

Санкт-Петербургский политехнический университет  
Петра Великого  
Высшая школа программной инженерии

**Отчет по курсовой  
работе  
“Методы имитационного  
моделирования”**

Выполнил

студент гр.5130904/30105

Груздева А.С.

Руководитель

Дробинцев Д.Ф.

# Содержание

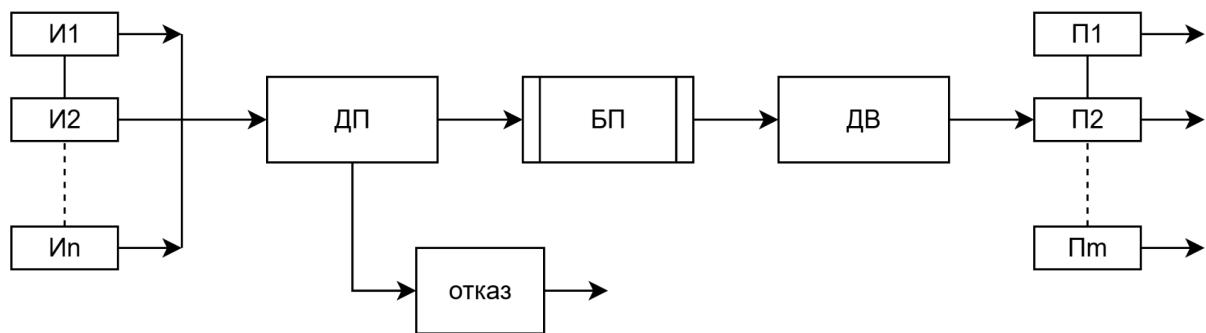
<b>Постановка задачи.....</b>	3
<b>Формализованная схема и описание СМО.....</b>	4
Источники.....	4
Приборы.....	4
Описание дисциплин постановки и выбора.....	4
Блок схема системы.....	5
<b>Пример технической системы, удовлетворяющей формализованному описанию.....</b>	6
Ограничения и требуемые характеристики.....	8
<b>Модульная структура.....</b>	9
<b>Анализ результатов, выводы и рекомендации по выбору конфигурации системы.....</b>	12

## **Постановка задачи**

Разработать модель системы массового обслуживания (далее СМО) с заданными дисциплинами, провести исследование ее характеристик и найти оптимальную конфигурацию для конкретной технической системы, удовлетворяющую заданным требованиям по вероятности отказа и времени отклика.

# Формализованная схема и описание СМО

## Структура СМО



И1...Иn - Бесконечные источники (ИБ) с равномерным законом (ИЗ2)

ДП - Диспетчер постановки (реализует Д1032 + Д10О2)

БП - Буферная память

ДВ - Диспетчер выбора (реализует Д2Б5 + Д2П2)

П1...Пm - Приборы с экспоненциальным законом (ПЗ1)

6.	ИБ	ИЗ2	ПЗ1	Д1032	Д10О2	Д2П2	Д2Б5	ОР1	ОДз
----	----	-----	-----	-------	-------	------	------	-----	-----

## Источники

ИБ - бесконечный источник;

ИЗ2 - равномерный закон распределения заявок;

## Приборы

ПЗ1 - экспоненциальный закон распределения времени обслуживания;

## Описание дисциплин постановки и выбора

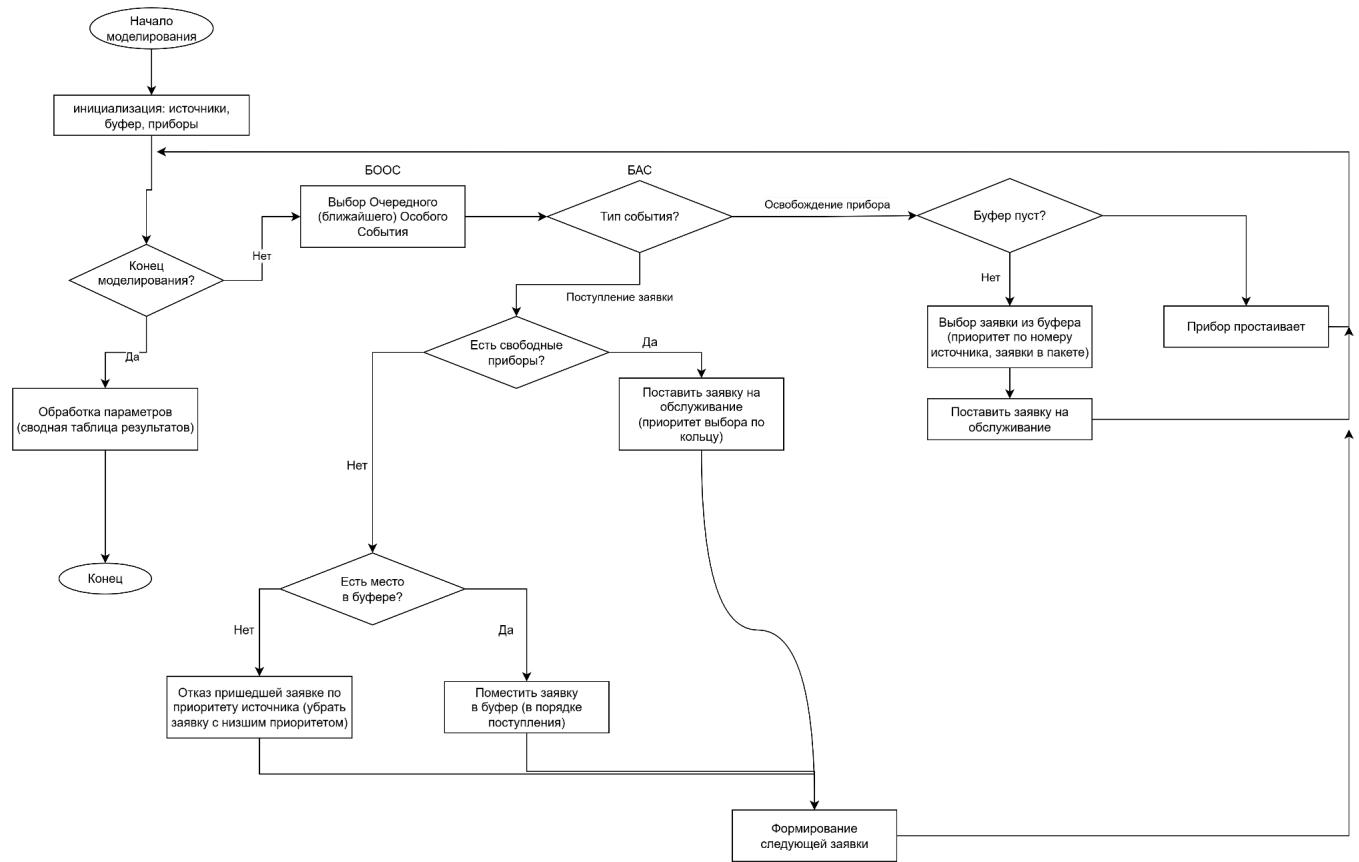
Д1032 - постановка заявки в буфер в порядке поступления;

Д10О2 - отказ по приоритету (номеру) источника;

Д2П2 - выбор прибора по кольцу;

Д2Б5 - выбор заявок на обслуживание, приоритет по номеру источника, заявки в пакете

## БЛОК СХЕМА СИСТЕМЫ



## Пример технической системы, удовлетворяющей формализованному описанию

Как пример технической системы, функционирование которой корректно описывается заданной СМО, рассматривается модуль обработки платежных транзакций в режиме реального времени в банковской системе.

Система предназначена для обработки потока финансовых операций от различных каналов (интернет-банк, кассы, банкоматы), требующие дифференцированного подхода к приоритизации в условиях ограниченных вычислительных ресурсов.

Элемент СМО	Банковская обработка
Источники заявок (И)	<p>Каналы поступления платежных транзакций, разделенные по классам клиентов и типу операций.</p> <p>Поток транзакций потенциально не ограничен. При стабильной нагрузке поток можно считать равномерным.</p> <p>Источники:</p> <ol style="list-style-type: none"><li>Наивысший приоритет: системные переводы и транзакции VIP-клиентов.</li><li>Минимальная задержка</li><li>Высокий приоритет: операции через отделения банка.</li><li>Низкий приоритет: массовые платежи через интернет сервис банка.</li></ol>
Приборы (П)	<p>Серверные ноды   виртуальные машины в кластере обработки данных, выполняющие непосредственно авторизацию и проведение транзакций</p> <p>Количество определяется мощностью кластера. Время обработки транзакций является</p>

	случайным. Экспоненциальное распределение адекватно моделирует ситуацию, presupposing, что долгие операции происходят реже, а короткие - чаще.
Буфер (Б)	Очередь сообщений в оперативной памяти системы (например, Redis Kafka), где транзакции ожидают обработки
Заявка	Платежная транзакция (платежное поручение, перевод, оплата счета итд.)

# Ограничения и требуемые характеристики

Требования:

1. Вероятность отказа ( $P_{dec}$ )
  - a. И1:  $P_{dec} \leq 0.005$  (0.5%). Потеря транзакций высшего приоритета недопустима и наносит репутационный и финансовый ущерб
  - b. И2:  $P_{dec} \leq 0.02$  (2%)
  - c. И3:  $P_{dec} \leq 0.05$  (5%)
2. Коэффициент использования приборов ( $K_{use}$ ):
  - a.  $K_{use} \geq 0.75$  (75%). Низкая загрузка серверов свидетельствует о нерациональном использовании дорогостоящих вычислительных мощностей. Необходимо обеспечить высокую загрузку, при этом оставив запас на случай ее повышения.

Конфигурации системы ограничены следующими рамками:

1. Аппаратные ресурсы
  - a. Количество серверов обработчиков. От 1 до 10 единиц.
  - b. Объем буферной памяти. От 10 до 30 заявок. Дальнейшее увеличение не является целесообразным из-за требований в времени отклика.
2. Характеристики нагрузки
  - a. Интенсивность входного потока
    - i. И1: 0.5 заявки/с (интервал 2с)
    - ii. И2: 1заявка/с (интервал 1с)
    - iii. И3: 2заявки/с (интервал 0.5с)
  - b. Время обслуживания. Определяется производительностью сервера. Зададим максимальное время обслуживания = 2с для базовой конфигурации сервера

Необходимо найти такую комбинацию значений  $m$  (количество серверов) [1; 5] и  $b$  (размер буфера) [10;30], при которой одновременно выполняются все технические требования. Если таких вариантов несколько, суммарное количество приборов и размер буфера должны быть минимальны.

# Модульная структура

Разработка производилась в IntelliJ Idea на языке Java. Вывод данных происходит в консоль.

Приложение использует объектно-ориентированную парадигму программирования. Точка входа - файл main.java. Основные действия метода main - получение параметров системы и старт обработки событий (симуляции).

Отображение в пошаговом режиме:

Начало моделирования...						
Календарь событий						
Событие	Время	Число заявок	Число отказов	Номер заявки	Состояние прибора	Состояние буфера
Начало мод.	0.00	0				
Приборы	П1: свободен П2: свободен П3: свободен П4: свободен П5: свободен					
События	П0: 0.00 П0: 30.00					
П0	0.00	0	0	-	Все приборы заняты	[ ]
Приборы	П1: свободен П2: свободен П3: свободен П4: свободен П5: свободен					
События	И3: 0.50 И2: 1.00 И1: 2.00 П0: 30.00					
П0	0.00	0	0	-	Все приборы заняты	[ ]
Приборы	П1: свободен П2: свободен П3: свободен П4: свободен П5: свободен					
События	И3: 0.50 И2: 1.00 И1: 2.00 П0: 30.00					
И3	0.50	1	0	3.1	П1: обрабатывает 3.1	[ ]
Приборы	П1: 3.1 до 1.39 П2: свободен П3: свободен П4: свободен П5: свободен					
События	И2: 1.00 И3: 1.00 И1: 2.00 П0: 30.00 П1: 1.39					

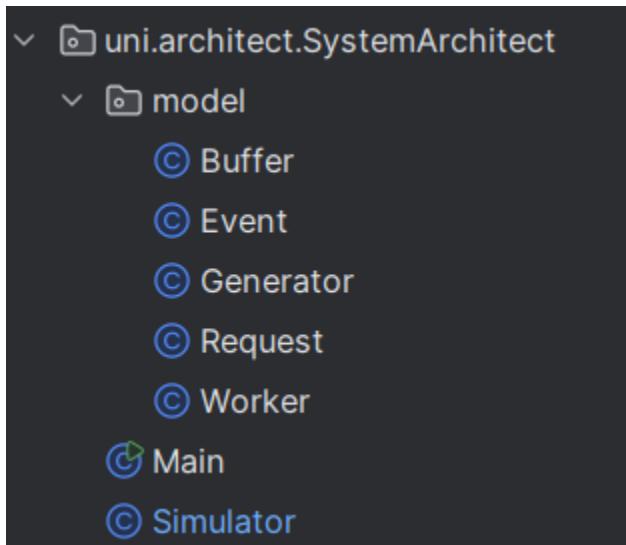
Календарь событий						
Событие	Время	Число заявок	Число отказов	Номер заявки	Состояние прибора	Состояние буфера
Начало мод.	0.00	0				
Приборы	П1: свободен П2: свободен П3: свободен П4: свободен П5: свободен					
События	П0: 0.00 П0: 30.00					
П0	0.00	0	0	-	Все приборы заняты	[ ]
Приборы	П1: свободен П2: свободен П3: свободен П4: свободен П5: свободен					
События	И3: 0.50 И2: 1.00 И1: 2.00 П0: 30.00					
И3	0.50	1	0	3.1	П1: обрабатывает 3.1	[ ]
Приборы	П1: 3.1 до 1.39 П2: свободен П3: свободен П4: свободен П5: свободен					
События	И2: 1.00 И3: 1.00 И1: 2.00 П0: 30.00 П1: 1.39					

Отображение в автоматическом режиме:

Календарь событий						
Событие	Время	Число заявок	Число отказов	Номер заявки	Состояние прибора	Состояние буфера
Начало мод.	0.00	0				
Приборы	П1: свободен П2: свободен П3: свободен П4: свободен П5: свободен					
События	П0: 0.00 П0: 3.00					
П0	0.00	0	0	-	Все приборы заняты	[]
Приборы	П1: свободен П2: свободен П3: свободен П4: свободен П5: свободен					
События	И3: 0.50 И2: 1.00 И1: 2.00 П0: 3.00					
И3	0.50	1	0	3.1	П1: обрабатывает 3.1	[]
Приборы	П1: 3.1 до 0.86 П2: свободен П3: свободен П4: свободен П5: свободен					
События	П1: 0.86 И2: 1.00 И1: 2.00 П0: 3.00 И3: 1.00					

Из	2.50	8	0	3.5	Все приборы заняты	[3: 3.5; ]
Приборы	П1: 3.2 до 2.63 П2: 3.4 до 6.20 П3: 3.3 до 8.99 П4: 2.2 до 4.48 П5: 1.1 до 3.51					
События	П1: 2.63 П0: 3.00 И2: 3.00 И3: 3.00 П5: 3.51 П3: 8.99 П4: 4.48 П2: 6.20 И1: 4.00					
П1	2.63	8	0	3.2	П1: обрабатывает 3.5	[]
Приборы	П1: 3.5 до 4.05 П2: 3.4 до 6.20 П3: 3.3 до 8.99 П4: 2.2 до 4.48 П5: 1.1 до 3.51					
События	П0: 3.00 И3: 3.00 И2: 3.00 И1: 4.00 П5: 3.51 П3: 8.99 П4: 4.48 П2: 6.20 П1: 4.05					
Конец мод.	3.00	8	0	-	П1: обрабатывает 3.5	[]
Моделирование завершено!						

## Архитектура системы:



Классы Buffer, Generator, Request и Worker представляют собой буфер, генератор заявок, заявку и прибор соответственно. Класс Event является моделью особого события (генерация заявки или освобождение прибора). Класс Simulator представляет собой СМО, объединяющий собой элементы системы.

## Анализ результатов, выводы и рекомендации по выбору конфигурации системы

Симуляция проводится до тех пор пока суммарное количество сгенерированных заявок (обработанные + отказы) меньше 1000.

Пойдем от максимальных данных и будем постепенно уменьшать вычислительные мощности.

```
РЕЗУЛЬТАТЫ

Конфигурация системы: 30 мест в буфере, 10 приборов
Общее время моделирования: 286.00 сек
Всего заявок сгенерировано: 1000
Всего отказов: 0
Коэффициент использования системы: 0.692 (требуется >= 0.75)

Вероятности отказа по источникам:
Источник И1: 0 отказов, P_отк = 0.0000 требуется ≤ 0.005 (0.5%)
Источник И2: 0 отказов, P_отк = 0.0000 требуется ≤ 0.02 (2%)
Источник И3: 0 отказов, P_отк = 0.0000 требуется ≤ 0.05 (5%)
```

Как можно заметить, 30% времени приборы простоявали, в связи с чем есть смысл уменьшить их количество.

## РЕЗУЛЬТАТЫ

Конфигурация системы: 30 мест в буфере, 1 приборов  
Общее время моделирования: 286.00 сек  
Всего заявок сгенерировано: 1000  
Всего отказов: 824  
Коэффициент использования системы: 0.998 (требуется  $\geq 0.75$ )

Вероятности отказа по источникам:

Источник И1: 0 отказов,  $P_{отк} = 0.0000$  требуется  $\leq 0.005$  (0.5%)  
Источник И2: 253 отказов,  $P_{отк} = 0.2530$  требуется  $\leq 0.02$  (2%)  
Источник И3: 571 отказов,  $P_{отк} = 0.5710$  требуется  $\leq 0.05$  (5%)

Уменьшив количество приборов до минимума, можем заметить, что даже в этом случае система не отказывает приоритетным заявкам.

## РЕЗУЛЬТАТЫ

Конфигурация системы: 30 мест в буфере, 5 приборов  
Общее время моделирования: 286.00 сек  
Всего заявок сгенерировано: 1000  
Всего отказов: 252  
Коэффициент использования системы: 0.987 (требуется  $\geq 0.75$ )

Вероятности отказа по источникам:

Источник И1: 0 отказов,  $P_{отк} = 0.0000$  требуется  $\leq 0.005$  (0.5%)  
Источник И2: 1 отказов,  $P_{отк} = 0.0010$  требуется  $\leq 0.02$  (2%)  
Источник И3: 251 отказов,  $P_{отк} = 0.2510$  требуется  $\leq 0.05$  (5%)

Имея в работе 5 приборов процент отказов И1 и И2 удовлетворителен, в то время как И3 - нет. Уменьшим буфер до тех пока И2 не перестанет нас удовлетворять.

---

---

## РЕЗУЛЬТАТЫ

---

---

Конфигурация системы: 10 мест в буфере, 5 приборов

Общее время моделирования: 286.00 сек

Всего заявок сгенерировано: 1000

Всего отказов: 256

Коэффициент использования системы: 0.994 (требуется  $\geq 0.75$ )

Вероятности отказа по источникам:

Источник И1: 0 отказов,  $P_{отк} = 0.0000$  требуется  $\leq 0.005$  (0.5%)

Источник И2: 2 отказов,  $P_{отк} = 0.0020$  требуется  $\leq 0.02$  (2%)

Источник И3: 254 отказов,  $P_{отк} = 0.2540$  требуется  $\leq 0.05$  (5%)

---

---

Даже при минимальном количестве мест в буфере заявки И2 обрабатываются с адекватным количеством отказов. Необходимо оптимизировать работу с И3. Так как в реальной жизни расширение буфера дешевле увеличения количества серверов, подберем соответствующие параметры увеличивая размер буфера.

---

---

## РЕЗУЛЬТАТЫ

---

---

Конфигурация системы: 30 мест в буфере, 5 приборов

Общее время моделирования: 286.00 сек

Всего заявок сгенерировано: 1000

Всего отказов: 301

Коэффициент использования системы: 0.995 (требуется  $\geq 0.75$ )

Вероятности отказа по источникам:

Источник И1: 0 отказов,  $P_{отк} = 0.0000$  требуется  $\leq 0.005$  (0.5%)

Источник И2: 0 отказов,  $P_{отк} = 0.0000$  требуется  $\leq 0.02$  (2%)

Источник И3: 301 отказов,  $P_{отк} = 0.3010$  требуется  $\leq 0.05$  (5%)

---

---

---

---

## РЕЗУЛЬТАТЫ

---

---

Конфигурация системы: 20 мест в буфере, 5 приборов  
Общее время моделирования: 286.00 сек  
Всего заявок сгенерировано: 1000  
Всего отказов: 278  
Коэффициент использования системы: 0.993 (требуется  $\geq 0.75$ )

Вероятности отказа по источникам:

Источник И1: 0 отказов,  $P_{отк} = 0.0000$  требуется  $\leq 0.005$  (0.5%)  
Источник И2: 2 отказов,  $P_{отк} = 0.0020$  требуется  $\leq 0.02$  (2%)  
Источник И3: 276 отказов,  $P_{отк} = 0.2760$  требуется  $\leq 0.05$  (5%)

---

---

В связи с пакетной обработкой из буфера забираются более приоритетные заявки, а дисциплина отказа убирает заявки И3, если нужно сохранить более приоритетные. В связи с этим добиться необходимой обработки И3 можно только увеличением количества приборов.

---

---

## РЕЗУЛЬТАТЫ

---

---

Конфигурация системы: 30 мест в буфере, 8 приборов  
Общее время моделирования: 286.00 сек  
Всего заявок сгенерировано: 1000  
Всего отказов: 0  
Коэффициент использования системы: 0.889 (требуется  $\geq 0.75$ )

Вероятности отказа по источникам:

Источник И1: 0 отказов,  $P_{отк} = 0.0000$  требуется  $\leq 0.005$  (0.5%)  
Источник И2: 0 отказов,  $P_{отк} = 0.0000$  требуется  $\leq 0.02$  (2%)  
Источник И3: 0 отказов,  $P_{отк} = 0.0000$  требуется  $\leq 0.05$  (5%)

---

---

## РЕЗУЛЬТАТЫ

Конфигурация системы: 30 мест в буфере, 7 приборов  
Общее время моделирования: 286.00 сек  
Всего заявок сгенерировано: 1000  
Всего отказов: 7  
Коэффициент использования системы: 0.932 (требуется  $\geq 0.75$ )

Вероятности отказа по источникам:

Источник И1: 0 отказов,  $P_{отк} = 0.0000$  требуется  $\leq 0.005$  (0.5%)  
Источник И2: 0 отказов,  $P_{отк} = 0.0000$  требуется  $\leq 0.02$  (2%)  
Источник И3: 7 отказов,  $P_{отк} = 0.0070$  требуется  $\leq 0.05$  (5%)

## РЕЗУЛЬТАТЫ

Конфигурация системы: 30 мест в буфере, 6 приборов  
Общее время моделирования: 286.00 сек  
Всего заявок сгенерировано: 1000  
Всего отказов: 110  
Коэффициент использования системы: 0.992 (требуется  $\geq 0.75$ )

Вероятности отказа по источникам:

Источник И1: 0 отказов,  $P_{отк} = 0.0000$  требуется  $\leq 0.005$  (0.5%)  
Источник И2: 0 отказов,  $P_{отк} = 0.0000$  требуется  $\leq 0.02$  (2%)  
Источник И3: 110 отказов,  $P_{отк} = 0.1100$  требуется  $\leq 0.05$  (5%)

Можем заметить, что 6 приборов все еще не хватает, в то время как 7 и больше обеспечивают необходимые характеристики. Минимизируя количество приборов - возьмем 7 и приступим к минимизации буфера.

---

---

## РЕЗУЛЬТАТЫ

---

---

Конфигурация системы: 10 мест в буфере, 7 приборов

Общее время моделирования: 2858.00 сек

Всего заявок сгенерировано: 10000

Всего отказов: 327

Коэффициент использования системы: 0.956 (требуется  $\geq 0.75$ )

Вероятности отказа по источникам:

Источник И1: 0 отказов,  $P_{отк} = 0.0000$  требуется  $\leq 0.005$  (0.5%)

Источник И2: 0 отказов,  $P_{отк} = 0.0000$  требуется  $\leq 0.02$  (2%)

Источник И3: 327 отказов,  $P_{отк} = 0.0327$  требуется  $\leq 0.05$  (5%)

---

---

## РЕЗУЛЬТАТЫ

---

---

Конфигурация системы: 10 мест в буфере, 7 приборов

Общее время моделирования: 286.00 сек

Всего заявок сгенерировано: 1000

Всего отказов: 52

Коэффициент использования системы: 0.935 (требуется  $\geq 0.75$ )

Вероятности отказа по источникам:

Источник И1: 0 отказов,  $P_{отк} = 0.0000$  требуется  $\leq 0.005$  (0.5%)

Источник И2: 1 отказов,  $P_{отк} = 0.0010$  требуется  $\leq 0.02$  (2%)

Источник И3: 51 отказов,  $P_{отк} = 0.0510$  требуется  $\leq 0.05$  (5%)

## РЕЗУЛЬТАТЫ

Конфигурация системы: 10 мест в буфере, 7 приборов

Общее время моделирования: 286.00 сек

Всего заявок сгенерировано: 1000

Всего отказов: 17

Коэффициент использования системы: 0.938 (требуется  $\geq 0.75$ )

Вероятности отказа по источникам:

Источник И1: 0 отказов,  $P_{отк} = 0.0000$  требуется  $\leq 0.005$  (0.5%)

Источник И2: 0 отказов,  $P_{отк} = 0.0000$  требуется  $\leq 0.02$  (2%)

Источник И3: 17 отказов,  $P_{отк} = 0.0170$  требуется  $\leq 0.05$  (5%)

Из десяти запусков с семью приборами и десятью местами в буфере только один показал неудовлетворительный результат (5.1%). В связи с чем можем считать, что система подходит. В реальности же, для переноса пиковой нагрузки рекомендуется взять семь приборов и 11 мест в буфере.