, %	0.00	0.000	66.67
Вероятность встать в очередь, %	0.02	2.800	33.32
Средняя длина очереди	0.00	0.045	0.00
Среднее время ожидания в очереди	0.00	0.060	0.00

#### Характеристика для владельца

	Интервал 1	Интервал 2	Интервал 3
Абсолютн. пропускная способн.	0.500	0.750	1.333
Относит. пропускная способн., %	1.000	1.000	0.333
Среднее число занятых приборов	0.500	1.500	3.999
Коэффициент простоя	0.875	0.625	0.000

Рисунок 30. Выходные данные в питоне

## 6.2.2 Метод Excel:

Вводим данные датасета в необходимые поля и получаем результат:

<b>Входной поток заявок</b>											
<b>Интервал 1</b>			<b>Интервал 2</b>			<b>Интервал 3</b>					
Количество автомобилей			Количество автомобилей			Количество автомобилей					
N =	2 авт.		N =	3 авт.		N =	4 авт.				
t =	4 мин		t =	4 мин		t =	1 мин				
<b>Интенсивность входного потока</b>			<b>Интенсивность входного потока</b>			<b>Интенсивность входного потока</b>					
I =	0,5 авт./мин		I =	0,75 авт./мин		I =	4 авт./мин				
<b>Выходной поток заявок</b>											
<b>Интервал 1</b>			<b>Интервал 2</b>			<b>Интервал 3</b>					
Время заправки одного авто			Время заправки одного авто			Время заправки одного авто					
t =	1 мин		t =	2 мин		t =	3 мин				
<b>Интенсивность выходного потока</b>			<b>Интенсивность выходного потока</b>			<b>Интенсивность выходного потока</b>					
u =	1 авт./мин		u =	0,5 авт./мин		u =	0,333333 авт./мин				
<b>Нагруженность системы</b>											
<b>Интервал 1</b>			<b>Интервал 2</b>			<b>Интервал 3</b>					
Показатель нагруженности системы			Показатель нагруженности системы			Показатель нагруженности системы					
p =	0,5		p =	1,5		p =	12				
Количество колонок											
n =	4										
Макс. длина очереди											
m =	10										

Выходной поток заявок									
Интервал 1			Интервал 2			Интервал 3			
Время заправки одного авто			Время заправки одного авто			Время заправки одного авто			
t =	1 мин		t =	2 мин		t =	3 мин		
Интенсивность выходного потока			Интенсивность выходного потока			Интенсивность выходного потока			
u =	1 авт./мин		u =	0,5 авт./мин		u =	0,33333 авт./мин		

Нагруженность системы											
Интервал 1		Интервал 2		Интервал 3							
Показатель нагруженности системы		Показатель нагруженности системы		Показатель нагруженности системы							
p =	0,5	p =	1,5	p =	12						
Количество колонок											
n =	4										
Макс. длина очереди											
m =	10										

Рисунок 31. Тест в экселе

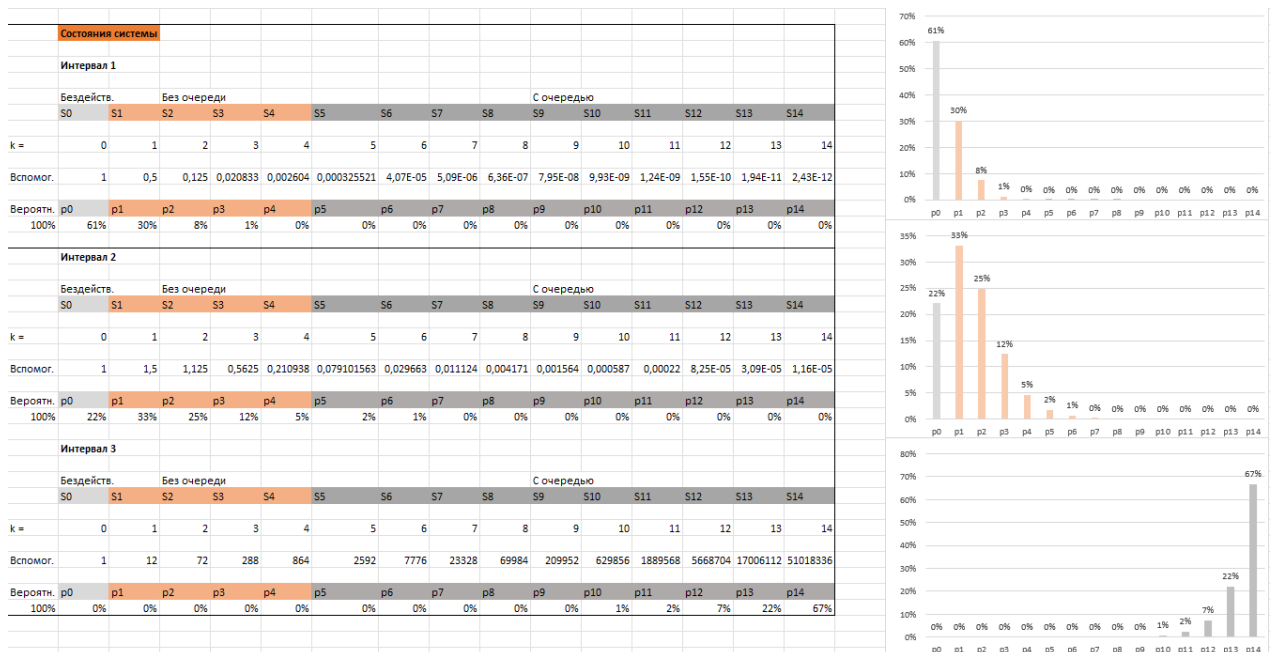


Рисунок 32. Тест в экселе

Характеристика для клиентов								
Интервал 1			Интервал 2			Интервал 3		
Вероятность отказа в обслуживании			Вероятность отказа в обслуживании			Вероятность отказа в обслуживании		
p_отк =			p_отк =			p_отк =		
0%			0%			67%		
Вероятность встать в очередь			Вероятность встать в очередь			Вероятность встать в очередь		
p_оч			p_оч			p_оч		
0%			3%			33%		
Средняя длина очереди			Средняя длина очереди			Средняя длина очереди		
L_оч			L_оч			L_оч		
0,000258			0,044733607			9,500016		
Среднее время ожидания в очереди			Среднее время ожидания в очереди			Среднее время ожидания в очереди		
T_оч =			T_оч =			T_оч =		
0,000516 мин			0,059644963 мин			7,125023 мин		
Характеристика для владельцев								
Интервал 1			Интервал 2			Интервал 3		
Абсол. Пропускная способность			Абсол. Пропускная способность			Абсол. Пропускная способность		
A =			A =			A =		
0,5 авт/мин			0,749998077 авт/мин			1,333331 авт/мин		
Относ.Пропускная способность			Относ.Пропускная способность			Относ.Пропускная способность		
Q =			Q =			Q =		
100%			100%			33%		
Среднее колич. Занятых колонок			Среднее колич. Занятых колонок			Среднее колич. Занятых колонок		
n_занятых =			n_занятых =			n_занятых =		
0,5			1,499996			3,999994		
Коэффициент простоя колонок			Коэффициент простоя колонок			Коэффициент простоя колонок		
K_простоя =			K_простоя =			K_простоя =		
0,875			0,625001			1,54E-06		

Рисунок 33. Тест в экселе

### 6.3. Тестирование Датасета №3:

#### 6.3.1 Метод Python:

Вводим необходимое количество интервалов, определяем количество пришедших заявок, средний интервал времени между поступлением заявок и среднее время на обработку одной заявки одним прибором, повторяем процедуру по количеству введенных интервалов.

Количество интервалов: 3

Данные по интервалу №1

Количество пришедших заявок  $N$  (за время  $t$ ): 3

Средний интервал времени между поступлением заявок ( $t_{вх}$ ): 4

Среднее время на обработку одной заявки одним прибором ( $t_{вых}$ ): 1

Данные по интервалу №2

Количество пришедших заявок  $N$  (за время  $t$ ): 5

Средний интервал времени между поступлением заявок ( $t_{вх}$ ): 1

Среднее время на обработку одной заявки одним прибором ( $t_{вых}$ ): 2

Данные по интервалу №3

Количество пришедших заявок  $N$  (за время  $t$ ): 4

Средний интервал времени между поступлением заявок ( $t_{вх}$ ): 4

Среднее время на обработку одной заявки одним прибором ( $t_{вых}$ ): 1

Количество обслуживающих приборов: 4

Максимальная длина очереди: 10

	Интервал 1	Интервал 2	Интервал 3
Интенсивность входного потока	0.75	5.0	1.0
Интенсивность выходного потока	1.00	0.5	1.0
Показатель нагрузки системы	0.75	10.0	1.0

$p_0$  - Бездействие

$p_1$ - $p_4$  - Нагруженность системы без очереди

$p_5$ - $p_{14}$  - Нагруженность системы с очередью

Рисунок 34. Входные данные в питон

Вероятности нахождения системы в каждом из состояний временного интервала 1

	p0	p1	p2	p3	p4	p5	p6	p7	p8	p9	\
Вероятность, %	47.22	35.41	13.28	3.32	0.62	0.12	0.02	0.0	0.0	0.0	

	p10	p11	p12	p13	p14
Вероятность, %	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

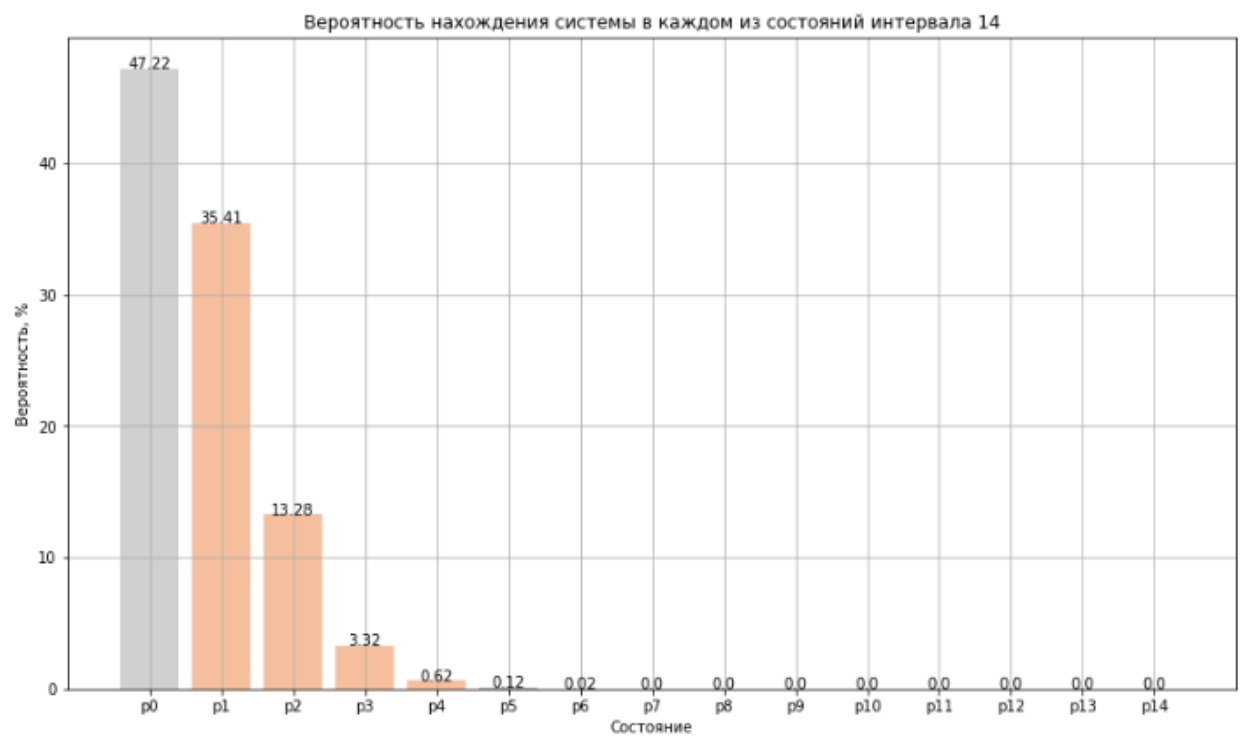


Рисунок 35. Выходные данные в питоне

Вероятности нахождения системы в каждом из состояний временного интервала 2

	p0	p1	p2	p3	p4	p5	p6	p7	p8	p9	p10	\
Вероятность, %	0.0	0.0	0.0	0.0	0.01	0.02	0.04	0.1	0.25	0.61	1.54	

	p11	p12	p13	p14
Вероятность, %	3.84	9.6	24.0	60.0

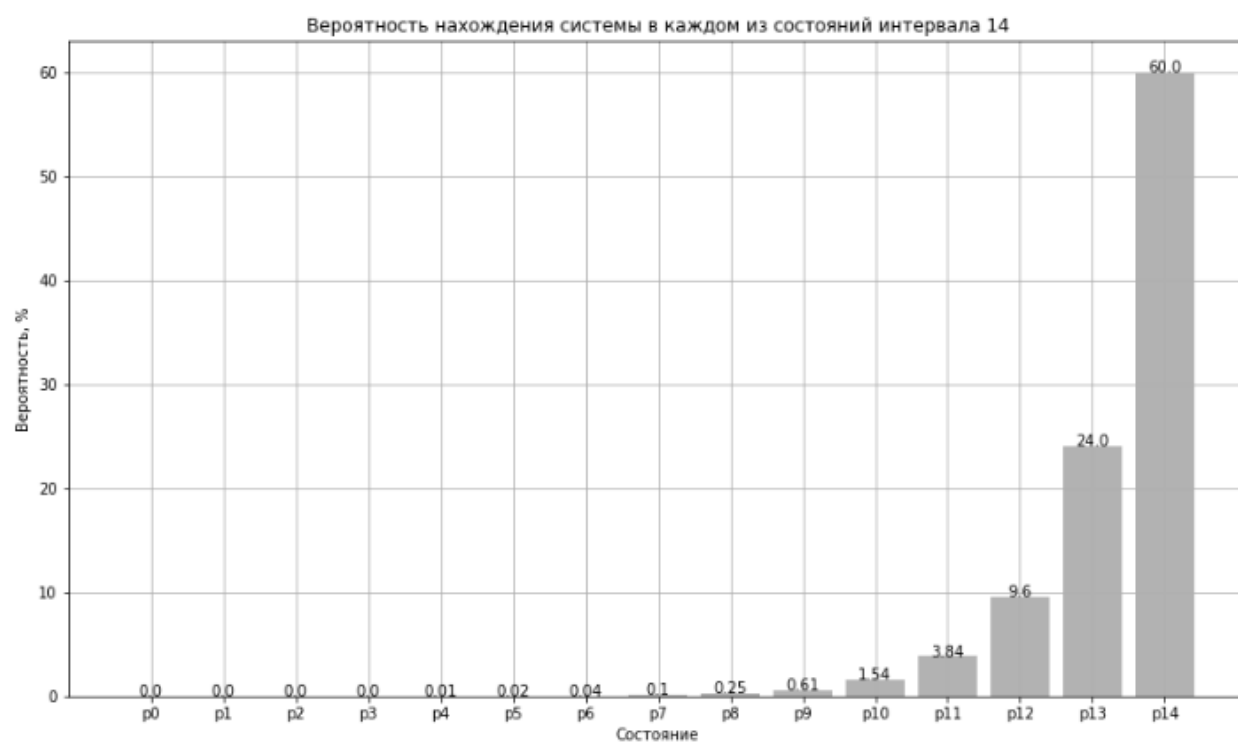


Рисунок 36. Выходные данные в питоне



Вероятности нахождения системы в каждом из состояний временного интервала 3

	p0	p1	p2	p3	p4	p5	p6	p7	p8	p9	\
Вероятность, %	36.73	36.73	18.37	6.12	1.53	0.38	0.1	0.03	0.01	0.0	

	p10	p11	p12	p13	p14
Вероятность, %	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

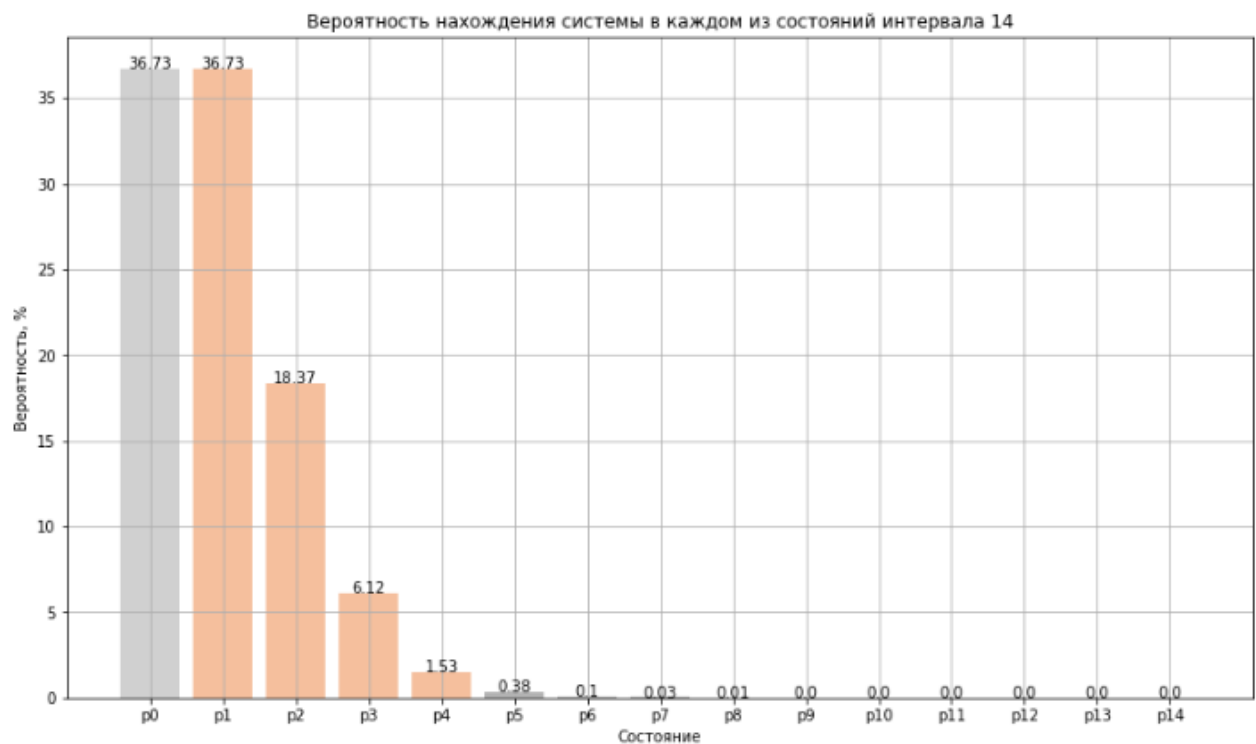


Рисунок 37. Выходные данные в питоне

#### Характеристика для клиентов

	Интервал 1	Интервал 2	Интервал 3
Вероятность отказа в обслуживании, %	0.000	60.0	0.000
Вероятность встать в очередь, %	0.140	40.0	0.520
Средняя длина очереди	0.002	0.0	0.007
Среднее время ожидания в очереди	0.003	0.0	0.007

#### Характеристика для владельца

	Интервал 1	Интервал 2	Интервал 3
Абсолютн. пропускная способн.	0.750	2.0	1.00
Относит. пропускная способн., %	1.000	0.4	1.00
Среднее число занятых приборов	0.750	4.0	1.00
Коэффициент простоя	0.812	0.0	0.75

Рисунок 38. Выходные данные в питоне

### 6.3.2 Метод Excel:

Вводим данные датасета в необходимые поля и получаем результат:

<b>Входной поток заявок</b>											
<b>Интервал 1</b>			<b>Интервал 2</b>			<b>Интервал 3</b>					
Количество автомобилей			Количество автомобилей			Количество автомобилей					
N =	3 авт.		N =	5 авт.		N =	4 авт.				
t =	4 мин		t =	1 мин		t =	4 мин				
<b>Интенсивность входного потока</b>			<b>Интенсивность входного потока</b>			<b>Интенсивность входного потока</b>					
I =	0,75 авт./мин		I =	5 авт./мин		I =	1 авт./мин				
<b>Выходной поток заявок</b>											
<b>Интервал 1</b>			<b>Интервал 2</b>			<b>Интервал 3</b>					
Время заправки одного авто			Время заправки одного авто			Время заправки одного авто					
t =	1 мин		t =	2 мин		t =	1 мин				
<b>Интенсивность выходного потока</b>			<b>Интенсивность выходного потока</b>			<b>Интенсивность выходного потока</b>					
u =	1 авт./мин		u =	0,5 авт./мин		u =	1 авт./мин				
<b>Нагруженность системы</b>											
<b>Интервал 1</b>			<b>Интервал 2</b>			<b>Интервал 3</b>					
Показатель нагруженности системы			Показатель нагруженности системы			Показатель нагруженности системы					
p =	0,75		p =	10		p =	1				
Количество колонок											
n =	9										
Макс. длина очереди											
m =	81										

Рисунок 39. Тест в экселе

Состояния системы															
Интервал 1															
Бездейств.								С очереди							
S0	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	S12	S13	S14	
k =	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Вспомог.	1	0,75	0,28125	0,070313	0,013184	0,004290554	0,000358	2,98E-05	2,48E-06	2,07E-07	1,72E-08	1,44E-09	1,2E-10	9,98E-12	8,32E-13
Вероятн.	p0	p1	p2	p3	p4	p5	p6	p7	p8	p9	p10	p11	p12	p13	p14
100%	47%	35%	13%	3%	1%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Интервал 2															
Бездейств.								С очереди							
S0	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	S12	S13	S14	
k =	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Вспомог.	1	10	50	166,6667	416,6667	1808,035714	2008,929	2232,143	2480,159	2755,732	3061,924	3402,138	3780,154	4200,171	4666,856
Вероятн.	p0	p1	p2	p3	p4	p5	p6	p7	p8	p9	p10	p11	p12	p13	p14
100%	0%	0%	0%	1%	1%	6%	6%	7%	8%	9%	10%	11%	12%	14%	15%
Интервал 3															
Бездейств.								С очереди							
S0	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	S12	S13	S14	
k =	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Вспомог.	1	1	0,5	0,166667	0,041667	0,018080357	0,002009	0,000223	2,48E-05	2,76E-06	3,06E-07	3,4E-08	3,78E-09	4,2E-10	4,67E-11
Вероятн.	p0	p1	p2	p3	p4	p5	p6	p7	p8	p9	p10	p11	p12	p13	p14
100%	37%	37%	18%	6%	2%	1%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%

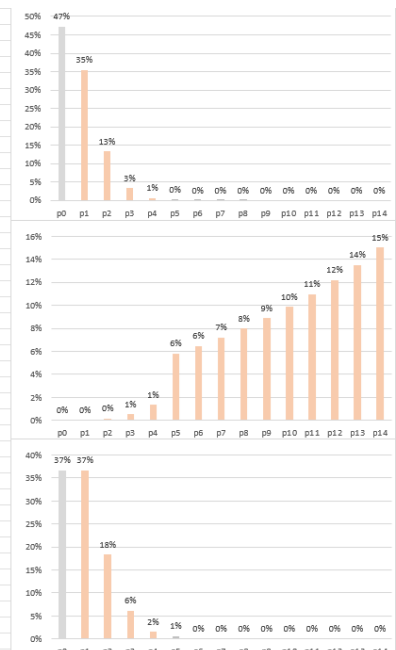


Рисунок 40. Тест в экселе

Характеристика для клиентов		
Интервал 1		
Вероятность отказа в обслуживании	p_отк =	0%
Вероятность встать в очередь	p_оч	0%
Средняя длина очереди	L_оч	9,68E-09
Среднее время ожидания в очереди	T_оч =	1,29E-08 мин
Интервал 2		
Вероятность отказа в обслуживании	p_отк =	15%
Вероятность встать в очередь	p_оч	83%
Средняя длина очереди	L_оч	325092,6343
Среднее время ожидания в очереди	T_оч =	76523,62137 мин
Интервал 3		
Вероятность отказа в обслуживании	p_отк =	0%
Вероятность встать в очередь	p_оч	1%
Средняя длина очереди	L_оч	1,42E-07
Среднее время ожидания в очереди	T_оч =	1,42E-07 мин
Характеристика для владельцев		
Интервал 1		
Абсол. Пропускная способность	A =	0,75 авт/мин
Относ.Пропускная способность	Q =	100%
Среднее колич. Занятых колонок	n_занятых =	0,75
Коэффициент простоя колонок	K_простоя =	0,916667
Интервал 2		
Абсол. Пропускная способность	A =	4,248265156 авт/мин
Относ.Пропускная способность	Q =	85%
Среднее колич. Занятых колонок	n_занятых =	8,49653
Коэффициент простоя колонок	K_простоя =	0,055941
Интервал 3		
Абсол. Пропускная способность	A =	1 авт/мин
Относ.Пропускная способность	Q =	100%
Среднее колич. Занятых колонок	n_занятых =	1
Коэффициент простоя колонок	K_простоя =	0,888889

Рисунок 41. Тест в экселе

## 6.4. Тестирование Датасета №4:

### 6.4.1 Метод Python:

Вводим необходимое количество интервалов, определяем количество пришедших заявок, средний интервал времени между поступлением заявок и среднее время на обработку одной заявки одним прибором, повторяем процедуру по количеству введенных интервалов.

Количество интервалов: 3

Данные по интервалу №1

Количество пришедших заявок  $N$  (за время  $t$ ): 5

Средний интервал времени между поступлением заявок ( $t_{вх}$ ): 2

Среднее время на обработку одной заявки одним прибором ( $t_{вых}$ ): 1

Данные по интервалу №2

Количество пришедших заявок  $N$  (за время  $t$ ): 5

Средний интервал времени между поступлением заявок ( $t_{вх}$ ): 4

Среднее время на обработку одной заявки одним прибором ( $t_{вых}$ ): 2

Данные по интервалу №3

Количество пришедших заявок  $N$  (за время  $t$ ): 3

Средний интервал времени между поступлением заявок ( $t_{вх}$ ): 1

Среднее время на обработку одной заявки одним прибором ( $t_{вых}$ ): 1

Количество обслуживающих приборов: 4

Максимальная длина очереди: 10

	Интервал 1	Интервал 2	Интервал 3
Интенсивность входного потока	2.5	1.25	3.0
Интенсивность выходного потока	1.0	0.50	1.0
Показатель нагрузки системы	2.5	2.50	3.0

$r_0$  - Бездействие

$r_1$ - $r_4$  - Нагруженность системы без очереди

$r_5$ - $r_{14}$  - Нагруженность системы с очередью

Рисунок 42. Входные данные в питон

Вероятности нахождения системы в каждом из состояний временного интервала 1

	p0	p1	p2	p3	p4	p5	p6	p7	p8	\
Вероятность, %	7.38	18.46	23.07	19.23	12.02	7.51	4.69	2.93	1.83	

	p9	p10	p11	p12	p13	p14
Вероятность, %	1.15	0.72	0.45	0.28	0.17	0.11

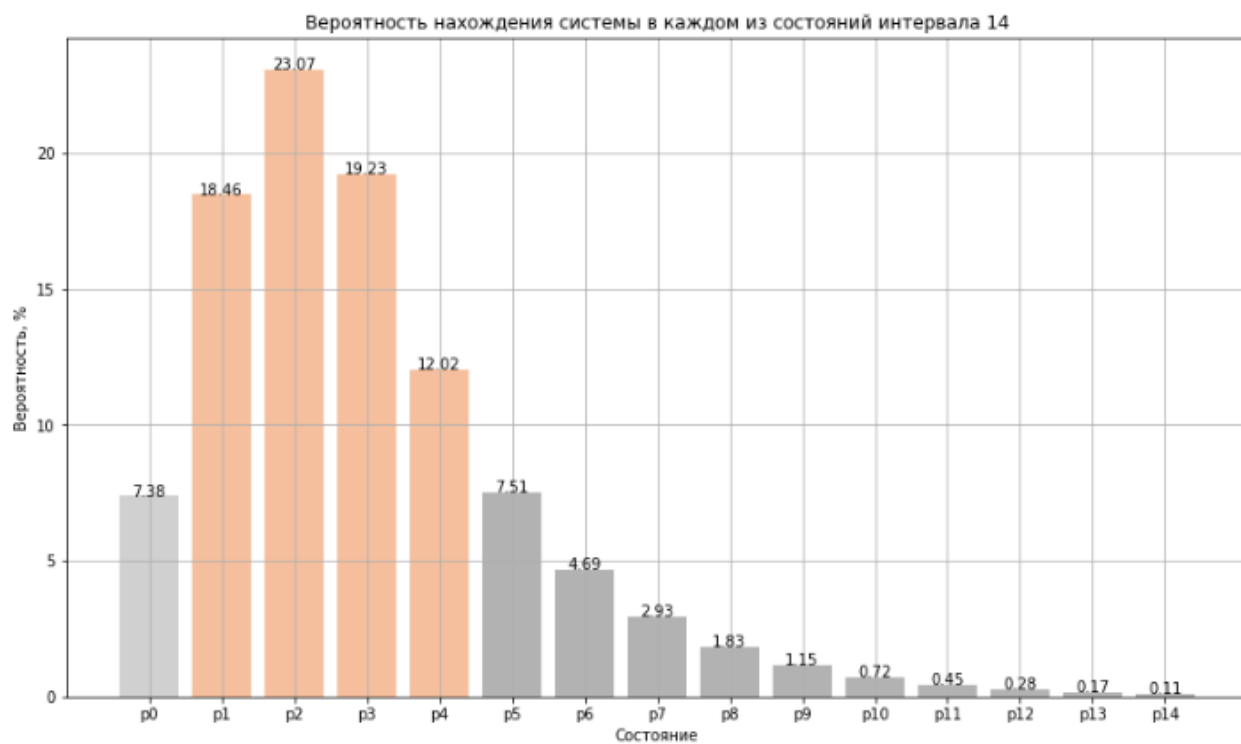


Рисунок 43. Выходные данные в питоне

Вероятности нахождения системы в каждом из состояний временного интервала 2

	p0	p1	p2	p3	p4	p5	p6	p7	p8	\
Вероятность, %	7.38	18.46	23.07	19.23	12.02	7.51	4.69	2.93	1.83	

	p9	p10	p11	p12	p13	p14
Вероятность, %	1.15	0.72	0.45	0.28	0.17	0.11

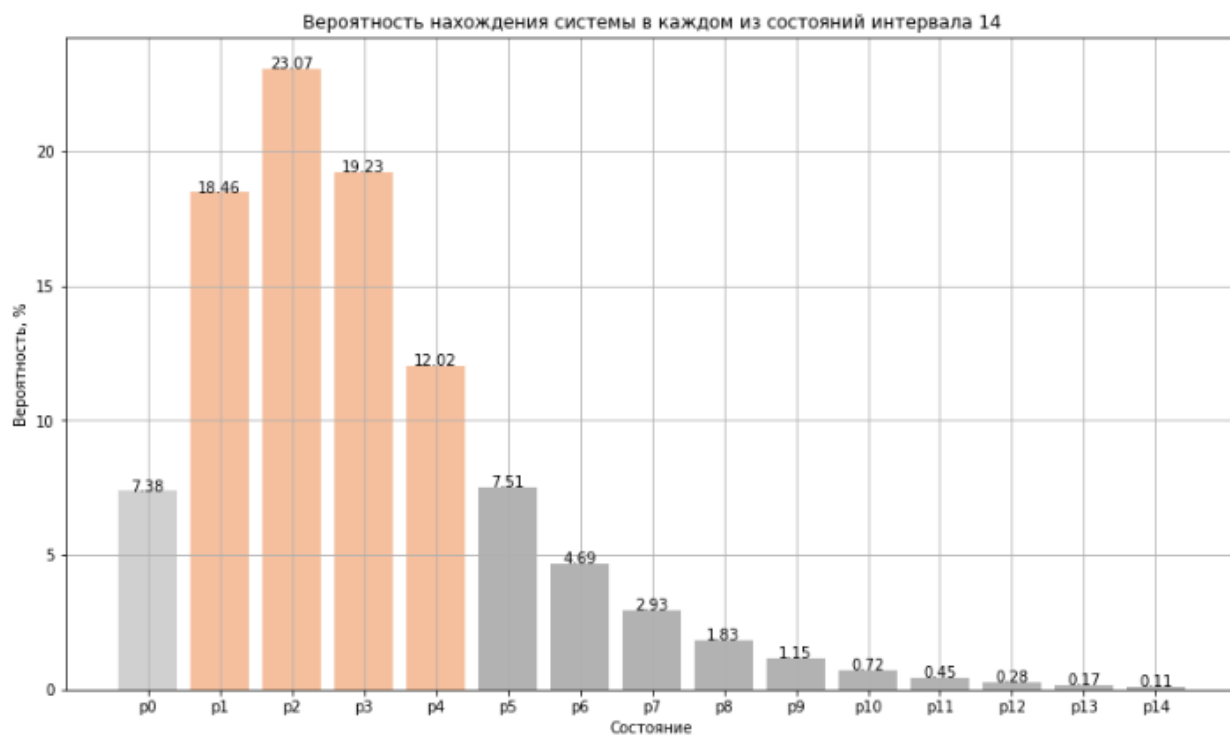


Рисунок 44. Выходные данные в питоне

Вероятности нахождения системы в каждом из состояний временного интервала 3

	p0	p1	p2	p3	p4	p5	p6	p7	p8	\
Вероятность, %	3.86	11.57	17.35	17.35	13.02	9.76	7.32	5.49	4.12	

	p9	p10	p11	p12	p13	p14
Вероятность, %	3.09	2.32	1.74	1.3	0.98	0.73

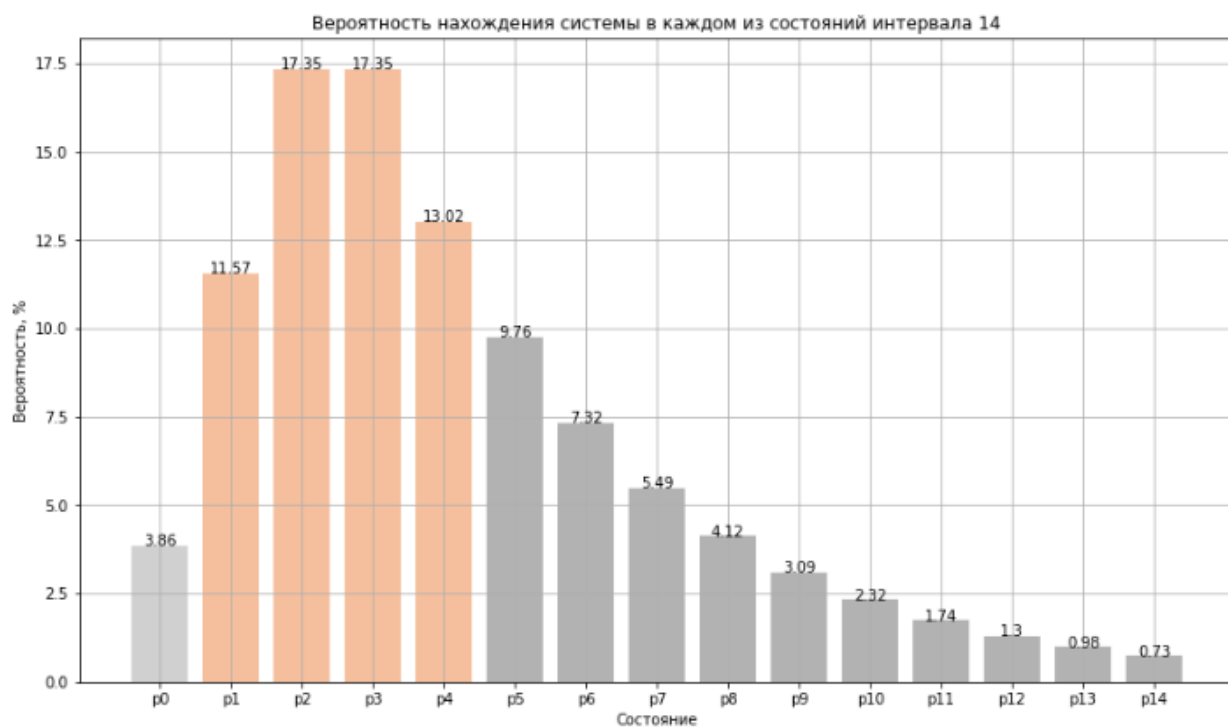


Рисунок 45. Выходные данные в питоне

#### Характеристика для клиентов

	Интервал 1	Интервал 2	Интервал 3
Вероятность отказа в обслуживании, %	0.110	0.110	0.730
Вероятность встать в очередь, %	19.730	19.730	36.120
Средняя длина очереди	0.511	0.511	1.255
Среднее время ожидания в очереди	0.205	0.409	0.421

#### Характеристика для владельца

	Интервал 1	Интервал 2	Интервал 3
Абсолютн. пропускная способн.	2.497	1.249	2.978
Относит. пропускная способн., %	0.999	0.999	0.993
Среднее число занятых приборов	2.497	2.498	2.978
Коэффициент простоя	0.376	0.375	0.255

Рисунок 46. Выходные данные в питоне

### 6.4.2 Метод Excel:

Вводим данные датасета в необходимые поля и получаем результат:

Входной поток заявок											
Интервал 1			Интервал 2			Интервал 3					
Количество автомобилей			Количество автомобилей			Количество автомобилей					
N =	5 авт.		N =	5 авт.		N =	3 авт.				
t =	2 мин		t =	4 мин		t =	1 мин				
Интенсивность входного потока			Интенсивность входного потока			Интенсивность входного потока					
I =	2,5 авт./мин		I =	1,25 авт./мин		I =	3 авт./мин				
Выходной поток заявок											
Интервал 1			Интервал 2			Интервал 3					
Время заправки одного авто			Время заправки одного авто			Время заправки одного авто					
t =	1 мин		t =	2 мин		t =	1 мин				
Интенсивность выходного потока			Интенсивность выходного потока			Интенсивность выходного потока					
u =	1 авт./мин		u =	0,5 авт./мин		u =	1 авт./мин				
Нагруженность системы											
Интервал 1			Интервал 2			Интервал 3					
Показатель нагруженности системы			Показатель нагруженности системы			Показатель нагруженности системы					
p =	2,5		p =	2,5		p =	3				
Количество колонок											
n =	4										
Макс. длина очереди											
m =	10										

Рисунок 47. Тест в экселе



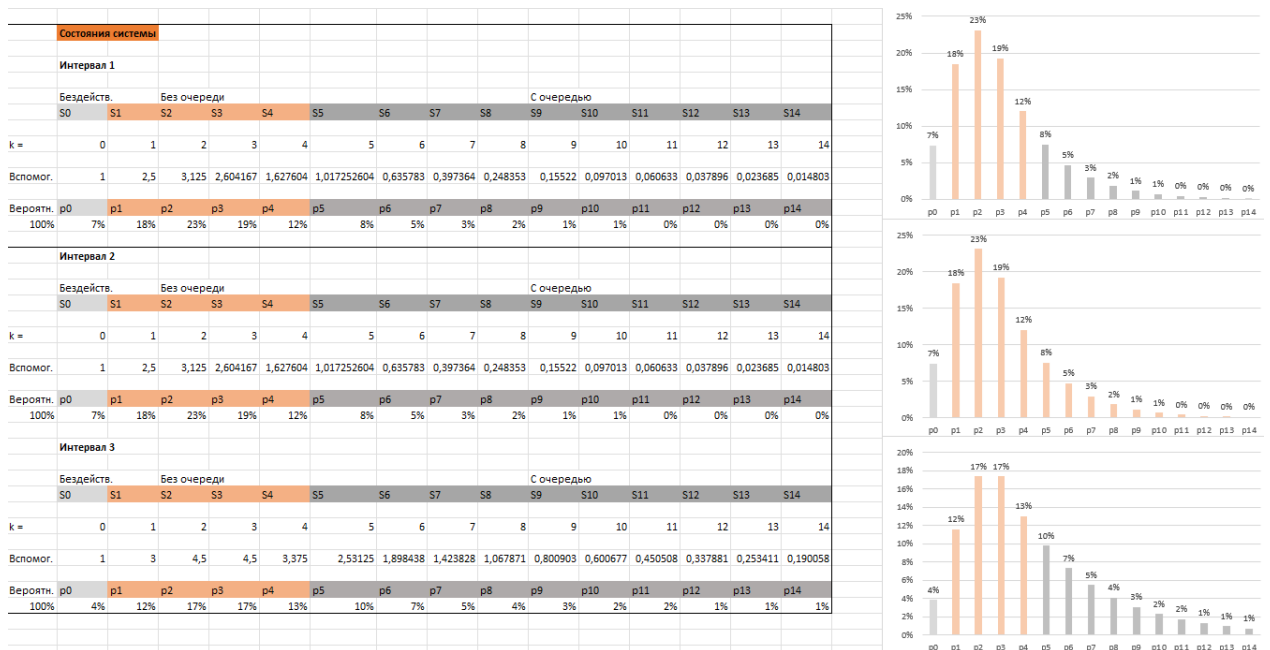


Рисунок 48. Тест в экселе

Характеристика для клиентов		
Интервал 1	Интервал 2	Интервал 3
Вероятность отказа в обслуживании p_отк = 0%	Вероятность отказа в обслуживании p_отк = 0%	Вероятность отказа в обслуживании p_отк = 1%
Вероятность встать в очередь p_оч 20%	Вероятность встать в очередь p_оч 20%	Вероятность встать в очередь p_оч 36%
Средняя длина очереди L_оч 0,510993	Средняя длина очереди L_оч 0,510993367	Средняя длина очереди L_оч 1,25406
Среднее время ожидания в очереди T_оч = 0,204621 мин	Среднее время ожидания в очереди T_оч = 0,409241951 мин	Среднее время ожидания в очереди T_оч = 0,421107 мин
Характеристика для владельцев		
Интервал 1	Интервал 2	Интервал 3
Абсол. Пропускная способность A = 2,497268 авт/мин	Абсол. Пропускная способность A = 1,248633885 авт/мин	Абсол. Пропускная способность A = 2,978011 авт/мин
Относ.Пропускная способность Q = 100%	Относ.Пропускная способность Q = 100%	Относ.Пропускная способность Q = 99%
Среднее колич. Занятых колонок n_занятых = 2,497268	Среднее колич. Занятых колонок n_занятых = 2,497268	Среднее колич. Занятых колонок n_занятых = 2,978011
Коэффициент простоя колонок K_простоя = 0,375683	Коэффициент простоя колонок K_простоя = 0,375683	Коэффициент простоя колонок K_простоя = 0,255497

Рисунок 49. Тест в экселе

## 6.5. Тестирование Датасета №5:

### 6.5.1 Метод Python:

Вводим необходимое количество интервалов, определяем количество пришедших заявок, средний интервал времени между поступлением заявок и среднее время на обработку одной заявки одним прибором, повторяем процедуру по количеству введенных интервалов.

Количество интервалов: 3

Данные по интервалу №1

Количество пришедших заявок N (за время t): 6

Средний интервал времени между поступлением заявок (t<sub>вх</sub>): 1

Среднее время на обработку одной заявки одним прибором (t<sub>вых</sub>): 3

Данные по интервалу №2

Количество пришедших заявок N (за время t): 4

Средний интервал времени между поступлением заявок (t<sub>вх</sub>): 2

Среднее время на обработку одной заявки одним прибором (t<sub>вых</sub>): 2

Данные по интервалу №3

Количество пришедших заявок N (за время t): 1

Средний интервал времени между поступлением заявок (t<sub>вх</sub>): 3

Среднее время на обработку одной заявки одним прибором (t<sub>вых</sub>): 4

Количество обслуживающих приборов: 4

Максимальная длина очереди: 10

	Интервал 1	Интервал 2	Интервал 3
Интенсивность входного потока	6.0000	2.0	0.3333
Интенсивность выходного потока	0.3333	0.5	0.2500
Показатель нагруженности системы	18.0018	4.0	1.3332

p0 - Бездействие

p1-p4 - Нагруженность системы без очереди

p5-p14 - Нагруженность системы с очередью

Рисунок 50. Входные данные в питон

Вероятности нахождения системы в каждом из состояний временного интервала 1

	p0	p1	p2	p3	p4	p5	p6	p7	p8	p9	p10	\
Вероятность, %	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.01	0.04	0.19	

	p11	p12	p13	p14
Вероятность, %	0.85	3.84	17.28	77.78

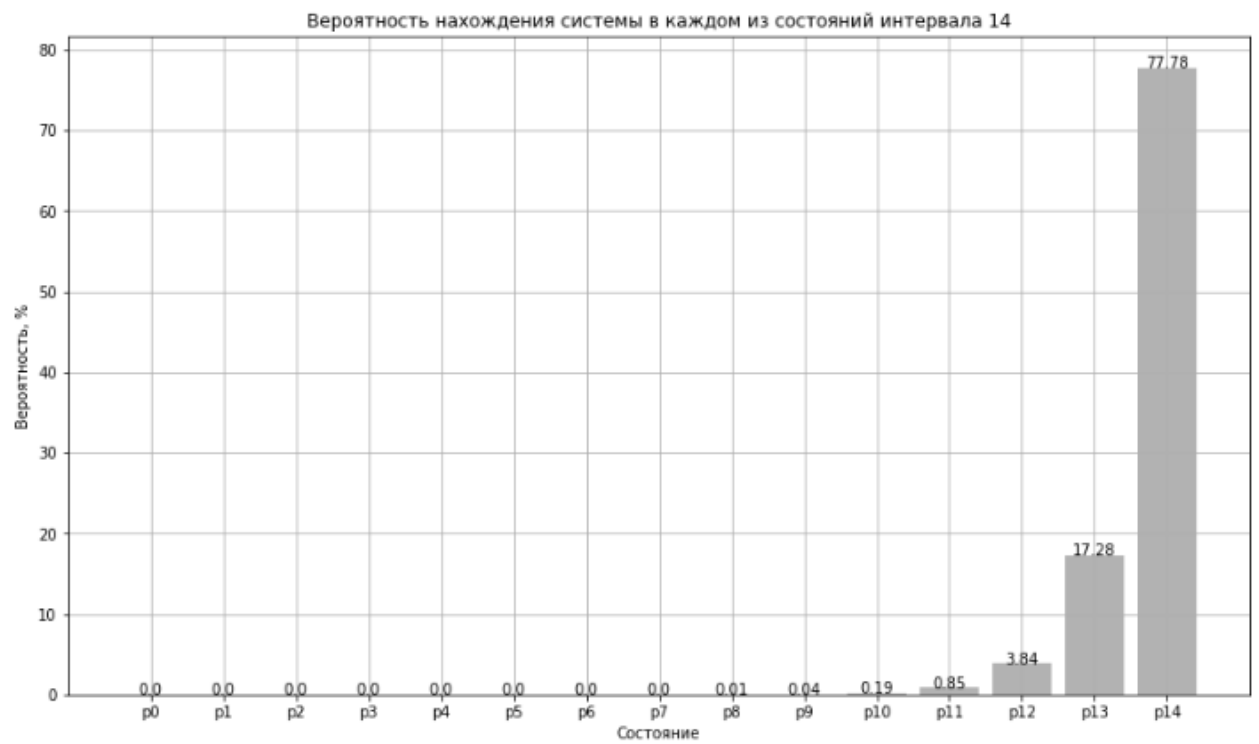


Рисунок 51. Выходные данные в питоне

Вероятности нахождения системы в каждом из состояний временного интервала 2

	p0	p1	p2	p3	p4	p5	p6	p7	p8	p9 \
Вероятность, %	0.71	2.84	5.67	7.57	7.57	7.57	7.57	7.57	7.57	7.57

	p10	p11	p12	p13	p14
Вероятность, %	7.57	7.57	7.57	7.57	7.57

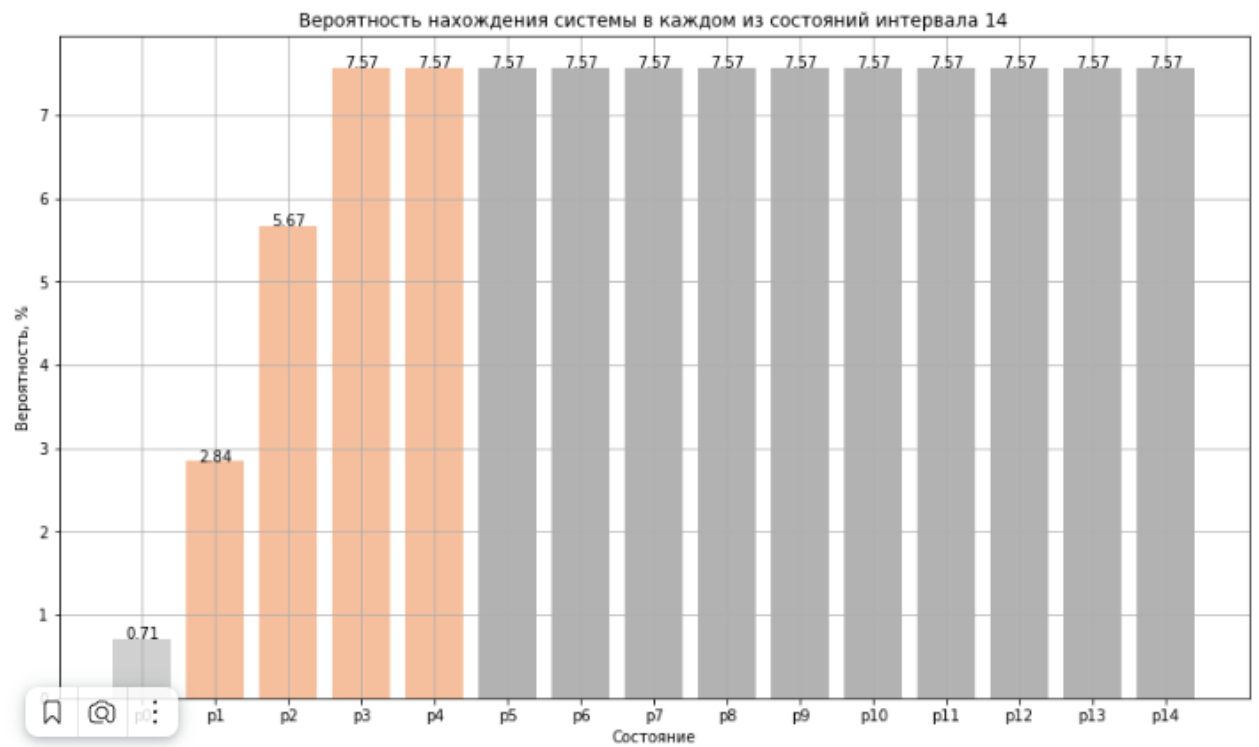


Рисунок 52. Выходные данные в питоне

Вероятности нахождения системы в каждом из состояний временного интервала 3

	p0	p1	p2	p3	p4	p5	p6	p7	p8	p9 \
Вероятность, %	26.22	34.95	23.3	10.35	3.45	1.15	0.38	0.13	0.04	0.01

	p10	p11	p12	p13	p14
Вероятность, %	0.01	0.0	0.0	0.0	0.0

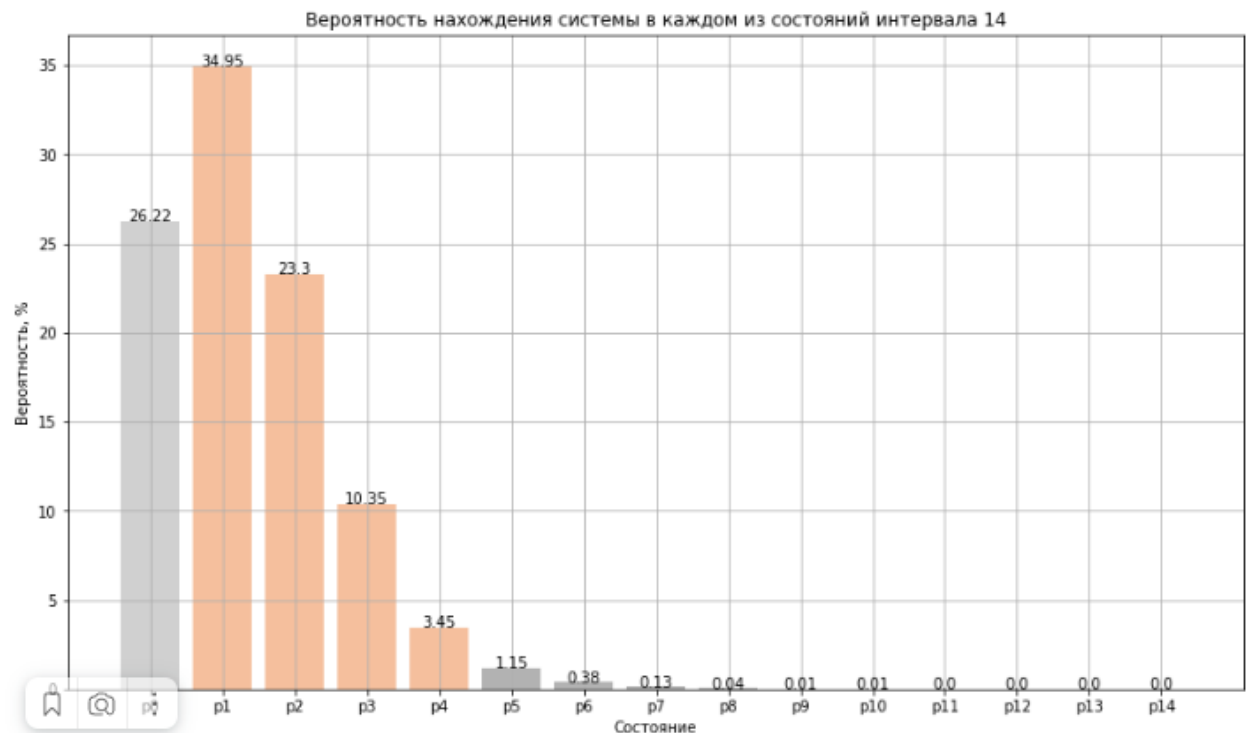


Рисунок 53. Выходные данные в питоне

#### Характеристика для клиентов

	Интервал 1	Интервал 2	Интервал 3
Вероятность отказа в обслуживании, %	77.78	7.57	0.000
Вероятность встать в очередь, %	22.21	68.13	1.720
Средняя длина очереди	0.00	0.00	0.026
Среднее время ожидания в очереди	0.00	0.00	0.078

#### Характеристика для владельца

	Интервал 1	Интервал 2	Интервал 3
Абсолютн. пропускная способн.	1.333	1.849	0.333
Относит. пропускная способн., %	0.222	0.924	1.000
Среднее число занятых приборов	3.999	3.698	1.332
Коэффициент простоя	0.000	0.076	0.667

Рисунок 54. Выходные данные в питоне

## 6.5.2 Метод Excel:

Вводим данные датасета в необходимые поля и получаем результат:



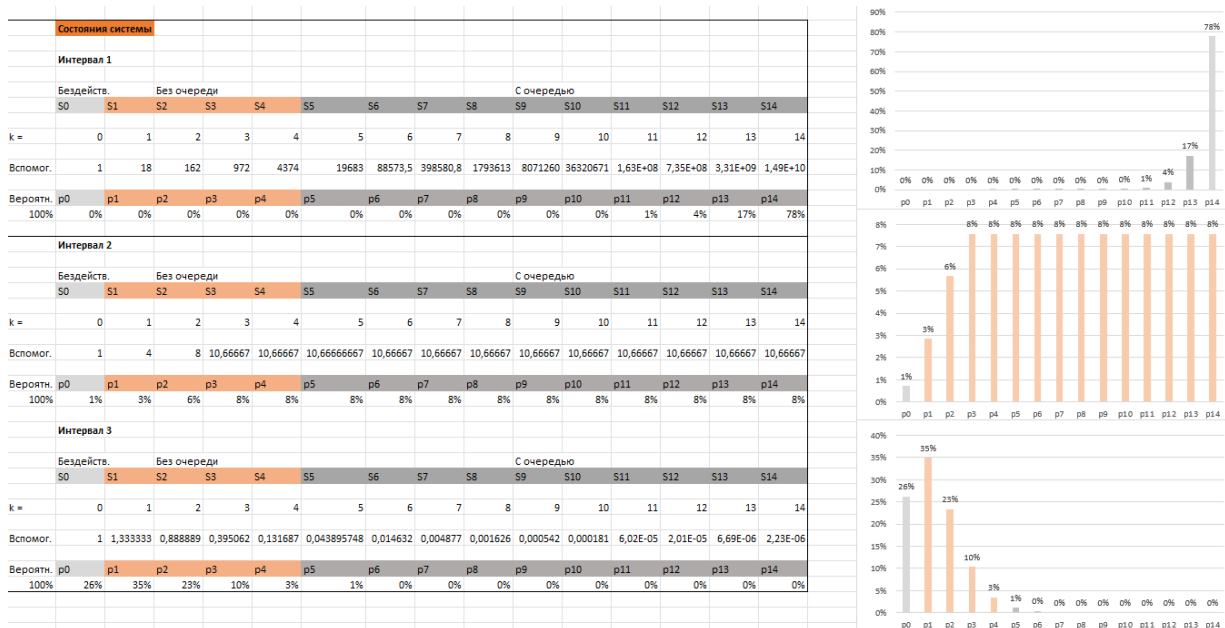


Рисунок 56. Тест в экселе

Характеристика для клиентов		
Интервал 1	Интервал 2	Интервал 3
Вероятность отказа в обслуживании p_отк = 78%	Вероятность отказа в обслуживании p_отк = 8%	Вероятность отказа в обслуживании p_отк = 0%
Вероятность встать в очередь p_оч 22%	Вероятность встать в очередь p_оч 68%	Вероятность встать в очередь p_оч 2%
Средняя длина очереди L_оч 9,714286	Средняя длина очереди L_оч #ДЕЛ/0!	Средняя длина очереди L_оч 0,025887
Среднее время ожидания в очереди T_оч = 7,285715 мин	Среднее время ожидания в очереди T_оч = #ДЕЛ/0! мин	Среднее время ожидания в очереди T_оч = 0,07766 мин
Характеристика для владельцев		
Интервал 1	Интервал 2	Интервал 3
Абсол. Пропускная способность A = 1,333333 авт/мин	Абсол. Пропускная способность A = 1,848699764 авт/мин	Абсол. Пропускная способность A = 0,333333 авт/мин
Относ.Пропускная способность Q = 22%	Относ.Пропускная способность Q = 92%	Относ.Пропускная способность Q = 100%
Среднее колич. Занятых колонок n_занятых = 4	Среднее колич. Занятых колонок n_занятых = 3,6974	Среднее колич. Занятых колонок n_занятых = 1,333333
Коэффициент простоя колонок K_простоя = 1,77E-08	Коэффициент простоя колонок K_простоя = 0,07565	Коэффициент простоя колонок K_простоя = 0,666667

Рисунок 57. Тест в экселе

## 7. Заключение.

Представленный нами код решает поставленную задачу.

Количество интервалов: 3

Данные по интервалу №1

Количество пришедших заявок  $N$  (за время  $t$ ): 3

Средний интервал времени между поступлением заявок ( $t_{вх}$ ): 2

Среднее время на обработку одной заявки одним прибором ( $t_{вых}$ ): 1

Данные по интервалу №2

Количество пришедших заявок  $N$  (за время  $t$ ): 1

Средний интервал времени между поступлением заявок ( $t_{вх}$ ): 2

Среднее время на обработку одной заявки одним прибором ( $t_{вых}$ ): 3

Данные по интервалу №3

Количество пришедших заявок  $N$  (за время  $t$ ): 2

Средний интервал времени между поступлением заявок ( $t_{вх}$ ): 4

Среднее время на обработку одной заявки одним прибором ( $t_{вых}$ ): 2

Количество обслуживающих приборов: 4

Максимальная длина очереди: 3

	Интервал 1	Интервал 2	Интервал 3
Интенсивность входного потока	1.5	0.5000	0.5
Интенсивность выходного потока	1.0	0.3333	0.5
Показатель нагрузки системы	1.5	1.5002	1.0

$p_0$  - Бездействие

$p_1$ - $p_4$  - Нагруженность системы без очереди

$p_5$ - $p_7$  - Нагруженность системы с очередью

Рисунок 58. Входные данные в питон



Вероятности нахождения системы в каждом из состояний временного интервала 1

	p0	p1	p2	p3	p4	p5	p6	p7
Вероятность, %	22.13	33.2	24.9	12.45	4.67	1.75	0.66	0.25

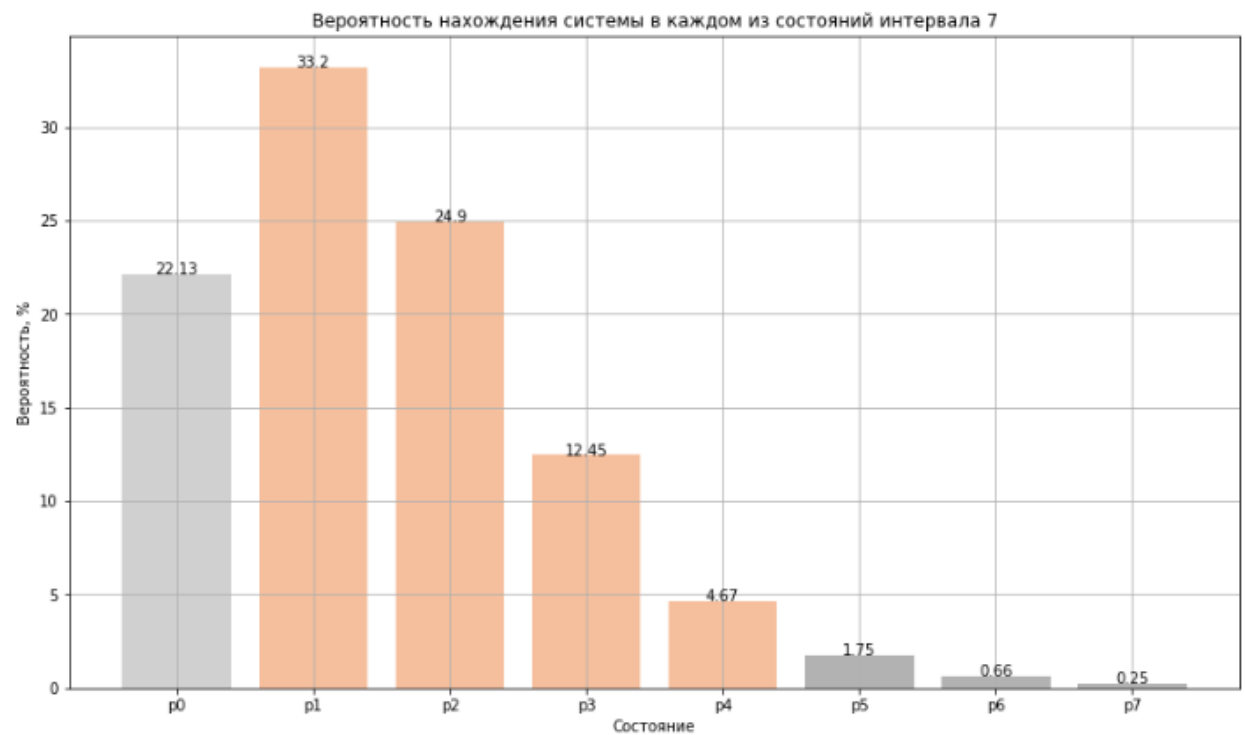


Рисунок 59. Выходные данные в питоне

Вероятности нахождения системы в каждом из состояний временного интервала 2

	p0	p1	p2	p3	p4	p5	p6	p7
Вероятность, %	22.13	33.2	24.9	12.45	4.67	1.75	0.66	0.25

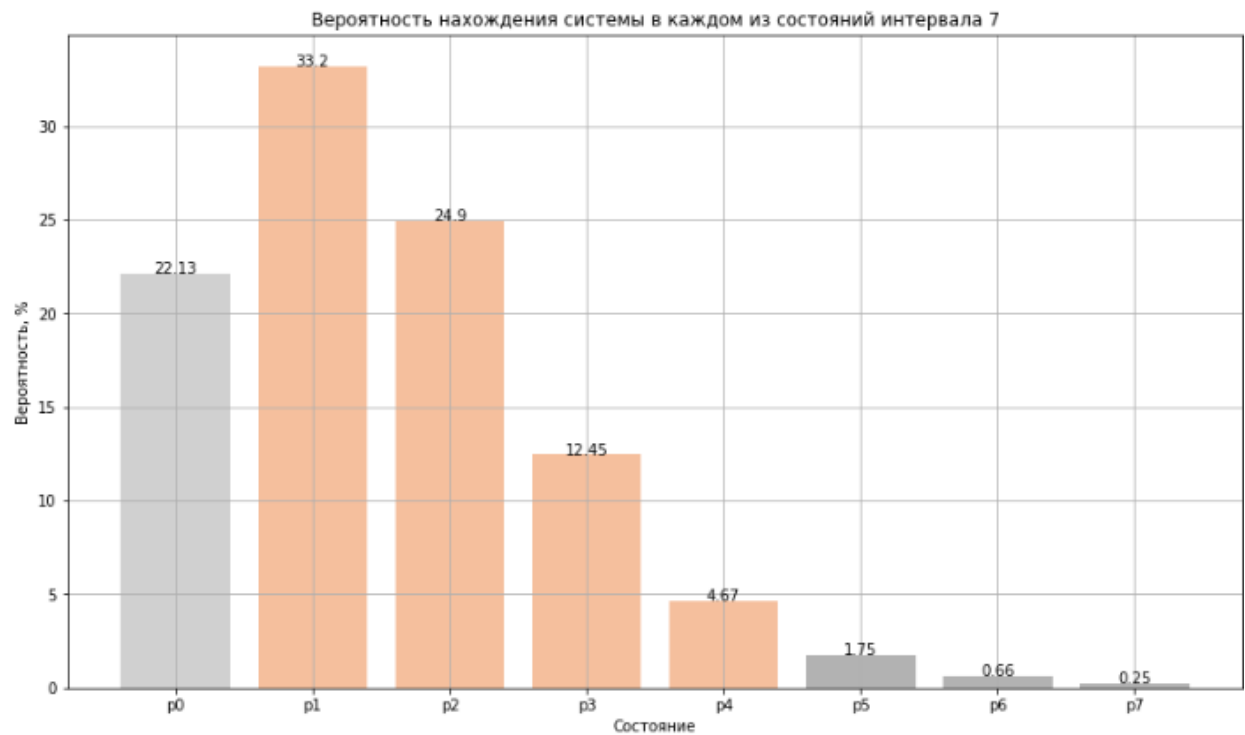


Рисунок 60. Выходные данные в питоне

Вероятности нахождения системы в каждом из состояний временного интервала 3

	p0	p1	p2	p3	p4	p5	p6	p7
Вероятность, %	36.74	36.74	18.37	6.12	1.53	0.38	0.1	0.03

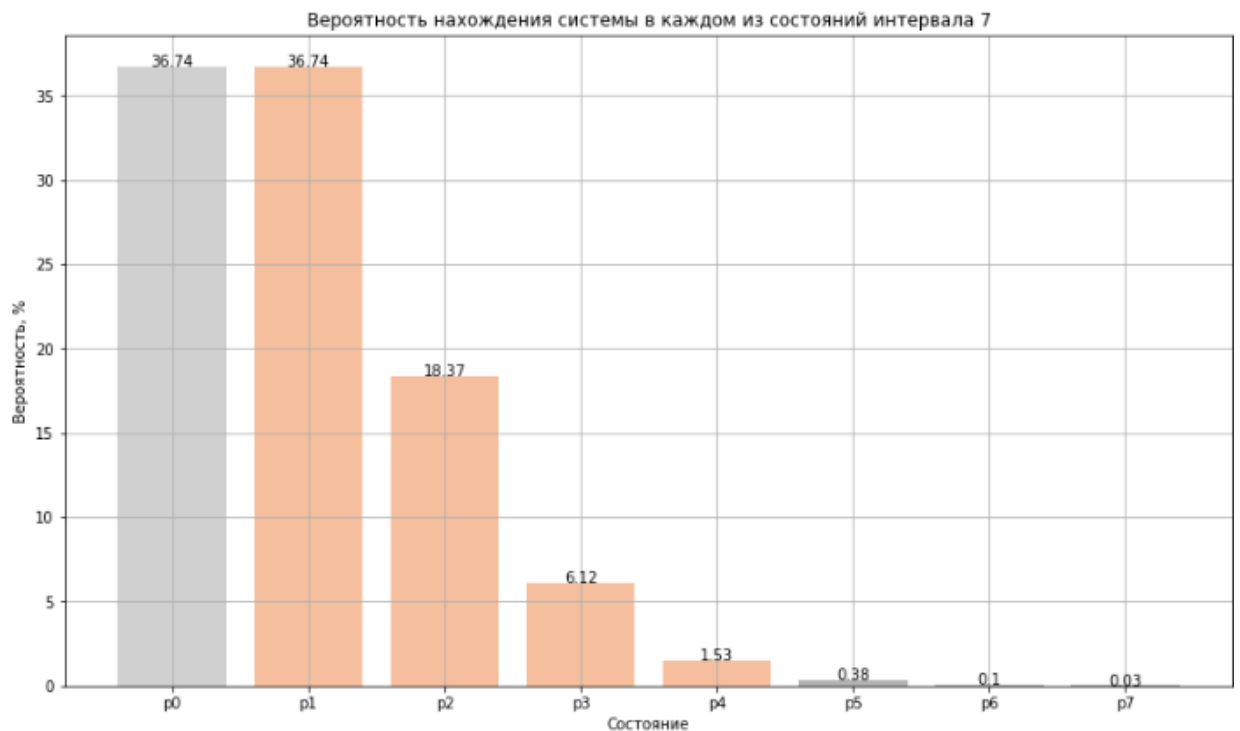


Рисунок 61. Выходные данные в питоне

#### Характеристика для клиентов

	Интервал 1	Интервал 2	Интервал 3
Вероятность отказа в обслуживании, %	0.250	0.250	0.030
Вероятность встать в очередь, %	2.410	2.410	0.480
Средняя длина очереди	0.038	0.038	0.006
Среднее время ожидания в очереди	0.025	0.076	0.012

#### Характеристика для владельца

	Интервал 1	Интервал 2	Интервал 3
Абсолютн. пропускная способн.	1.496	0.499	0.50
Относит. пропускная способн., %	0.998	0.998	1.00
Среднее число занятых приборов	1.496	1.497	1.00
Коэффициент простоя	0.626	0.626	0.75

Рисунок 62. Выходные данные в питоне

Наиболее загруженными являются утренние и дневные интервалы (1 и 2), для решения этой проблемы необходимо внедрить новую кассу обслуживания и работника, который будет работать на пол ставки в первую половину дня.

На основании тестирования данного алгоритма можно сделать вывод о том, что Python выводит самое оптимальное решение наиболее быстро и наглядно. Теперь сравним два алгоритма по критериям: эффективности, скорости использования алгоритма, простоты использования, надёжности в разрезе человеческого фактора и точности предоставляемого решения.

*Таблица 1. Сравнение решения в Excel и Python*

<b>Критерий</b>	<b>Python</b>	<b>Excel</b>
Эффективность	Высокая	Высокая
Скорость использования алгоритма	Средняя	Средняя
Простота использования	Высокая	Средняя
Надёжность	Высокая	Средняя
Точность	Высокая	Высокая

Мы считаем, что представленный рукописный код на языке Python лучше, потому что удобнее, быстрее и проще. Улучшением кода может послужить добавление времени выполнения запроса, более детальной выводимой информации, импортного ввода данных и генерацию случайных данных.