

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого»

ИНСТИТУТ КОМПЬЮТЕРНЫХ НАУК И ТЕХНОЛОГИЙ

**Курсовая работа**  
“Реализация Системы Массового Обслуживания”

Выполнил студент группы: 3530904/00104:

Почернин В. С.

Преподаватель:

Смирнов Н. Г.

15 октября 2022 г.

Санкт-Петербург  
2022

# Содержание

<b>1</b>	<b>Первый этап</b>	<b>2</b>
1.1	Бланк задания с заполненными исходными данными к работе . . . . .	2
1.1.1	Вариант задания . . . . .	2
1.1.2	Источники . . . . .	2
1.1.3	Приборы . . . . .	2
1.1.4	Описание дисциплин постановки и выбора . . . . .	2
1.1.5	Дисциплины постановки на обслуживание . . . . .	2
1.1.6	Виды отображения результатов работы программной модели . . . . .	2
1.2	Формализованная схема ВС . . . . .	2
1.3	Временная диаграмма своего варианта . . . . .	3
1.4	Ответы на контрольные вопросы . . . . .	5
<b>2</b>	<b>Второй этап</b>	<b>6</b>
2.1	Описание . . . . .	6
2.1.1	Пристрелка . . . . .	7
2.1.2	Отражение работы программной модели . . . . .	7
2.2	Законы распределения . . . . .	9
2.2.1	Равномерный закон распределения . . . . .	9
2.2.2	Экспоненциальный закон распределения . . . . .	10
2.3	Ответы на контрольные вопросы . . . . .	10

# 1 Первый этап

## 1.1 Бланк задания с заполненными исходными данными к работе

### 1.1.1 Вариант задания

ИБ-ИЗ2-ПЗ1-Д10З1-Д10ОЗ-Д2П2-Д2Б2-ОР1-ОД1

### 1.1.2 Источники

- ИБ - бесконечный источник.
- ИЗ2 - равномерный закон распределения.

### 1.1.3 Приборы

- ПЗ1 - экспоненциальный закон распределения времени обслуживания.

### 1.1.4 Описание дисциплин постановки и выбора

- Д10З1 - относительный приоритет на обслуживание - запись в буфер, если есть место по кольцу.
- Д10ОЗ - дисциплина отказа - самая старая в буфере.

### 1.1.5 Дисциплины постановки на обслуживание

- Д2Б2 - принцип выбора заявки из буфера LIFO.
- Д2П2 - выбор прибора по кольцу.

### 1.1.6 Виды отображения результатов работы программной модели

- ОД1 - отображение динамики функционирования модели: календарь событий, буфер и текущее состояние.
- ОР1 - отображение результатов: сводная таблица результатов.

## 1.2 Формализованная схема ВС

Для освоения функционирования СМО, рассмотрим формализованную схему её работы:

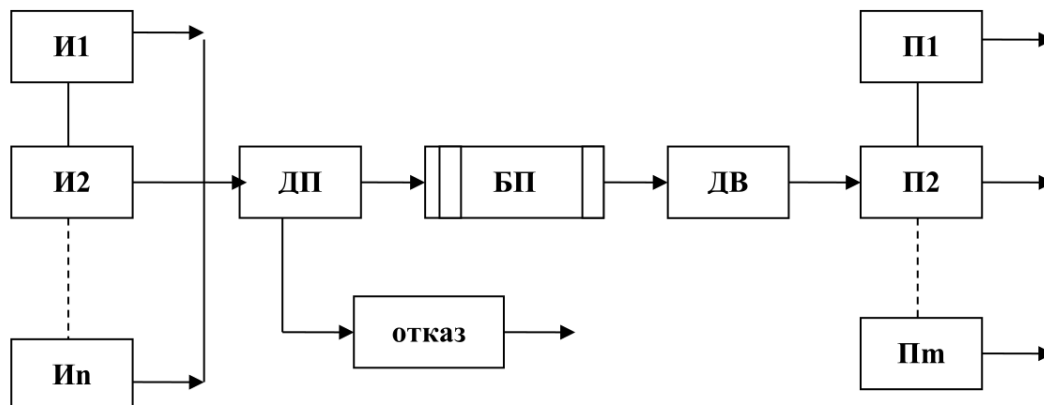


Рис. 1: Формализованная схема ВС

- $I_i$  ( $i = 1..n$ ) представляют собой источники заявок, которые генерируют заявки. Все  $n$  источников вместе образуют входной поток заявок.
- Заявки, сгенерированные в источниках попадают на ДП - диспетчер постановки заявок в очередь. Он организует отказ или выбивание заявки из БП, если в буфере не осталось свободных мест, либо же отправляет заявку на обслуживание или в буферную память в случае отсутствия свободных приборов.
- БП - буферная память (место для хранения очереди заявок), в которой хранятся заявки от различных источников.
- ДВ - диспетчер выбора заявок из очереди отправляет заявку из буфера на свободный прибор.
- П - приборы, которые обслуживают заявки и создают тем самым выходной поток заявок после обслуживания.

На основе этого, мы можем проследить путь заявки, вошедшей в модель системы:

- 1) Постановка заявки в буфер.
- 2) Отказ или выбивание (удаление) заявки из переполненного буфера.
- 3) Выбор заявки из БП на обслуживание.
- 4) Поиск свободного прибора.
- 5) Обслуживание заявки прибором.
- 6) Выход заявки из СМО.

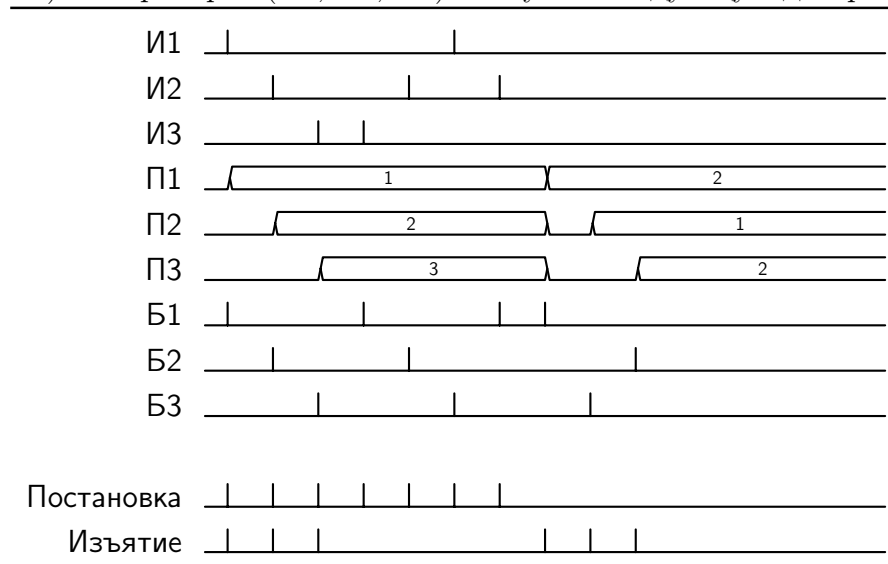
При этом, вся логика прохождения заявок по системе определяется диспетчерами ДП и ДВ, когда источники и приборы их только генерируют и обслуживают соответственно.

### 1.3 Временная диаграмма своего варианта

Рассмотрим временную диаграмму функционирования системы, на которой покажем

- Моменты постановки заявок на приборы.
- Заполнение буферной памяти по заданной дисциплине постановки заявки в буфер.
- Отказ заявке или выбивание её при отсутствии свободных мест в БП.
- Функционирование дисциплины выбора заявок из буфера и дисциплины выбора приборов.

Пусть наша система будет состоять из 3 источников ( $I_1, I_2, I_3$ ), 3 позиций в буфере ( $B_1, B_2, B_3$ ) и 3 приборов ( $P_1, P_2, P_3$ ). Получим следующую диаграмму:



- Вначале мы видим, как 3 заявки поочередно создаются на источниках с первого по третий и, проходя через буфер (заходя туда по кольцу), моментально оказываются на приборах (куда они также попадают по кольцу).
- Затем, опять по правилу кольца, заявки с источников 3, 2 и 1 попадают на буферы 1, 2 и 3, в то время, как первые 3 заявки продолжают обрабатываться приборами, следовательно, у нас происходит заполнение буферной памяти.
- Внезапно, источник И2 генерирует еще одну заявку, но в буфере уже заполнены места, поэтому, приходится применять дисциплину отказа - самая старая в буфере. Заявка в буфере Б1 от источника И3, являясь самой старой, выбивается из буфера новоиспеченной заявкой от И2.
- Далее, по стечению обстоятельств, все три прибора одновременно заканчивают работу над своими заявками, благодаря чему мы можем увидеть работу дисциплин выбора заявок из буфера и выбора приборов. Так, как мы имеем выбор из буфера LIFO, сначала пойдет заявка с Б1, затем с Б3 и только потом Б2. Приборы же, продолжая выбираться по кольцу, возьмут заявки в порядке П1, П2, П3, так как последним прибором, взявшим заявку был П3.

## 1.4 Ответы на контрольные вопросы

- 1) Назовите типы источников, опишите принципы их работы, различия между ними.

**Ответ:** Источники бывают двух типов: бесконечные и конечные.

Бесконечные источники генерируют заявки, после чего определяют (по определенному закону) интервал для генерации следующей заявки. Заявка попадает в систему в момент генерации и проходит по ней свой индивидуальный путь.

В конечных источниках в определенный момент генерируется и отправляется в систему пакет заявок (из конечного числа заявок). Каждая заявка проходит свой индивидуальный путь по системе. Следующий пакет от такого источника генерируется тогда, когда последняя заявка из предыдущего пакета удаляется из системы (в результате обслуживания или отказа). Момент генерации определяется случайным интервалом между пакетами и новый пакет состоит из того же количества заявок.

- 2) Можно ли сказать, что бесконечный источник есть частный случай конечного?

**Ответ:** Как мне кажется, мы не можем назвать бесконечный источник частным случаем конечного. Действительно, мы можем считать одну заявку пакетом размера 1, однако случае конечного источника мы имеем четкое условие: "Момент генерации следующего пакета определяется событием, когда последняя заявка этого пакета удаляется из системы". В случае же бесконечного источника следующая заявка может сгенерироваться в любой момент времени, в том числе тогда, когда предыдущая заявка еще находится в системе.

- 3) Опишите два принципа построения моделирующего алгоритма, их преимущества и недостатки.

**Ответ:** Существуют два подхода к построению моделирующего алгоритма ВС: подход Дельта-Т и подход особых событий.

Подход Дельта-Т является универсальным методом построения моделирующего алгоритма, в котором состояние объекта проверяется через фиксированный интервал времени. Каждый момент времени  $t_i = t_{i-1} + \Delta t_{i-1}$  мы получаем приближенные значения характеристик исследуемого объекта. Сам промежуток  $\Delta t$  должен быть настолько мал, чтобы не пропустить событие в моделирующей системе, которое должно быть учтено при выбранной детальности моделирования. Метод удобен тем, что он является универсальным, однако, есть и недостаток: при его использовании постоянно проверяется состояние объектов моделирования, не изменяющихся при особо малых  $\Delta t$ , что делает метод неэффективным.

Подход особых событий мы руководствуемся тем, что интервалы времени, в которых состояние не меняется не представляют для нас интереса. Только значимые (изменяющие состояние) переходы системы имеют для нас значение. Они определяются особыми состояниями или событиями, например:

- Поступление заявки в СМО (момент генерации заявки источником).
- Освобождение прибора (готовность прибора взять заявку на обслуживание).
- Окончание процесса моделирования, т. е. момент прекращения генерации заявок источниками.

Достоинством является эффективность данного принципа, из-за чего именно он используется в настоящей работе. К недостаткам же можно отнести сопутствующую сложность отслеживания вышеприведенных событий.

- 4) Опишите дисциплины буферизации и постановки заявки на обслуживание, заданные в вашем варианте.

**Ответ:** в моем варианте дисциплинами буферизации являются Д10З1 - запись в буфер, если есть место по кольцу и Д100З - дисциплина отказа - самая старая в буфере. Дисциплинами постановки заявки на обслуживание являются Д2Б2 - принцип выбора заявки из буфера LIFO и Д2П2 - выбор прибора по кольцу. Рассмотрим каждую из них.

- Д10З1 - запись в буфер, если есть место по кольцу. При такой дисциплине поиск свободного места в буфере осуществляется, начиная с номера места, следующего за последним занятым. В случае, если указатель, который ищет свободное место его не найдет - начнет действовать дисциплина, организующая отказ или выбивание заявки из БП.
- Д100З - дисциплина отказа - самая старая в буфере. Эта дисциплина рассматривает только время прихода заявок в систему (момент генерации заявок источником). Заявка, раньше других вставшая в буфер получает отказ, уходит из системы и на её место встает пришедшая заявка.
- Д2Б2 - принцип выбора заявки из буфера LIFO (последним пришел - первым обслужен). В этом случае раньше других будет выбрана из буфера та заявка, которая пришла последней.
- Д2П2 - выбор прибора по кольцу. Поиск свободных приборов здесь каждый раз начинается с указателя и заявка встает на обслуживание в первый из найденных приборов.

5) Назовите некоторые варианты (комбинации) значений входных параметров, при которых на представленной временной диаграмме могут появиться отказы из БП и будут хорошо проиллюстрированы дисциплины выбора приборов и выбора заявок.

**Ответ:** отказы из БП могут появиться тогда и только тогда, когда любой из источников генерирует заявку в то время, как буфер находится в заполненном состоянии. Например, мы получили 6 заявок от источников, 3 отправились на приборы, 3 в буфер (который после этого заполнился). Генерируется 7-я заявка, которой нет места в буфере, из-за чего применяется дисциплина отказа.

Выбор заявок можно явно увидеть, если, например, заполнить по очереди весь буфер и заметить, что забирается заявка будет в обратном порядке. Это покажет нам, что буфер работает как стек, то есть по правилу LIFO.

Что касается приборов, мы можем заметить их выбор по кольцу в самом начале, когда они начнут по очереди заполняться заявками. Если же затем приборы одновременно закончат обрабатывать заявки, то новыми заявками они начнут заполняться в том же порядке, поскольку указатель кольца начнет с первого прибора (так как последним прибором был последний прибор в кольце).

## 2 Второй этап

### 2.1 Описание

В рамках второго этапа необходимо разработать и отдалить программу, которая смоделирует поведение текущей ВС.

В рамках задания необходимо обеспечить:

- **Относительную точность:** 10%.
- **Доверительную вероятность:** 0.9.

Для этого нужно определить необходимое и достаточное количество заявок, которое должно быть сгенерировано источником (чем больше заявок - тем больше точностью получения выходных характеристик).

Существует *связь* между:

- Количеством заявок, прошедших через ВС.

- Относительной точностью.
- Доверительной вероятностью.
- Случайной величиной  $p(A)$  (вероятностью события  $A$ ).

$$N = \frac{t_{\alpha}^2(1-p)}{p\delta^2}, \text{ где} \quad (1)$$

- $N$  - количество заявок, пропущенных через систему.
- $p$  - вероятность отказа заявкам в обслуживании.
- $t_{\alpha} = 1.643$  для  $\alpha = 0.9$ .
- $\delta = 0.1$  - относительная точность.

У нас имеется две неизвестные величины ( $N$  и  $p$ ). Мы хотим найти  $N$  - значит нужно иметь представление о  $p$ . Для этого произведем **пристрелку**.

### 2.1.1 Пристрелка

Алгоритм пристрелки будет следующим:

- 1) Назначим некоторое  $N_0 = 100$  и проведем с ним процесс моделирования, получив характеристики (включая  $p_0$ ).
- 2) Подставим полученные характеристики в (1), вычислив некоторое  $N_1$ .
- 3) Проведем с ним аналогичный процесс моделирования, получим  $p_1$ .
- 4) Сравним  $p_1$  с  $p_0$ :
  - (а) Если  $|p_0 - p_1| < 0.1p_0$ , то  $N = 100$  удовлетворяет заданной точности результатов.
  - (б) Если  $|p_0 - p_1| \geq 0.1p_0$ , то мы продолжаем процесс моделирования с новым  $N_2$  и так далее до достижения заданной точности результатов.

Этот процесс нахождения необходимого количества заявок нужно реализовать в автоматическом режиме, после чего вывести на экран таблицу результатов, полученных с заданной точностью.

### 2.1.2 Отражение работы программной модели

В текущем задании предусмотрены два вида отражения работы программной модели:

- Отображение **динамики** функционирования модели в **пошаговом** режиме.
- Отображение **результатов** работы программной модели в **автоматическом** режиме.

**Динамика в пошаговом режиме** Здесь нужно отразить изменение состояние ВС при каждом наступлении особого события.

Фиксация осуществляется пошагово, где **шаг** - расстояние по времени от одного особого события до ближайшего другого.

В текущем задании необходимо отразить работу программной модели в пошаговом режиме в виде **календаря событий** (календарь событий, буфер, текущее состояние).

Данная функциональность будет реализована посредством четырех частей:

- Кнопки перехода вперед/назад/на конкретный шаг.
- Текстовое описание текущего шага.
- Таблица календарь событий/текущее состояние:



Календарь событий		Число заявок	Число отказов
Событие	Время		
И1			
...			
Иm			
П1			
...			
Пk			
Конец мод.			

- Событие - наименование описываемого элемента.
- Время - абсолютное время очередного события (например, время, когда источник сгенерирует заявку или когда прибор обработает заявку).
- Число заявок - число созданных (в случае источника) или обслуженных (в случае прибора) заявок на данный момент.
- Число отказов - количество отказов на данный момент.

- Таблица буфер:

Позиция	Время постановки	Источник	Заявка
1			
...			
N			

**Результаты в автоматическом режиме** Для представления результатов моделирования в автоматическом режиме, в процессе работы программной модели для каждой заявки происходит сбор **статистической информации** для расчета следующих характеристик системы:

- Количество заявок сгенерированных каждым источником.
- Вероятность отказа в обслуживании заявок каждого источника:

$$p = \frac{m}{n}, \quad \text{где}$$

- n - общее количество заявок, сгенерированных источником.
- m - количество заявок этого источника, получивших отказ.

- Среднее время пребывания заявки каждого источника в системе:

$$T_{\text{преб}} = T_{\text{обсл}} + T_{\text{БП}}, \quad \text{где}$$

- $T_{\text{преб}}$  - среднее время пребывания заявки в системе (время ответа на запрос).
- $T_{\text{обсл}}$  - среднее время обслуживания заявки данного источника.
- $T_{\text{БП}}$  - среднее время пребывания заявки в БП или среднее время ожидания заявки каждого источника.

- Дисперсии  $T_{\text{обсл}}$  и  $T_{\text{БП}}$ .
- Коэффициенты использования приборов  $\left( \frac{\text{Суммарное время занятости каждого прибора}}{\text{Общее время реализации}} \right)$ .

Соответственно, после завершение процесса моделирования должны быть получены две таблицы результатов:

Характеристики источников ВС							
№ источника	Количество заявок	$p_{\text{отк}}$	$T_{\text{преб}}$	$T_{\text{БП}}$	$T_{\text{обсл}}$	$D_{\text{БП}}$	$D_{\text{обсл}}$
И1							
И1							
...							
Иm							

Характеристики приборов ВС	
№ прибора	Коэффициент использования
П1	
П2	
...	
Пк	

Отдельно стоит отметить, что **окончание процесса генерации заявок** (конец моделирования) происходит в момент **генерации последней заявки**, однако в СМО могут остаться заявки как на приборах, так и в буферной памяти, поэтому процесс **обслуживания заявок** продолжается до момента **выхода из системы последней заявки**.

**Общим временем реализации** называется время, которым заканчивается обслуживание последней заявки (именно его значение используется при расчете коэффициентов использования приборов).

## 2.2 Законы распределения

При моделировании ВС подразумевается использование двух законов распределения:

- Равномерный закон распределения времени генерации для бесконечных источников.
- Экспоненциальный закон распределения времени обслуживания для приборов.

Рассмотрим каждый из них.

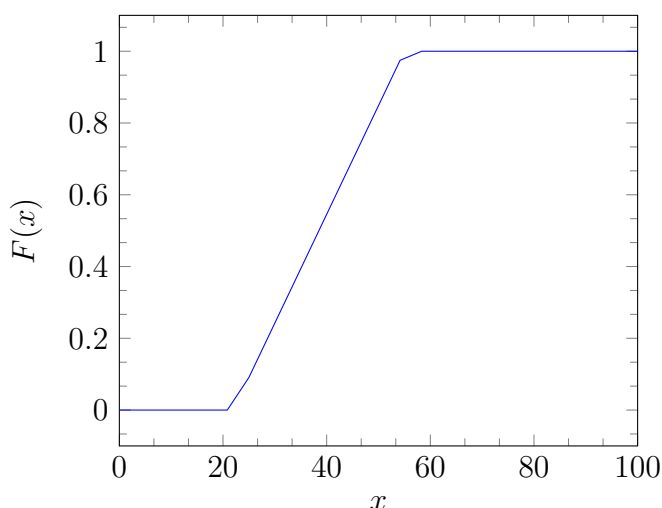
### 2.2.1 Равномерный закон распределения

Равномерный закон распределения характеризуется функцией распределения вида:

$$F(x) = \begin{cases} 0, & x < a \\ \frac{x-a}{b-a}, & a \leq x \leq b \\ 1 & x > b \end{cases}$$

Построим график распределения при  $a = 22$  и  $b = 55$ :

Равномерный закон распределения



Соответственно:

$$x = F(x)(b - a) + a \quad (2)$$

Где  $F(x)$  будет случайным числом в диапазоне от 0 до 1.

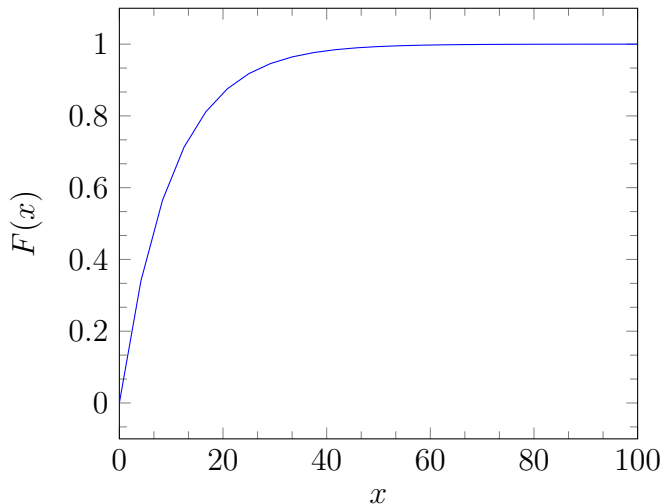
### 2.2.2 Экспоненциальный закон распределения

Экспоненциальный закон распределения характеризуется функцией распределения вида:

$$F(x) = 1 - e^{-\lambda x}$$

Построим график распределения при  $\lambda = 3$ :

Экспоненциальный закон распределения



Соответственно:

$$x = -\frac{1}{\lambda} \log_e(1 - F(x)) \quad (3)$$

Где  $F(x)$  будет случайным числом в диапазоне от 0 до 1.

### 2.3 Ответы на контрольные вопросы

- 1) Какие изменения состояние ВС должны фиксировать программа для текущего задания в пошаговом режиме?

**Ответ:** Мы работаем с методом особых состояний, а значит, что для нас имеют значение только значимые (изменяющие состояние) переходы системы в некоторые моменты времени. Они будут определяться следующими состояниями или событиями:

- Поступление заявки в СМО (момент генерации заявки источником).
- Поступление заявки в БП (либо же срабатывание отказа).
- Переход заявки из буфера в свободный прибор.
- Освобождение прибора (и взятие им заявки из буфера, при наличии таковых).
- Окончание процесса моделирования (момент прекращения генерации заявок источниками).
- Выход из системы последней заявки.

- 2) Что должно являться шагом при работе программной модели в режиме динамического отражения результатов?

**Ответ:** При работе программной модели в режиме динамического отражения результатов **шаг** - это интервал модельного времени от одного особого события до другого ближайшего по времени особого события.

- 3) Из чего складывается время пребывания заявки в системе и как рассчитывать среднее время пребывания заявки в системе?.

**Ответ:** Время пребывания заявки в системе рассчитывается по следующей формуле:

$$T_{\text{преб}} = T_{\text{обсл}} + T_{\text{БП}}, \quad \text{где}$$

- $T_{\text{преб}}$  - среднее время пребывания заявки в системе (время ответа на запрос).
- $T_{\text{обсл}}$  - среднее время обслуживания заявки данного источника.
- $T_{\text{БП}}$  - среднее время пребывания заявки в БП или среднее время ожидания заявки каждого источника.

Чтобы рассчитать именно **среднее** время - будем для каждого источника суммировать времена заявок и их количество, а затем возьмем среднее арифметическое.

4) Как рассчитать коэффициент использования приборов  $K_{\text{исп}}$ ?

**Ответ:** Коэффициент использования приборов =  $\frac{\text{Суммарное время занятости каждого прибора}}{\text{Общее время реализации}}$ .

5) В чем разница между окончанием моделирования и общим временем реализации?

**Ответ:**

- **Окончание процесса моделирования** (конец моделирования, окончание процесса генерации заявок) происходит в момент **генерации последней заявки**, но в этот момент в СМО еще могут оставаться заявки как на приборах, так и в буферной памяти.
- **Общее время реализации** - это время, которым заканчивается обслуживание последней заявки. То есть момент выхода из системы последней заявки.

6) Какие сведения должны быть выведены на экран по истечении времени реализации?.

**Ответ:** После истечения времени реализации, на экран должны быть выведены две таблицы результатов:

- Характеристики источников ВС.
- Характеристики приборов ВС.