

Раздел 3. ЗАДАНИЯ К УЧЕБНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИМ РАБОТАМ

3.1. Домашние задания

В данном подразделе приводятся описания домашних заданий, выполнение которых позволяет закрепить знания, полученные при изучении теоретического материала по дисциплине «Моделирование».

Описания домашних заданий включают следующие разделы:

- 1) цель задания;
- 2) содержание задания;
- 3) этапы задания;
- 4) порядок выполнения задания;
- 5) содержание отчета;
- 6) варианты заданий;
- 7) рекомендуемые формы таблиц результатов.

3.1.1. Исследование СМО и СеМО аналитическими методами

Домашние задания (ДА1-ДА4) содержат детализированные исследования характеристик СМО и СеМО различных классов с применением аналитических методов.

3.1.1.1. Задание ДА1: исследование однородных СМО

1) Цель задания

Исследование систем массового обслуживания с однородным потоком заявок (однородных СМО) с использованием аналитических методов расчёта характеристик функционирования.

2) Содержание задания

Разработка моделей и расчет характеристик функционирования одно- и многоканальных СМО с однородным потоком заявок и накопителем неограниченной емкости с использованием аналитических методов. Анализ влияния интенсивности потока заявок, средней длительности обслуживания и количества обслуживающих приборов на характеристики однородной СМО.

Для расчета характеристик однородных СМО рекомендуется использовать программу ITMOdel.

3) Этапы задания

3.1. Разработка аналитических моделей исследуемых СМО.

3.2. Варьирование параметров в диапазоне коэффициента загрузки от 0,1 до 0,95 и обработка результатов.

3.3. Анализ полученных результатов и формулирование общих выводов по выполненному домашнему заданию.

4) Порядок выполнения задания

4.1. Получить у преподавателя задание на работу. Варианты заданий приведены в таблице (п. 6).

4.2. Разработать детальный план проведения исследований.

4.3. Разработать аналитические модели одно- и многоканальных СМО типа М/Г/1 и М/М/К соответственно.

Разработка моделей заключается в подготовке следующих исходных данных (параметров) для проведения расчетов аналитическими методами:

- количество обслуживающих приборов в многоканальной СМО;
- интенсивность потока заявок, поступающих в СМО;
- средняя длительность обслуживания заявок в СМО;
- коэффициент вариации длительности обслуживания заявок в одноканальной СМО.

4.4. Рассчитать следующие основные характеристики СМО:

- нагрузка системы;
- коэффициент загрузки системы;
- среднее время ожидания заявок в очереди;
- среднее время пребывания заявок в системе;
- средняя длина очереди заявок;
- среднее число заявок в системе.

Результаты расчетов представляются в табличном виде (форма 1).

4.5. Определить предельную интенсивность поступления заявок в СМО, при которой в системе существует стационарный режим.

4.6. Проанализировать характеристики функционирования СМО, варьируя следующие параметры от значений, при которых коэффициент загрузки системы составляет 0,1 – 0,2, до значений, при которых коэффициент загрузки системы составляет 0,9 – 0,95:

- количество обслуживающих приборов;
- интенсивность потока заявок, поступающих в СМО;
- средняя длительность обслуживания заявок.

4.7. Оценить влияние закона распределения длительности обслуживания заявок на характеристики одноканальной СМО путем изменения коэффициента вариации в диапазоне от 0 до 5.

4.8. Провести исследование влияния количества обслуживающих приборов на среднее время ожидания и пребывания заявок в системе при условии, что при увеличении количества обслуживающих приборов K их суммарная производительность (скорость работы) остается постоянной, т.е. $V_{\Sigma} = KV_K = const$, где V_K – производительность одного прибора при наличии в системе K обслуживающих приборов.

5) Содержание отчета

5.1. Постановка задачи. Постановка задачи должна включать цель работы и основные этапы исследования.

5.2. Исходные данные в соответствии с вариантом задания. Исходные данные представляются в форме таблицы (см. п. 6).

5.3. Описание исследуемой системы.

5.4. Детальный план проведения исследовательской работы.

5.5. Результаты работы:

- формулы, используемые для расчета характеристик системы и значения характеристик системы, сведенные в таблицы (форма 1);
- результаты (графики и выводы) анализа характеристик функционирования исследуемой системы при варьировании параметров.

Обработка полученных результатов заключается в их представлении в форме сводных таблиц и/или графических зависимостей, позволяющих выполнить детальный анализ свойств исследуемой системы.

УКАЗАНИЕ: при выборе объема представляемых в отчете результатов (числа таблиц, графиков и зависимостей на одном графике) следует руководствоваться следующими соображениями:

- для каждой модели результаты должны быть представлены как минимум для 2–3-х характеристик СМО;
- для построения графической зависимости характеристики от варьируемого параметра необходимо задать начальное значение и шаг изменения параметра такими, чтобы обеспечить изменение коэффициента загрузки системы в пределах от 0,1 – 0,2 до 0,9 – 0,95, при этом количество шагов изменения параметра должно быть не менее 5;
- на одном графике не следует изображать только одну зависимость, а рекомендуется представлять не менее 2-х зависимостей (например, среднего времени ожидания и среднего времени пребывания), позволяющих выполнить их сравнительный анализ;
- несмотря на то, что в отчете графические зависимости могут быть представлены не для всех характеристик, следует четко понимать и при необходимости объяснить их характер и поведение при изменении соответствующего параметра.

В процессе детального анализа свойств системы должны быть выявлены наиболее существенные особенности исследуемой системы, сформулированы выводы о влиянии параметров на характеристики функционирования системы, включающие в себя, кроме констатации очевидных фактов, таких как «характеристика увеличивается» или «характеристика уменьшается», объяснение причин выявленных зависимостей.

б) Варианты заданий

Таблица

Параметры исследуемой системы

Вариант	Интенсивность поступления заявок, c^{-1}	Средняя длительность обслуживания, с	Коэффициент вариации длительности обслуживания	Количество обслуживаемых приборов
1	0,1	1,0	1,0	1
2	0,1	3,0	1,0	1
3	0,1	5,0	1,0	1
4	0,1	7,0	1,0	1
5	0,1	9,0	1,0	1
6	0,1	1,0	0,0	1
7	0,1	3,0	0,0	1
8	0,1	5,0	0,0	1
9	0,1	7,0	0,0	1
10	0,1	9,0	0,0	1
11	0,1	1,0	0,5	1
12	0,1	3,0	0,5	1
13	0,1	5,0	0,5	1
14	0,1	7,0	0,5	1
15	0,1	9,0	0,5	1
16	0,1	1,0	2,0	1
17	0,1	3,0	2,0	1
18	0,1	5,0	2,0	1
19	0,1	7,0	2,0	1
20	0,1	9,0	2,0	1
21	0,1	1,0	5,0	1
22	0,1	3,0	5,0	1
23	0,1	5,0	5,0	1
24	0,1	7,0	5,0	1
25	0,1	9,0	5,0	1
26	0,1	2,0	1,0	2
27	0,1	3,0	1,0	2
28	0,1	5,0	1,0	2
29	0,1	7,0	1,0	2
30	0,1	9,0	1,0	2
31	0,1	3,0	1,0	3
32	0,1	5,0	1,0	3
33	0,1	6,0	1,0	3
34	0,1	7,0	1,0	3
35	0,1	9,0	1,0	3
36	0,5	1,0	1,0	1

Вариант	Интенсивность поступления заявок, c^{-1}	Средняя длительность обслуживания, с	Коэффициент вариации длительности обслуживания	Количество обслуживаемых приборов
37	0,5	3,0	1,0	3
38	0,5	5,0	1,0	5
39	0,5	7,0	1,0	7
40	0,5	9,0	1,0	9
41	0,5	0,5	0,0	1
42	0,5	1,0	0,0	1
43	0,5	1,2	0,0	1
44	0,5	1,5	0,0	1
45	0,5	1,6	0,0	1
46	0,5	0,5	5,0	1
47	0,5	1,0	5,0	1
48	0,5	1,2	5,0	1
49	0,5	1,5	5,0	1
50	0,5	1,6	5,0	1

7) Рекомендуемая форма таблицы результатов

Форма

Характеристики исследуемой системы

Варьируемый параметр, ед. измерения	Коэффициент загрузки	Ср. время ожидания, с	Ср. время пребывания, с	Ср. длина очереди	Ср. число заявок
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>

3.1.1.2. Задание ДА2: исследование неоднородных СМО

1) Цель задания

Исследование систем массового обслуживания с неоднородным потоком заявок (неоднородных СМО) и обслуживанием в соответствии с заданной дисциплиной обслуживания (ДО) с использованием аналитических методов расчёта характеристик функционирования.

2) Содержание задания

Разработка и расчет аналитических моделей одноканальных СМО с неоднородным потоком заявок и накопителем неограниченной емкости. Проведение исследования влияния на характеристики неоднородной СМО интенсивности потока заявок, средней длительности обслуживания и дисциплины обслуживания.

Для расчета характеристик неоднородных СМО рекомендуется использовать программу ITMOdel.

3) Этапы задания

3.1. Разработка аналитических моделей исследуемых СМО.

3.2. Варьирование параметров в диапазоне коэффициента загрузки объединенного потока заявок от 0,1 до 0,95 и обработка результатов.

3.3. Анализ полученных результатов и формулирование общих выводов по выполненному домашнему заданию.

4) Порядок выполнения задания

4.1. Получить у преподавателя задание на работу. Варианты заданий приведены в таблице (п. 6).

4.2. Разработать детальный план проведения исследовательской работы.

4.3. Разработать аналитические модели одноканальных СМО типа M/G/1.

Разработка моделей заключается в подготовке следующих исходных данных (параметров) для проведения расчетов аналитическими методами:

- интенсивность потока заявок, поступающих в СМО;
- средняя длительность обслуживания заявок в СМО;
- коэффициент вариации длительности обслуживания заявок в одноканальной СМО;
- дисциплина обслуживания, заданная в виде матрицы приоритетов.

4.4. Рассчитать следующие основные характеристики СМО для каждого класса заявок и для объединенного (суммарного) потока заявок:

- нагрузка системы;
- коэффициент загрузки системы;
- среднее время ожидания заявок в очереди;
- среднее время пребывания заявок в системе;
- средняя длина очереди заявок;

- среднее число заявок в системе.

Результаты расчетов представляются в табличном виде (форма 1).

4.5. Проанализировать характеристики функционирования СМО при заданной ДО, варьируя следующие параметры от значений, при которых коэффициент загрузки системы составляет 0,1 – 0,2, до значений, при которых коэффициент загрузки системы составляет 0,9 – 0,95:

- интенсивность потока заявок, поступающих в СМО;
- средняя длительность обслуживания заявок.

4.6. Оценить влияние закона распределения длительности обслуживания заявок на характеристики одноканальной СМО при заданной дисциплине обслуживания путем изменения коэффициента вариации в диапазоне от 0 до 5.

4.7. Выполнить анализ влияния дисциплины обслуживания на характеристики функционирования СМО в области малой (0,1 – 0,2), средней (0,5 – 0,6) и большой (0,8 – 0,9) загрузок. Построить зависимости характеристик от номера класса (приоритета) заявок.

5) Содержание отчета

5.1. Постановка задачи. Постановка задачи должна включать цель работы и основные этапы исследования.

5.2. Исходные данные в соответствии с вариантом задания. Исходные данные представляются в форме таблицы (см. п. 6).

5.3. Описание исследуемой системы.

5.4. Детальный план проведения исследовательской работы.

5.5. Результаты работы:

- формулы, используемые для расчета характеристик системы и значения характеристик системы, сведенные в таблицы для каждого класса заявок (форма 1) и для объединенного (суммарного) потока (форма 2);
- результаты (графики и выводы) анализа характеристик функционирования исследуемой системы при варьировании параметров.

Обработка полученных результатов заключается в их представлении в форме сводных таблиц и/или графических зависимостей, позволяющих выполнить детальный анализ свойств исследуемой системы.

УКАЗАНИЕ: при выборе объема представляемых в отчете результатов (числа таблиц, графиков и зависимостей на одном графике) следует руководствоваться следующими соображениями:

- для каждой модели результаты должны быть представлены как минимум для 2–3-х характеристик СМО;
- для построения графической зависимости характеристики от варьируемого параметра необходимо задать начальное значение и шаг изменения параметра такими, чтобы обеспечить изменение коэффициента загрузки системы в пределах от 0,1 –

0,2 до 0,9 – 0,95, при этом количество шагов изменения параметра должно быть не менее 5;

- на одном графике не следует изображать только одну зависимость, а рекомендуется представлять не менее 2-х зависимостей (например, среднего времени ожидания и среднего времени пребывания), позволяющих выполнить их сравнительный анализ;
- несмотря на то, что в отчете графические зависимости могут быть представлены не для всех характеристик, следует четко представлять и при необходимости объяснить их характер и поведение при изменении соответствующего параметра.

В процессе детального анализа свойств системы должны быть выявлены наиболее существенные особенности исследуемой системы, сформулированы выводы о влиянии параметров на характеристики функционирования системы, включающие в себя, кроме констатации очевидных фактов, таких как «характеристика увеличивается» или «характеристика уменьшается», объяснение причин выявленных зависимостей.

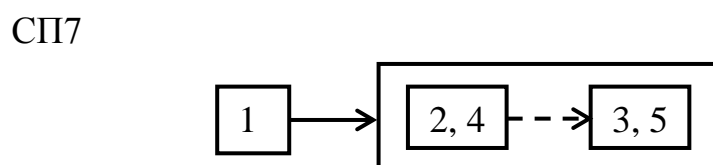
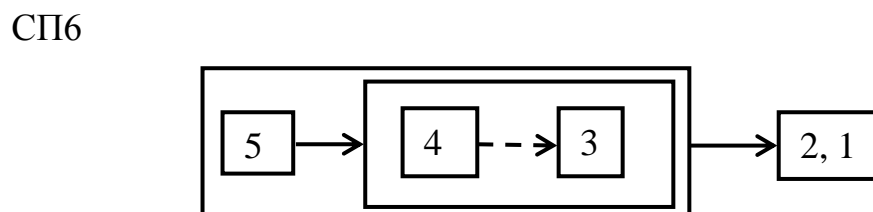
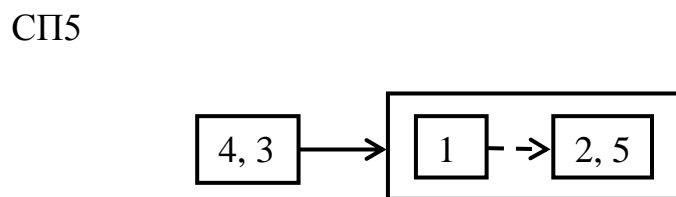
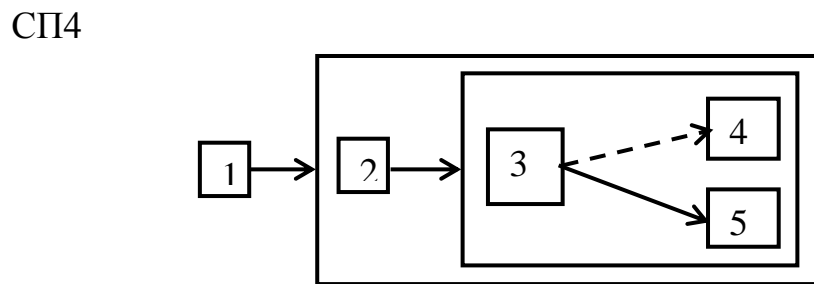
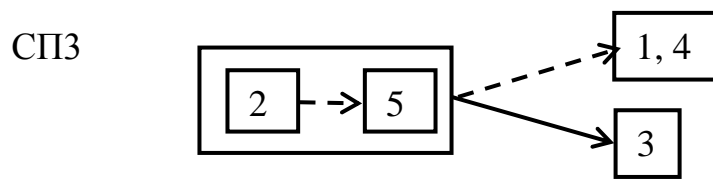
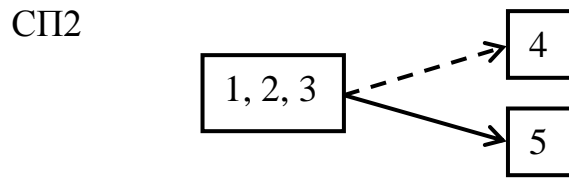
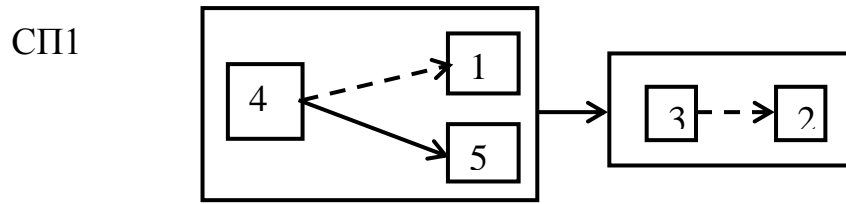
б) Варианты заданий

Таблица

Параметры исследуемой системы

Вариант	Интенсивность поступления заявок, с ⁻¹					Средняя длительность обслуживания, с					Коеф-т вариации длительн. обслуж.	ДО
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5		
Класс												
1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	1,0	БП
2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	1,0	БП
3	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	БП
4	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,0	БП
5	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,0	БП
6	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	ОП
7	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	ОП
8	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	ОП
9	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	ОП
10	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	ОП
11	0,1	0,2	0,3	0,1	0,2	1,0	2,0	0,5	1,5	0,5	0,5	АП
12	1,0	2,0	0,5	1,5	0,5	0,1	0,2	0,3	0,1	0,2	0,5	АП
13	0,5	1,0	0,2	0,7	0,2	0,1	0,1	0,2	0,1	0,3	0,5	АП
14	0,1	0,1	0,2	0,1	0,3	0,5	1,0	0,2	0,7	0,2	0,5	АП
15	0,3	0,5	0,1	0,4	0,1	0,2	0,1	0,5	0,3	0,4	0,5	АП
16	0,2	0,1	0,5	0,3	0,4	0,2	0,1	0,5	0,3	0,4	2,0	СП1
17	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	2,0	СП1
18	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	2,0	СП1

Вариант	Интенсивность поступления заявок, с ⁻¹					Средняя длительность обслуживания, с					Коэф-т вариации длительн. обслуж.	ДО
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5		
19	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	2,0	СП1
20	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	2,0	СП1
21	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	5,0	СП2
22	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	5,0	СП2
23	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	5,0	СП2
24	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	5,0	СП2
25	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	5,0	СП2
26	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	1,0	СП3
27	0,1	0,2	0,3	0,1	0,2	1,0	2,0	0,5	1,5	0,5	1,0	СП3
28	1,0	2,0	0,5	1,5	0,5	0,1	0,2	0,3	0,1	0,2	1,0	СП3
29	0,5	1,0	0,2	0,7	0,2	0,1	0,1	0,2	0,1	0,3	1,0	СП3
30	0,1	0,1	0,2	0,1	0,3	0,5	1,0	0,2	0,7	0,2	1,0	СП3
31	0,3	0,5	0,1	0,4	0,1	0,2	0,1	0,5	0,3	0,4	1,0	СП4
32	0,2	0,1	0,5	0,3	0,4	0,2	0,1	0,5	0,3	0,4	1,0	СП4
33	0,1	0,2	0,5	0,2	0,1	1,0	1,5	0,2	1,5	1,0	1,0	СП4
34	1,0	1,5	0,2	1,5	1,0	0,1	0,2	0,5	0,2	0,1	1,0	СП4
35	0,5	0,2	0,1	0,1	0,2	0,2	1,5	1,0	1,0	1,5	1,0	СП4
36	0,2	1,5	1,0	1,0	1,5	0,5	0,2	0,1	0,1	0,2	1,0	СП5
37	0,2	0,5	0,2	0,1	0,1	1,5	0,2	1,5	1,0	1,0	1,0	СП5
38	1,5	0,2	1,5	1,0	1,0	0,2	0,5	0,2	0,1	0,1	1,0	СП5
39	0,2	0,1	0,1	0,2	0,5	1,5	1,0	1,0	1,5	0,2	1,0	СП5
40	1,5	1,0	1,0	1,5	0,2	0,2	0,1	0,1	0,2	0,5	1,0	СП5
41	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,0	СП6
42	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,0	СП6
43	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	0,0	СП6
44	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	0,0	СП6
45	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	СП6
46	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	5,0	СП7
47	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	5,0	СП7
48	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	5,0	СП7
49	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	5,0	СП7
50	0,1	0,2	0,3	0,1	0,2	1,0	2,0	0,5	1,5	0,5	5,0	СП7



7) Рекомендуемые формы таблиц

Форма 1

Характеристики исследуемой системы для отдельных классов заявок

Варьируемый параметр, ед. измерения					
Дисциплина обслуживания					
Класс заявок k	Коэфф-т загрузки	Ср. время ожидания, с	Ср. время пребывания, с	Ср. длина очереди	Ср. число заявок
1					
2					
3					
4					
5					

Форма 2

Характеристики исследуемой системы для объединенного потока заявок

Варьируемый параметр, ед. измерения						
Дисциплина обслуживания						
Константа закона сохранения времени ожидания						
Интенсивность, c^{-1}	Ср. время обсл., с	Коэфф. загрузки	Ср. время ожидания, с	Ср. время пребывания, с	Ср. длина очереди	Ср. число заявок

3.1.1.3. Задание ДАЗ: исследование однородных экспоненциальных разомкнутых РСМО

1) Цель задания

Исследование однородных экспоненциальных разомкнутых сетей массового обслуживания (РСМО) с использованием аналитических методов расчёта характеристик функционирования.

2) Содержание задания

Разработка аналитических моделей однородных экспоненциальных РСМО и проведение на их основе модельных экспериментов с целью исследования характеристик функционирования и выявления свойств РСМО.

Для расчета характеристик однородных экспоненциальных РСМО рекомендуется использовать программу ITMOdel.

3) Этапы задания

Разработка моделей исследуемых однородных экспоненциальных РСМО; варьирование параметров в диапазоне коэффициента загрузки наиболее загруженного узла сетевой модели («узкого места») от 0,1 до 0,95 и обработка результатов; разгрузка «узкого места» двумя способами; анализ полученных результатов; формулирование общих выводов по выполненному домашнему заданию.

4) Порядок выполнения задания

4.1. Получить у преподавателя задание на работу. Варианты заданий приведены в таблице (п. 6).

4.2. Разработать детальный план проведения исследовательской работы.

4.3. Разработать аналитические модели однородных экспоненциальных РСМО.

Разработка аналитических моделей заключается в подготовке следующих исходных данных (параметров) для проведения расчетов аналитическими методами:

- количество узлов РСМО;
- количество обслуживающих приборов в узлах РСМО;
- матрица вероятностей передач и рассчитанные по этой матрице коэффициенты передач;
- интенсивность входящего потока (источника) заявок, поступающих в РСМО;
- средние длительности обслуживания заявок в узлах РСМО.

4.4. Выполнить следующие модельные эксперименты.

1) Рассчитать основные узловые и сетевые характеристики однородных экспоненциальных РСМО:

- коэффициент загрузки;
- средняя длина очереди;

- среднее число заявок;
- среднее время ожидания;
- среднее время пребывания.

Результаты расчетов представляются в табличном виде (форма 1).

2) Определить предельную интенсивность входящего потока заявок, при которой в РСМО существует стационарный режим.

3) Проанализировать сетевые характеристики функционирования однородной экспоненциальной РСМО при изменении интенсивности входящего потока заявок от значения, при котором загрузка «узкого места» составляет 0,1 – 0,2, до значения, при котором его загрузка составляет 0,9 – 0,95.

Результаты представляются в табличном виде (форма 2).

4) Определить «узкое место» (наиболее загруженный узел) РСМО и устранить его путем изменения:

- количества обслуживающих приборов;
- средней длительности обслуживания заявок.

Выполнить пункты 1) – 3) для каждого способа устранения «узкого места» и сравнить полученные результаты.

4.5. Обработать полученные результаты модельных экспериментов и составить отчет по проделанной работе.

5) Содержание отчета

5.1. Постановка задачи и исходные данные. Постановка задачи должна включать цель работы и основные этапы исследования.

5.2. Описание исследуемой системы.

5.3. Детальный план проведения исследовательской работы.

5.4. Результаты работы:

а) таблицы результатов;

б) графики зависимостей узловых и сетевых характеристик РСМО от интенсивности источника входящего потока заявок;

в) выводы по полученным результатам, включающие в себя, кроме констатации очевидных фактов (типа «характеристика увеличивается» или «характеристика уменьшается»), объяснение характера полученной зависимости; при этом следует ответить на следующие и т.п. вопросы:

- Чему равна производительность и пропускная способность РСМО?
- Как и почему именно так ведет себя зависимость времени пребывания заявок в РСМО от интенсивности источника заявок?
- Как и на какие характеристики влияет устранение «узкого места» РСМО?
- Ответы на все сформулированные выше вопросы не должны быть простой констатацией фактов (типа «лучше», «больше», «одинаково» и т.п.), а должны сопровождаться подробными пояснениями и обоснованиями.

В процессе выполнения модельных экспериментов все полученные результаты рекомендуется заносить в таблицы, формы которых представлены ниже.

Обработка полученных результатов заключается в их представлении в форме сводных таблиц и/или графических зависимостей, позволяющих выполнить детальный анализ свойств исследуемой системы.

УКАЗАНИЕ: при выборе объема представляемых в отчете результатов (числа таблиц, графиков и зависимостей на одном графике) следует руководствоваться следующими соображениями:

- для каждой модели результаты должны быть представлены как минимум для 2-х сетевых и 2-х узловых характеристик РСeMO, при этом следует иметь в виду, что основной *сетевой* характеристикой для РСeMO является время пребывания заявок в сети;
- на одном графике не следует изображать только одну зависимость, а рекомендуется представлять не менее 2-х зависимостей (например, времени ожидания и времени пребывания), позволяющих выполнить их сравнительный анализ;
- несмотря на то, что в отчете графические зависимости могут быть представлены не для всех характеристик, следует четко представлять и при необходимости объяснить их характер и поведение при изменении соответствующего параметра.

б) Варианты заданий

Номер варианта формируется в виде двух чисел: А/В, где:

А – номер варианта, по которому выбираются основные параметры исследуемой РСeMO из табл.1 данного описания; граф модели в соответствии с указанным **типом** представлен на рисунке (стр.112);

В – номер варианта, по которому выбираются вероятности передач и средние длительности обслуживания заявок в узлах из табл.2.

Таблица 1

Структурные параметры и интенсивность источника заявок РСeMO

Вариант	Количество узлов	Кол-во приборов				Интенсивность источника заявок, с ⁻¹	Тип модели
		У1	У2	У3	У4		
1	3	1	2	3		2	М2
2	2	3	1			6	М1
3	2	1	3			4	М1
4	2	1	2			5	М1
5	2	4	1			7	М1
6	2	1	4			8	М1
7	3	1	3	2		2	М2
8	2	1	3			6	М1
9	2	3	1			4	М1
10	2	4	1			5	М1

Вариант	Количество узлов	Кол-во приборов				Интенсивность источника заявок, с ⁻¹	Тип модели
		У1	У2	У3	У4		
11	2	1	4			7	M1
12	2	5	1			8	M1
13	4	1	2	1	2	2	M4
14	3	2	1	1		3	M3
15	3	1	1	2		3	M2
16	3	1	2	1		3	M3
17	3	2	2	1		3	M2
18	3	3	1	1		3	M3
19	2	4	1			9	M1
20	4	2	1	1	2	2	M5
21	2	1	3			9	M1
22	4	1	1	2	2	2	M4
23	3	2	1	2		3	M3
24	3	1	1	3		3	M2
25	3	3	2	1		3	M3
26	3	2	3	1		3	M2
27	3	2	3	1		3	M3
28	2	1	4			9	M1
29	4	2	1	2	1	2	M5
30	2	5	1			9	M1
31	2	3	1			10	M1
32	2	1	2			11	M1
33	2	2	1			12	M1
34	2	1	3			13	M1
35	2	1	4			10	M1
36	2	2	1			11	M1
37	2	2	1			12	M1
38	2	4	1			13	M1
39	2	5	1			10	M1
40	2	1	2			11	M1
41	2	4	1			12	M1
42	2	1	5			13	M1
43	3	1	2	1		4	M2
44	3	2	1	1		4	M3
45	3	1	1	2		4	M2
46	3	2	1	2		4	M3
47	3	2	2	1		4	M2
48	3	2	1	2		4	M3
49	3	3	1	2		4	M2
50	3	2	1	3		4	M3

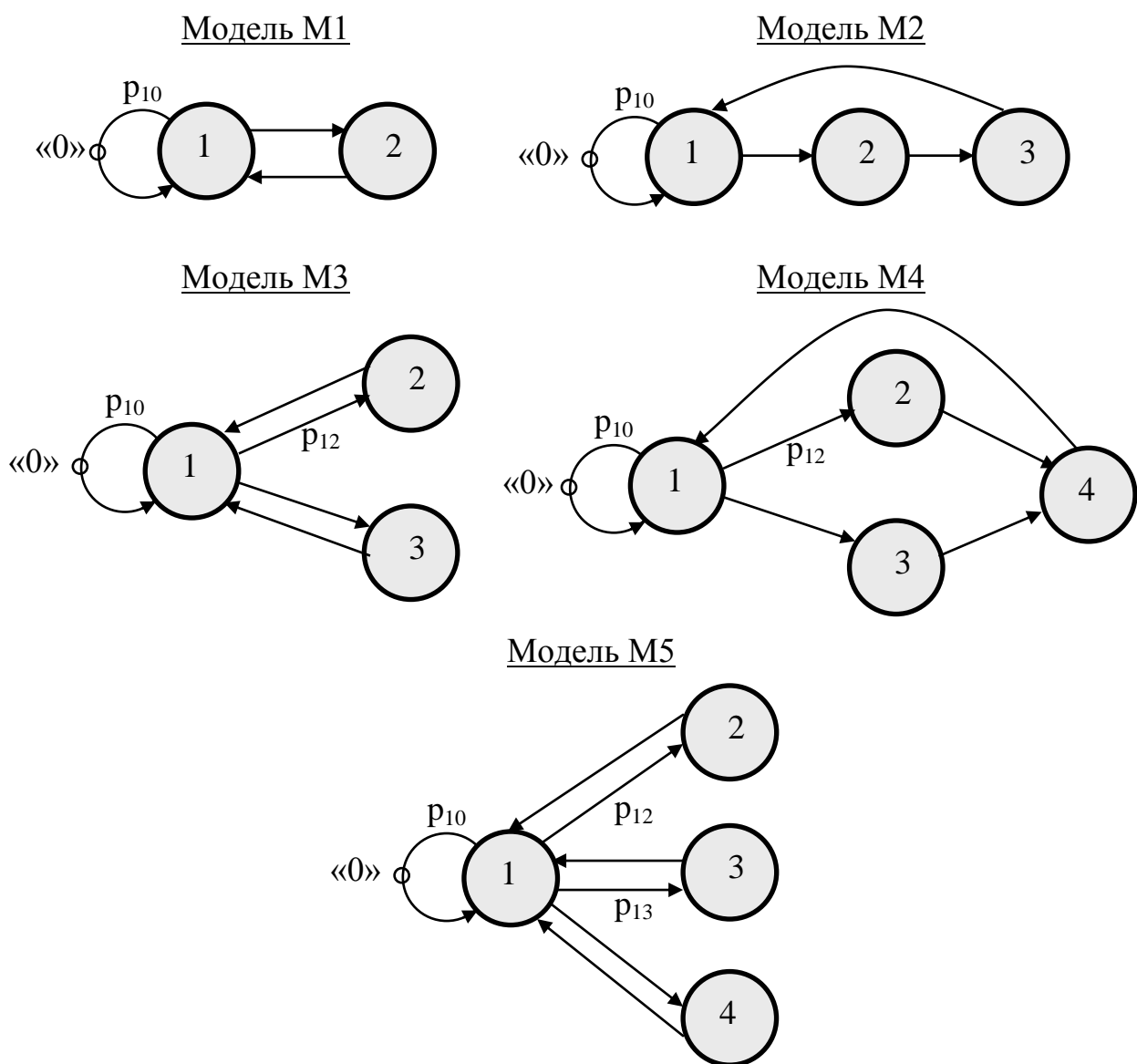


Таблица 2

Вероятности передач и средние длительности обслуживания заявок в РСeMO

Вариант В	Вероятности передач			Средние длительности обслуживания, с			
	p_{10}	p_{12}	p_{13}	b_1	b_2	b_3	b_4
1	0,1	0,3	0,3	1,0	1,0	1,0	1,0
2	0,2	0,4	0,2	0,5	1,0	1,0	1,0
3	0,25	0,25	0,25	0,25	0,5	1,0	1,0
4	0,5	0,25	0,1	0,5	0,25	0,5	0,5
5	0,1	0,5	0,2	0,2	0,5	0,5	0,25
6	0,2	0,3	0,3	1,5	0,5	1,0	1,0
7	0,25	0,5	0,1	0,25	0,25	0,5	0,5
8	0,5	0,3	0,1	1,5	1,0	0,5	0,5
9	0,1	0,4	0,25	0,4	0,5	1,0	1,0
10	0,2	0,5	0,1	0,5	0,5	0,5	0,5

7) Рекомендуемые формы таблиц

Форма 1

Характеристики исследуемых РСeMO

Характеристики	РСeMO 1					РСeMO 2				
	Узел				Сеть	Узел				Сеть
	1	2	3	4		1	2	3	4	
Коэффициент загрузки										
Ср. длина очереди										
Ср. число заявок										
Ср. время ожидания										
Ср. время пребывания										

Форма 2

Характеристики исследуемых РСeMO

Характеристики	(Предельная интенсивность =) Интенсивность потока									
	РСeMO 1					РСeMO 2				
Ср. длина очереди										
Ср. число заявок										
Ср. время ожидания										
Ср. время пребывания										

Примечание: результаты могут быть представлены в виде графиков с указанием на них значений варьируемых параметров и характеристик.

3.1.1.4. Задание ДА4: исследование однородных экспоненциальных замкнутых СеМО

1) Цель задания

Исследование однородных экспоненциальных замкнутых сетей массового обслуживания (ЗСеМО) с использованием аналитических методов расчёта характеристик функционирования.

2) Содержание задания

Разработка аналитических моделей однородных экспоненциальных ЗСеМО и проведение на их основе модельных экспериментов с целью исследования характеристик функционирования и выявления свойств ЗСеМО.

В процессе исследований для расчета характеристик однородных экспоненциальных ЗСеМО может использоваться программа ITMOdel.

3) Этапы задания

Разработка моделей исследуемых однородных экспоненциальных ЗСеМО; варьирование параметров в диапазоне коэффициента загрузки наиболее загруженного узла сетевой модели («узкого места») от 0,1 до 0,95 и обработка результатов; разгрузка «узкого места» двумя способами; анализ полученных результатов; формулирование общих выводов по выполненному домашнему заданию.

4) Порядок выполнения задания

4.1. Получить у преподавателя задание на работу. Варианты заданий приведены в таблице (п. 6).

4.2. Разработать детальный план проведения исследовательской работы.

4.3. Разработать аналитические модели однородных экспоненциальных ЗСеМО.

Разработка аналитических моделей заключается в подготовке следующих исходных данных (параметров) для проведения расчетов аналитическими методами:

- количество узлов ЗСеМО;
- количество обслуживающих приборов в узлах ЗСеМО;
- матрица вероятностей передач и рассчитанные по этой матрице коэффициенты передач;
- число заявок, циркулирующих в ЗСеМО;
- средние длительности обслуживания заявок в узлах ЗСеМО.

4.4. Выполнить следующие модельные эксперименты. Для проведения модельных экспериментов рекомендуется использовать программу ITMOdel.

1) Рассчитать основные узловые и сетевые характеристики однородных экспоненциальных ЗСеМО:

- коэффициент загрузки;

- средняя длина очереди;
- среднее число заявок;
- среднее время ожидания;
- среднее время пребывания;
- производительность.

Результаты расчетов представляются в табличном виде (форма 1).

2) Изменяя число заявок в сети, определить критическое число заявок, начиная с которого производительность ЗСеМО не изменяется с заданной точностью (прирост производительности не превосходит 1–5%).

3) Проанализировать сетевые характеристики функционирования ЗСеМО при изменении числа заявок в сети от значения, при котором загрузка «узкого места» составляет 0,1 – 0,2, до значения, при котором его загрузка составляет 0,9 – 0,95.

Результаты представляются в табличном виде (форма 2).

4) Определить «узкое место» (наиболее загруженный узел) ЗСеМО и устранить его путем изменения:

- количества обслуживающих приборов;
- средней длительности обслуживания заявок.

Выполнить пункты 1) – 3) для каждого способа устранения «узкого места» и сравнить полученные результаты.

4.5. Обработать полученные результаты модельных экспериментов и составить отчет по проделанной работе.

5) Содержание отчета

5.1. Постановка задачи и исходные данные. Постановка задачи должна включать цель работы и основные этапы исследования.

5.2. Описание исследуемой системы.

5.3. Детальный план проведения исследовательской работы.

5.4. Результаты работы:

а) таблицы результатов;

б) графики зависимостей узловых и сетевых характеристик ЗСеМО от числа циркулирующих в сети заявок;

в) выводы по полученным результатам, включающие в себя, кроме констатации очевидных фактов (типа «характеристика увеличивается» или «характеристика уменьшается»), объяснение характера полученной зависимости; при этом следует ответить на следующие и т.п. вопросы:

- Чему равно критическое число заявок в ЗСеМО и почему при достижении критического числа заявок в ЗСеМО не меняется производительность ЗСеМО?
- Чем определяется предельная производительность (пропускная способность) ЗСеМО? Как ее можно определить, не прибегая к подробным расчетам?
- Как изменяется время пребывания заявок в ЗСеМО? Почему эта зависимость имеет именно такой характер?

- Ответы на все сформулированные выше вопросы не должны быть простой констатацией фактов (типа «лучше», «больше», «одинаково» и т.п.), а должны сопровождаться подробными пояснениями и обоснованиями.

В процессе выполнения модельных экспериментов все полученные результаты рекомендуется заносить в таблицы, формы которых представлены ниже.

Обработка полученных результатов заключается в их представлении в форме сводных таблиц и/или графических зависимостей, позволяющих выполнить детальный анализ свойств исследуемой системы.

УКАЗАНИЕ: при выборе объема представляемых в отчете результатов (числа таблиц, графиков и зависимостей на одном графике) следует руководствоваться следующими соображениями:

- для каждой модели результаты должны быть представлены как минимум для 1–2-х сетевых и 1–2-х узловых характеристик ЗСеМО, при этом следует иметь в виду, что основной *сетевой* характеристикой для ЗСеМО является производительность;
- на одном графике не следует изображать только одну зависимость, а рекомендуется представлять не менее 2-х зависимостей (например, времени ожидания и времени пребывания), позволяющих выполнить их сравнительный анализ;
- несмотря на то, что в отчете графические зависимости могут быть представлены не для всех характеристик, следует четко представлять и при необходимости объяснить их характер и поведение при изменении соответствующего параметра.

б) Варианты заданий

Номер варианта формируется в виде двух чисел: А/В, где:

А – номер варианта, по которому выбираются основные параметры исследуемой СеМО из табл.1 данного описания; граф модели в соответствии с **типом** (см.табл.1) представлен на рисунке (стр.112);

В – номер варианта, по которому выбираются вероятности передач и средние длительности обслуживания заявок в узлах из табл.2.

Таблица 1

Структурные параметры и число заявок, циркулирующих в ЗСеМО

Вариант	Количество узлов	Количество приборов				Число заявок	Кол-во состояний	Тип модели
		У1	У2	У3	У4			
1	3	1	2	3		2	6	М2
2	2	3	1			6	7	М1
3	2	1	3			4	5	М1
4	2	1	2			5	6	М1
5	2	4	1			7	8	М1
6	2	1	4			8	9	М1

Вариант	Количество узлов	Количество приборов				Число заявок	Кол-во состояний	Тип модели
		У1	У2	У3	У4			
7	3	1	3	2		2	6	M2
8	2	1	3			6	7	M1
9	2	3	1			4	5	M1
10	2	4	1			5	6	M1
11	2	1	4			7	8	M1
12	2	5	1			8	9	M1
13	4	1	2	1	2	2	10	M4
14	3	2	1	1		3	10	M3
15	3	1	1	2		3	10	M2
16	3	1	2	1		3	10	M3
17	3	2	2	1		3	10	M2
18	3	3	1	1		3	10	M3
19	2	4	1			9	10	M1
20	4	2	1	1	2	2	10	M5
21	2	1	3			9	10	M1
22	4	1	1	2	2	2	10	M4
23	3	2	1	2		3	10	M3
24	3	1	1	3		3	10	M2
25	3	3	2	1		3	10	M3
26	3	2	3	1		3	10	M2
27	3	2	3	1		3	10	M3
28	2	1	4			9	10	M1
29	4	2	1	2	1	2	10	M5
30	2	5	1			9	10	M1
31	2	3	1			10	11	M1
32	2	1	2			11	12	M1
33	2	2	1			12	13	M1
34	2	1	3			13	14	M1
35	2	1	4			10	11	M1
36	2	2	1			11	12	M1
37	2	2	1			12	13	M1
38	2	4	1			13	14	M1
39	2	5	1			10	11	M1
40	2	1	2			11	12	M1
41	2	4	1			12	13	M1
42	2	1	5			13	14	M1
43	3	1	2	1		4	15	M2
44	3	2	1	1		4	15	M3
45	3	1	1	2		4	15	M2
46	3	2	1	2		4	15	M3
47	3	2	2	1		4	15	M2

Вариант	Количество узлов	Количество приборов				Число заявок	Кол-во состояний	Тип модели
		У1	У2	У3	У4			
48	3	2	1	2		4	15	М3
49	3	3	1	2		4	15	М2
50	3	2	1	3		4	15	М3
51	3	2	1	1		4	15	М2
52	3	2	1	1		4	15	М3
53	3	3	1	1		4	15	М2
54	3	1	1	3		4	15	М3

Таблица 2

Вероятности передач и средние длительности обслуживания заявок в ЗСеМО

Вариант В	Вероятности передач			Средние длительности обслуживания, с			
	p_{10}	p_{12}	p_{13}	b_1	b_2	b_3	b_4
1	2	3	4	5	6	7	8
1	0,1	0,3	0,3	1,0	1,0	1,0	1,0
2	0,2	0,4	0,2	0,5	1,0	1,0	1,0
3	0,25	0,25	0,25	0,25	0,5	1,0	1,0
4	0,5	0,25	0,1	0,5	0,25	0,5	0,5
5	0,1	0,5	0,2	0,2	0,5	0,5	0,25
6	0,2	0,3	0,3	1,5	0,5	1,0	1,0
7	0,25	0,5	0,1	0,25	0,25	0,5	0,5
8	0,5	0,3	0,1	1,5	1,0	0,5	0,5
9	0,1	0,4	0,25	0,4	0,5	1,0	1,0
10	0,2	0,5	0,1	0,5	0,5	0,5	0,5

7) Рекомендуемые формы таблиц

Форма 1

Характеристики исследуемых ЗСеМО

Характеристики	ЗСеМО 1					ЗСеМО 2				
	Узел				Сеть	Узел				Сеть
	1	2	3	4		1	2	3	4	
Коэффициент загрузки										
Ср. длина очереди										
Ср. число заявок										
Ср. время ожидания										
Ср. время пребывания										
Производительность										

Характеристики исследуемых ЗСеМО

Характеристики	(Критическое число заявок =) Число заявок в ЗСеМО									
	ЗСеМО 1					ЗСеМО 2				
Ср. длина очереди										
Ср. число заявок										
Ср. время ожидания										
Ср. время пребывания										
Производительность										

Примечание: результаты могут быть представлены в виде графиков с указанием на них значений варьируемых параметров и характеристик.

3.1.2. Исследование экспоненциальных СМО и СеМО методами Марковских случайных процессов

Домашние задания (ДМ1 – ДМ3) содержат детализированные исследования характеристик СМО и СеМО различных классов с применением методов *Марковских* случайных процессов.

3.1.2.1. Задание ДМ1: исследование однородных СМО

1) Цель задания

Изучение метода Марковских случайных процессов и его применение для исследования простейших моделей – систем массового обслуживания (СМО) с однородным потоком заявок.

2) Содержание задания

Разработка и расчет Марковских моделей одно- и многоканальных СМО с однородным потоком заявок и выбор наилучшего варианта построения СМО в соответствии с заданным критерием эффективности.

В процессе исследований для расчета характеристик функционирования СМО можно использовать программу MARK.

3) Этапы задания

3.1. Разработка Марковских моделей исследуемых систем.

3.2. Освоение программы по расчету Марковских моделей.

3.3. Проведение расчетов по разработанным моделям и обработка результатов.

3.4. Анализ полученных результатов.

3.5. Выбор наилучшего варианта организации системы из двух вариантов в соответствии с заданным критерием эффективности.

4) Порядок выполнения задания

4.1. Получить задание на работу. Варианты заданий приведены в таблице (п. 6).

4.2. Построить графы переходов для заданных СИСТЕМЫ_1 и СИСТЕМЫ_2.

4.3. Рассчитать характеристики Марковского процесса для СИСТЕМЫ_1 и СИСТЕМЫ_2.

4.4. Проанализировать характеристики функционирования системы.

4.5. Выбрать и обосновать наилучший способ организации системы в соответствии с заданным критерием эффективности.

5) Содержание отчета

5.1. Постановка задачи и исходные данные. Постановка задачи должна включать цель работы и основные этапы исследования.

5.2. Описание исследуемой системы.

5.3. Способ кодирования и перечень состояний Марковского процесса для исследуемой системы.

5.4. Результаты работы:

- размеченный граф переходов Марковского процесса;
- матрица интенсивностей переходов;
- значения стационарных вероятностей, сведенные в таблицу (форма 1);
- формулы, используемые для расчета характеристик системы и значения характеристик системы, сведенные в таблицы (форма 2);
- результаты (графики и выводы) сравнительного анализа характеристик функционирования исследуемых систем;
- обоснование выбора наилучшего варианта организации системы в соответствии с заданным критерием эффективности.

6) Варианты заданий

Номер варианта задается в виде двойки N1/N2, где N1 – номер варианта из табл.1, N2 – номер варианта из табл.2.

Таблица 1

Параметры структурной и функциональной организации систем

Вариант	СИСТЕМА_1		СИСТЕМА_2		Критерий эффективности
	П	ЕН	П	ЕН	
1	2	4/0	3	1/0/0	(а)
2	2	3/0	3	2/0/0	(б)
3	2	2/0	3	1/1/0	(в)
4	2	1/0	3	1/0/1	(г)
5	2	6	2	3/2	(д)
6	2	4/1	1	5	(а)
7	2	3/1	2	2/1	(б)
8	2	2/1	2	1/3	(в)
9	2	1/1	3	0/1/1	(г)
10	2	5	2	1/3	(д)
11	2	2/2	1	4	(а)
12	2	7	3	2/0/0	(б)
13	3	3/0/0	3	3	(в)
14	3	2/0/0	2	2/0	(г)
15	3	5	3	1/0/1	(д)
16	3	1/1/0	2	1/1	(а)
17	3	1/0/0	2	2/1	(б)
18	3	0/0/1	2	0/3	(в)
19	3	0/0/2	2	1/1	(г)
20	3	0/0/3	2	0/3	(д)
21	2	0/4	3	0/0/1	(а)
22	2	0/3	3	1/0/0	(б)
23	2	0/2	3	0/0/2	(в)
24	2	0/1	3	0/1/1	(г)

Вариант	СИСТЕМА_1		СИСТЕМА_2		Критерий эффективности
	П	ЕН	П	ЕН	
25	2	6	1	5	(д)
26	2	¼	2	5	(а)
27	2	1/3	3	1/0/0	(б)
28	2	½	1	4	(в)
29	2	1/1	3	1/1/0	(г)
30	2	5	3	0/1/1	(д)
31	2	2/2	2	6	(а)
32	2	7	2	3/1	(б)
33	3	1/0/1	2	2/0	(в)
34	3	2/0/0	2	6	(г)
35	3	0/3/0	2	0/2	(д)
36	3	0/2/0	2	1/1	(а)
37	3	5	2	2/2	(б)
38	3	0/1/1	2	1/1	(в)
39	3	0/1/0	2	0/3	(г)
40	3	4	3	2/0/0	(д)

Обозначения в табл.1:

П – число обслуживающих Приборов;

ЕН – Емкости Накопителей: **X/Y/Z** (**X** – перед первым прибором, **Y** – перед вторым прибором, **Z** – перед третьим прибором).

УКАЗАНИЯ: 1) емкость накопителя, представленная одним числом, означает общий накопитель перед всеми приборами, т.е. СМО является *многоканальной*;

2) критерий эффективности – выбирается в соответствии с вариантом из следующего множества:

- а) максимальная производительность системы;
- б) минимальные потери заявок;
- в) максимальная загрузка системы;
- г) минимальное время пребывания в системе заявок;
- д) минимальная суммарная длина очередей заявок.

Таблица 2

Параметры нагрузки

Вариант	Интенс. потока	Ср.длит. обслуж.	Вероятности занятия прибора ...		
	λ (1/с)	B (с)	П1	П2	П3
1	0,1	25	1/3	1/3	1/3
2	0,2	20	0,4	0,5	0,1
3	0,3	20	0,25	0,25	0,5
4	0,4	15	0,2	0,3	0,5

Вариант	Интенс. потока	Ср. длит. обслуж.	Вероятности занятия прибора ...		
	λ (1/с)	B (с)	П1	П2	П3
5	0,5	10	0,5	0,4	0,1
6	0,6	5	0,1	0,2	0,7
7	0,7	5	0,2	0,4	0,2
8	0,8	5	0,3	0,5	0,2
9	0,9	4	0,5	0,3	0,2
10	1,0	2	0,6	0,3	0,1
11	0,1	40	1/3	1/3	1/3
12	0,2	25	0,4	0,5	0,1
13	0,3	25	0,25	0,25	0,5
14	0,4	20	0,2	0,3	0,5
15	0,5	10	0,5	0,4	0,1
16	0,6	10	0,1	0,2	0,7
17	0,7	8	0,2	0,4	0,2
18	0,8	4	0,3	0,5	0,2
19	0,9	2	0,5	0,3	0,2
20	1,0	4	0,6	0,3	0,1

УКАЗАНИЕ к табл.2

Вероятности занятия прибора определяются следующим образом:

- в случае трехканальной СМО выбираются из табл.2 (см. вероятности занятия приборов П1, П2 и П3);
- в случае двухканальной СМО вероятность занятия прибора П1 выбирается из табл.2, а вероятность занятия прибора П2 принимается равной сумме вероятностей занятия приборов П2 и П3;
- в случае одноканальной СМО вероятность занятия прибора П принимается равной 1.

7) Рекомендуемые формы таблиц

Форма 1

Стационарные вероятности состояний

Номер состояния	СИСТЕМА_1		СИСТЕМА_2	
	Обозн.	Вер-ть	Обозн.	Вер-ть
1				
2				
...				
...				

УКАЗАНИЕ к форме 1

В столбце «Обозн.» указываются обозначения всех состояний Марковского процесса, принятые в соответствии с выбранной кодировкой.

Характеристики СИСТЕМЫ ____

Хар-ка	Прибор	Расчетная формула	СИСТ. 1	СИСТ. 2
Нагрузка	П1			
	П2			
	П3			
	Сумм.			
Загрузка	П1			
	П2			
	П3			
	Сумм.			
Длина очереди	П1			
	П2			
	П3			
	Сумм.			
Число заявок	П1			
	П2			
	П3			
	Сумм.			
Время ожидания	П1			
	П2			
	П3			
	Сумм.			
Время пребывания	П1			
	П2			
	П3			
	Сумм.			
Вер-ть потери	П1			
	П2			
	П3			
	Сумм.			
Производительность	П1			
	П2			
	П3			
	Сумм.			

УКАЗАНИЕ: расчет всех характеристик обслуживания заявок, там, где возможно, должен проводиться через вероятности состояний Марковского процесса без использования фундаментальных зависимостей (формул Литтла и т.п.); последние могут и должны использоваться для проверки полученных результатов.

3.1.2.2. Задание ДМ2: исследование приоритетных СМО

1) Цель задания

Изучение метода Марковских случайных процессов и его применение для исследования приоритетных моделей – систем массового обслуживания (СМО) с неоднородным потоком заявок.

2) Содержание задания

Разработка Марковских моделей одно- и двухканальных СМО с неоднородным потоком заявок и приоритетным обслуживанием и исследование характеристик их функционирования. Выбор наилучшего варианта построения СМО в соответствии с заданным критерием эффективности.

В процессе исследований для расчета характеристик функционирования СМО можно использовать программу MARK.

3) Этапы задания

3.1. Построение и описание исследуемой системы массового обслуживания.

3.2. Разработка Марковской модели исследуемой системы.

3.3. Проведение расчетов разработанной модели и получение результатов.

3.4. Анализ полученных результатов.

3.5. Детальный анализ зависимостей характеристик системы при изменении нагрузки.

4) Порядок выполнения задания

4.1. Получить задание на работу. Варианты заданий приведены в таблице (п. 6).

4.2. Построить и описать модель исследуемой системы с учетом заданных в каждом варианте и описанных в п. 6 параметров.

4.3. Построить граф переходов для заданной модели.

4.4. Рассчитать характеристики системы для заданной дисциплины обслуживания.

4.5. Проанализировать характеристики функционирования системы для заданной ДО.

4.6. Выполнить детальный анализ зависимостей характеристик системы от нагрузки путем пропорционального изменения для всех классов заявок:

а) интенсивностей поступления заявок в систему и

б) длительности обслуживания заявок в приборе,

подбирая их начальные и конечные значения так, чтобы

суммарная нагрузка системы находилась в интервале $0,2 - 0,9$.

5) Содержание отчета

5.1. Постановка задачи и исходные данные. Постановка задачи должна включать цель работы и основные этапы исследования.

5.2. Описание исследуемой системы.

5.3. Перечень состояний Марковского процесса для исследуемой системы.

5.4. Результаты работы:

- размеченный граф переходов Марковского процесса;
- матрица интенсивностей переходов;
- значения стационарных вероятностей, сведенные в таблицу (форма 1);
- формулы, используемые для расчета характеристик системы и значения характеристик системы, сведенные в таблицы (форма 2);
- результаты варьирования параметров, сведенные в таблицу (форма 3);
- графики и выводы о качестве функционирования и свойствах системы, полученных на основе детального анализа в соответствии с п. 4.6;
- заключение по работе.

УКАЗАНИЕ: результаты расчетов (вместо рекомендуемых форм) и графики могут быть представлены в виде распечаток, например, полученных с помощью программы MARK.

б) Варианты заданий

Вариант каждого конкретного задания выдается преподавателем в виде пары чисел А/В, где А – номер варианта, по которому выбираются параметры структурной и функциональной организации исследуемой системы из табл. 1 и В – номер варианта, по которому выбираются параметры нагрузки из табл. 2.

В табл. 1 используются следующие обозначения.

6.1. Количество классов заявок (К).

6.2. Число обслуживающих приборов (П).

6.3. Емкости накопителей (ЕН) в виде Е1/Е2/Е3, где Е1, Е2 и Е3 – емкости накопителей для заявок классов 1, 2 и 3 соответственно; емкость общего для всех классов заявок накопителя задается в виде одного числа.

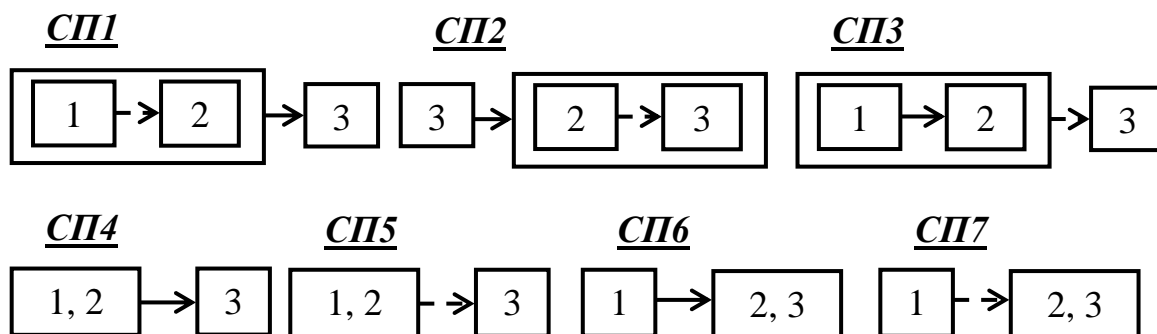
6.4. Варианты занятия прибора (ВЗП) в случае многоканальной СМО:

- а) поступившая заявка занимает любой свободный прибор с равной вероятностью;
- б) поступившая заявка занимает свободный прибор с меньшим номером;
- в) поступившая заявка занимает свободный прибор с большим номером.

6.5. Дисциплина обслуживания (ДО):

- 1) беспriorитетная (БП);
- 2) с относительными приоритетами (ОП);
- 3) с абсолютными приоритетами (АП);

- 4) со смешанными приоритетами (в случае трех классов заявок), заданная графически:



6.6. Порядок назначения приоритетов (ПНП) задается в виде последовательности номеров классов заявок в соответствии с убыванием приоритетов, например: 3–1–2 означает, что заявки класса 3 имеют приоритет по отношению к заявкам класса 1 и 2, а заявки класса 1 имеют приоритет по отношению к заявкам класса 2.

6.7. Дисциплина буферизации (ДБ) (занесения заявок в накопитель):

- поступающая заявка любого класса при отсутствии свободного места в общем накопителе теряется;
- заявка высокого приоритета, поступающая в систему при заполненном общем накопителе, вытесняет из него заявку низшего приоритета, которая теряется;
- поступающая заявка любого класса при отсутствии свободного места в накопителе данного класса теряется;
- заявка высокого приоритета, поступающая в систему при заполненном накопителе данного класса и свободном накопителе низкоприоритетных заявок, занимает место в этом накопителе, в противном случае (если все накопители заняты) – теряется;
- заявка высокого приоритета, поступающая в систему при заполненном накопителе данного класса и свободном накопителе низкоприоритетных заявок, занимает место в этом накопителе, в противном случае (если накопители низкоприоритетных заявок заняты) – вытесняет заявку самого низкого приоритета.

6.8. Дисциплина прерывания (ДП):

- прерванная заявка теряется;
- прерванная заявка возвращается в общий накопитель при наличии в нем свободных мест;
- при отсутствии в общем накопителе свободных мест прерванная заявка вытесняет более низкоприоритетную заявку;
- при отсутствии в общем накопителе свободных мест прерванная заявка вытесняет из общего накопителя заявку такого же приоритета;

- д) прерванная заявка возвращается в накопитель данного класса при наличии в нем свободных мест, в противном случае – теряется;
- е) прерванная заявка при отсутствии свободных мест в накопителе данного класса заносится в свободный накопитель другого класса;
- ж) прерванная заявка при отсутствии свободных мест во всех накопителях вытесняет низкоприоритетную заявку из накопителя;
- з) прерванная заявка при отсутствии свободных мест во всех накопителях вытесняет из накопителя заявку такого же приоритета.

Таблица 1

Параметры структурной и функциональной организации

Вариант	Организация СИСТЕМЫ в соответствии с п. 6							
	К	П	ЕН	ВЗП	ДО	ПНП	ДБ	ДП
	6.1	6.2	6.3	6.4	6.5	6.6	6.7	6.8
1	2	1	2/1	–	ОП	1–2	(в)	–
2	2	1	2/1	–	АП	2–1	(г)	(е)
3	2	1	2	–	ОП	1–2	(а)	–
4	2	1	2	–	АП	2–1	(а)	(а)
5	2	1	2	–	АП	1–2	(б)	(б)
6	2	1	3	–	АП	2–1	(а)	(в)
7	2	1	3	–	АП	1–2	(б)	(г)
8	2	1	2/2	–	ОП	1–2	(в)	–
9	2	1	2/2	–	АП	1–2	(в)	(д)
10	2	2	1/1	(а)	ОП	1–2	(в)	–
11	2	2	1/1	(б)	АП	1–2	(в)	(д)
12	2	2	1	(в)	ОП	1–2	(а)	–
13	2	2	1	(а)	АП	2–1	(б)	(а)
14	2	2	2	(б)	АП	1–2	(а)	(а)
15	2	2	2	(в)	АП	2–1	(б)	(б)
16	2	1	3	–	ОП	1–2	(а)	–
17	2	1	4	–	АП	1–2	(б)	(а)
18	2	1	4	–	АП	2–1	(а)	(б)
19	2	2	2	(а)	ОП	1–2	(б)	–
20	2	1	4	–	ОП	2–1	(а)	–
21	3	1	1/1/0	–	ОП	1–2–3	(в)	–
22	3	1	1/1/1	–	АП	2–3–1	(г)	(а)
23	3	1	1/1/1	–	СП1	1–2–3	(в)	(а)
24	3	1	1/1/1	–	СП2	2–1–3	(г)	(а)
25	3	1	1/1/1	–	СП3	1–3–2	(в)	(б)
26	3	1	1/1/1	–	СП4	3–2–1	(г)	(б)
27	3	1	1/1/1	–	СП5	1–2–3	(в)	–

Вариант	Организация СИСТЕМЫ в соответствии с п. 6							
	К	П	ЕН	ВЗП	ДО	ПНП	ДБ	ДП
	6.1	6.2	6.3	6.4	6.5	6.6	6.7	6.8
28	3	1	1/1/1	–	СП6	3–1–2	(Г)	(Б)
29	3	1	1/1/1	–	СП7	1–2–3	(В)	–
30	3	1	1/1/1	–	АП	3–2–1	(Г)	(Б)
31	3	1	2/1/0	–	ОП	1–2–3	(Г)	–
32	3	1	1/2/0	–	АП	3–2–1	(В)	(Б)
33	3	1	2/1/0	–	СП1	1–2–3	(Г)	(а)
34	3	1	2/0/1	–	СП3	2–1–3	(В)	(Б)
35	3	1	2/1/0	–	СП4	1–2–3	(Г)	(а)
36	3	1	0/2/1	–	СП2	3–2–1	(В)	(Б)
37	3	1	0/1/2	–	СП6	3–2–1	(Г)	(Б)
38	3	1	2/1/1	–	АП	1–2–3	(В)	(а)
39	3	1	2	–	СП1	3–2–1	(Б)	(а)
40	3	1	2	–	СП2	1–2–3	(а)	(Б)

Таблица 2

Параметры нагрузки

Вариант	Интенсивность потока, с ⁻¹			Ср. длит. обслуживания, с		
	λ_1	λ_2	λ_3	b_1	b_2	b_3
1	0,1	0,2	0,2	4,0	2,0	1,0
2	0,1	0,2	0,3	5,0	2,0	2,0
3	0,1	0,3	0,2	4,0	2,0	4,0
4	0,1	0,3	0,3	4,0	4,0	2,0
5	0,2	0,1	0,1	2,0	2,0	5,0
6	0,2	0,1	0,2	2,0	4,0	5,0
7	0,2	0,1	0,3	1,0	2,0	5,0
8	0,1	0,4	1,0	2,0	1,0	0,5
9	0,2	0,5	1,0	2,0	2,0	0,2
10	0,5	0,1	1,0	1,0	2,0	0,5
11	0,5	1,0	0,4	0,5	0,1	0,2
12	0,2	1,0	0,5	0,5	0,2	0,1
13	0,2	0,4	0,6	0,2	0,2	0,1
14	1,0	0,4	0,5	0,1	0,1	0,05
15	1,0	0,2	0,5	0,05	0,1	0,1
16	1,0	0,5	0,1	0,05	0,2	0,5
17	1,0	2,0	0,1	0,05	0,1	1,0
18	1,0	0,5	0,1	0,05	0,5	1,0
19	1,0	1,5	0,5	0,1	0,2	0,5
20	1,0	0,5	1,5	0,1	0,5	0,2

7) Рекомендуемые формы таблиц

Форма 1

Стационарные вероятности состояний

Номер сост.	0	1	2	3	4	5	6	7	...
Код сост.									
Вер-ть сост.									

УКАЗАНИЕ: в графе «Код» указывается обозначение состояния в соответствии с принятой в работе кодировкой.

Форма 2

Результаты расчета характеристик функционирования СИСТЕМЫ

Характеристика	Класс заявок	Расчетная формула	Значение характеристики
Нагрузка	1		
	2		
	3		
	Сумм.		
Загрузка	1		
	2		
	3		
	Сумм.		
Длина очереди	1		
	2		
	3		
	Сумм.		
Число заявок	1		
	2		
	3		
	Сумм.		
Ср. время ожидания	1		
	2		
	3		
	Сумм.		
Ср. время пребывания	1		
	2		
	3		
	Сумм.		
Вероятность потери	1		
	2		
	3		
	Сумм.		

Продолжение формы 2			
Пропускная способность	1		
	2		
	3		
	Сумм.		

Форма 3

Результаты варьирования параметров

Характеристика	Класс заявок	Интенсивности потоков заявок					Ср. длительности обслуживания				
Нагрузка	1										
	2										
	3										
	Сумм.										
Загрузка	1										
	2										
	3										
	Сумм.										
Длина очереди	1										
	2										
	3										
	Сумм.										
Число заявок	1										
	2										
	3										
	Сумм.										
Ср. время ожидания	1										
	2										
	3										
	Сумм.										
Ср. время пребывания	1										
	2										
	3										
	Сумм.										
Вероятность потери	1										
	2										
	3										
	Сумм.										
Пропускная способность	1										
	2										
	3										
	Сумм.										

3.1.2.3. Задание ДМЗ: исследование однородных замкнутых СсМО

1) Цель задания

Изучение метода Марковских случайных процессов и его применение для исследования сетевых моделей – однородных замкнутых сетей массового обслуживания (ЗСМО).

2) Содержание задания

Разработка Марковских моделей однородных замкнутых сетей массового обслуживания (ЗСМО) и исследование характеристик их функционирования.

В процессе исследований для расчета характеристик функционирования СМО можно использовать программу MARK.

3) Этапы задания

3.1. Построение и описание исследуемой ЗСсМО.

3.2. Разработка Марковской модели исследуемой ЗСсМО.

3.3. Проведение расчетов разработанной модели и получение результатов.

3.4. Анализ полученных результатов.

3.5. Детальный сравнительный анализ характеристик экспоненциальной и неэкспоненциальной ЗСсМО.

4) Порядок выполнения задания

4.1. Получить задание на работу. Варианты заданий приведены в таблице (п. 6).

4.2. Построить и описать модель исследуемой системы с учетом заданных в каждом варианте и описанных в п. 6 параметров.

4.3. Построить граф переходов для заданной модели.

4.4. Рассчитать характеристики системы для экспоненциального закона распределения длительностей обслуживания в одном из узлов ЗСсМО, указанном в таблице 1:

- загрузки узлов;
- длины очередей и число заявок в узлах;
- времена ожидания и пребывания заявок в узлах;
- полное время ожидания и пребывания заявок в ЗСсМО;
- производительность ЗСсМО.

4.5. Проанализировать характеристики функционирования экспоненциальной ЗСсМО.

4.6. Изменить закон распределения длительности обслуживания в одном из узлов ЗСсМО, указанном в таблице 1. Рассчитать характеристики ЗСсМО, перечисленные в п. 4.4, для указанного закона распределения длительности обслуживания в соответствии с п. 6.2.

4.7. Выполнить детальный сравнительный анализ характеристик функционирования экспоненциальной и неэкспоненциальной ЗСсМО.

5) Содержание отчета

5.1. Постановка задачи и исходные данные. Постановка задачи должна включать цель работы и основные этапы исследования.

5.2. Описание исследуемой ЗСеМО.

5.3. Перечень состояний Марковского процесса для исследуемой ЗСеМО.

5.4. Результаты работы:

- описание ЗСеМО;
- перечень состояний Марковского процесса для ЗСеМО;
- размеченный граф переходов Марковского процесса;
- матрица интенсивностей переходов;
- значения стационарных вероятностей, сведенные в таблицу (форма 1);
- формулы, используемые для расчета характеристик ЗСеМО и значения характеристик ЗСеМО, сведенные в таблицы (форма 2);
- выводы о качестве функционирования и свойствах экспоненциальных и неэкспоненциальных ЗСеМО, полученных на основе детального сравнительного анализа в соответствии с п. 4.7;
- заключение по работе.

УКАЗАНИЕ: результаты расчетов (вместо рекомендуемых форм) могут быть представлены в виде распечаток, например, полученных с помощью программы MARK.

6) Варианты заданий

6.1. Номер варианта формируется в виде двух чисел: **A/B**, где:

A - номер варианта, по которому выбираются основные параметры исследуемой ЗСеМО из таблицы 1; граф модели в соответствии с указанным в задании типом представлен на рисунке (стр.112);

B - номер варианта, по которому выбираются вероятности передач и средние длительности обслуживания заявок в узлах из табл.2.

6.2. В графе «Номер узла» указывается номер узла, для которого при исследовании неэкспоненциальной СеМО экспоненциальное распределение длительности обслуживания заменяется на неэкспоненциальное:

- *Эрланга 2-го порядка* – для вариантов с *нечетными* номерами;
- *гиперэкспоненциальное* с коэффициентом вариации 2 – для вариантов с *четными* номерами.

Таблица 1

Структурные параметры и количество заявок в ЗСеМО

Вариант (А)	К-во узлов n	Количество приборов				К-во заявок М	Но- мер узла	Тип модели	Кол-во состо- яний
		У1	У2	У3	У4				
1	3	1	2	3		2	1	М2	6
2	2	3	1			6	2	М1	7
3	2	1	3			4	1	М1	5
4	2	1	2			5	1	М1	6
5	2	4	1			7	2	М1	8
6	2	1	4			8	1	М1	9
7	3	1	3	2		2	1	М2	6
8	2	1	3			6	1	М1	7
9	2	3	1			4	2	М1	5
10	2	4	1			5	2	М1	6
11	2	1	4			7	1	М1	8
12	2	5	1			8	2	М1	9
13	4	1	2	1	2	2	1	М4	10
14	3	2	1	1		3	3	М3	10
15	3	1	1	2		3	2	М2	10
16	3	1	2	1		3	1	М3	10
17	3	2	2	1		3	3	М2	10
18	3	3	1	1		3	2	М3	10
19	2	4	1			9	2	М1	10
20	4	2	1	1	2	2	3	М5	10
21	2	1	3			9	1	М1	10
22	4	1	1	2	2	2	2	М4	10
23	3	2	1	2		3	2	М3	10
24	3	1	1	3		3	1	М2	10
25	3	3	2	1		3	3	М3	10
26	3	2	3	1		3	3	М2	10
27	3	2	3	1		3	3	М3	10
28	2	1	4			9	1	М1	10
29	4	2	1	2	1	2	2	М5	10
30	2	5	1			9	2	М1	10
31	2	3	1			10	2	М1	11
32	2	1	2			11	1	М1	12
33	2	2	1			12	2	М1	13
34	2	1	3			13	1	М1	14
35	2	1	4			10	1	М1	11
36	2	2	1			11	2	М1	12

Вариант (А)	К-во узлов n	Количество приборов				К-во заявок М	Но-мер узла	Тип модели	Кол-во состояний
		У1	У2	У3	У4				
37	2	2	1			12	2	М1	13
38	2	4	1			13	2	М1	14
39	2	5	1			10	2	М1	11
40	2	1	2			11	1	М1	12
41	2	4	1			12	2	М1	13
42	2	1	5			13	1	М1	14
43	3	1	2	1		4	1	М2	15
44	3	2	1	1		4	3	М3	15
45	3	1	1	2		4	1	М2	15
46	3	2	1	2		4	2	М3	15
47	3	2	2	1		4	3	М2	15
48	3	2	1	2		4	2	М3	15
49	3	3	1	2		4	2	М2	15
50	3	2	1	3		4	2	М3	15

Таблица 2

Вероятности передач и ср. длительности обслуживания заявок в ЗСеМО

Вариант (В)	Вероятности передач			Средние длительности обслуживания, с			
	p_{10}	p_{12}	p_{13}	b_1	b_2	b_3	b_4
1	0,1	0,3	0,3	1,0	1,0	1,0	1,0
2	0,2	0,4	0,2	0,5	1,0	1,0	1,0
3	0,25	0,25	0,25	0,25	0,5	1,0	1,0
4	0,5	0,25	0,1	0,5	0,25	0,5	0,5
5	0,1	0,5	0,2	0,2	0,5	0,5	0,25
6	0,2	0,3	0,3	1,5	0,5	1,0	1,0
7	0,25	0,5	0,1	0,25	0,25	0,5	0,5
8	0,5	0,3	0,1	1,5	1,0	0,5	0,5
9	0,1	0,4	0,25	0,4	0,5	1,0	1,0
10	0,2	0,5	0,1	0,5	0,5	0,5	0,5

7) Рекомендуемые формы таблиц

Форма 1

Стационарные вероятности состояний

Номер сост.	0	1	2	3	4	5	6	7	...
Код сост.									
Вер-ть сост.									

УКАЗАНИЕ: в графе «Код сост.» указывается обозначение соответствующего состояния в соответствии с принятой в работе кодировкой.

Форма 2

Характеристики ЗСеМО

Характеристики ЗСеМО	Экспоненциальная ЗСеМО					Неэкспоненциальная ЗСеМО				
	Уз.1	Уз.2	Уз.3	Уз.4	Сеть	Уз.1	Уз.2	Уз.3	Уз.4	Сеть
Загрузка										
Длина очереди										
Число заявок										
Время ожидания										
Время пребывания										
Производительность										

УКАЗАНИЕ: в отчете должны быть представлены расчетные формулы, используемые для определения перечисленных характеристик.

3.2. Лабораторные работы по имитационному моделированию

В данном подразделе приводятся описания лабораторных работ, выполнение которых позволяет закрепить знания в области имитационного моделирования в среде GPSS World, полученные при изучении теоретического материала по дисциплине «Моделирование».

Описания лабораторных работ включают следующие разделы:

- 1) цель работы;
- 2) порядок выполнения работы;
- 3) программа исследований;
- 4) содержание отчета;
- 5) рекомендуемые формы таблиц.

3.2.1. Лабораторная работа Л1: исследование генераторов псевдослучайных величин

1) Цель работы

Исследование генераторов псевдослучайных величин, используемых в системе имитационного моделирования GPSS World при построении имитационных моделей. Исследования проводятся для генераторов псевдослучайных величин со следующими законами распределений:

- равномерный;
- экспоненциальный;
- нормированный Эрланга k -го порядка;
- гипоекспоненциальный с заданным коэффициентом вариации;
- гиперэкспоненциальный с заданным коэффициентом вариации.

Порядок распределения Эрланга и коэффициенты вариации гипоекспоненциального и гиперэкспоненциального распределений задаются преподавателем.

2) Содержание задания

В процессе исследований необходимо оценить качество генераторов псевдослучайных величин и выбрать из заданных генераторов наилучший. При этом следует:

- оценить минимальный объем выборки случайных величин, начиная с которого статистические свойства генератора соответствуют требуемым;
- оценить соответствие характеристик генераторов (математического ожидания, среднеквадратического отклонения, коэффициента вариации) заданным законам распределения;
- оценить соответствие полученных гистограмм распределения случайных величин заданным законам распределения (только для равномерного и экспоненциального);
- обосновать и выбрать из заданных генераторов наилучший.

Результаты проводимых исследований рекомендуется представлять в форме таблиц, приведенных ниже.

3) Порядок выполнения работы

3.1. Исследование генераторов случайных величин с каждым из заданных распределений проводится следующим образом.

- 1) Загрузить систему имитационного моделирования GPSS World.
- 2) Построить GPSS-модель формирования случайных величин, распределенных по заданному закону.
- 3) Провести исследование заданных генераторов случайных величин и заполнить соответствующую таблицу для чего необходимо:
 - а) выполнить трансляцию (компиляцию) модели;
 - б) с использованием пунктов меню «WINDOW»/«SIMULATION WINDOW»/ «TABLE WINDOW» перейти в окно таблиц для наблюдения за изменением гистограммы случайных чисел;
 - в) запустить программу командой «START», указав в качестве операнда А значение 10, что соответствует 10 вырабатываемым случайным величинам;
 - г) списать в соответствующую таблицу значения математического ожидания (Mean) и среднеквадратического отклонения (S.D.) из окна таблиц для гистограммы;
 - д) открыть окно отчета «REPORT» и просмотреть результаты моделирования;
 - е) сохранить на диске отчет или выписать в соответствующую таблицу число случайных величин, попавших в заданные интервалы;
 - ж) продолжить моделирование и повторить пункты в)-е), последовательно задавая в команде «START» число вырабатываемых случайных величин: 90, 900, 4000, 5000, 10000, что будет соответствовать общему количеству выработанных случайных величин: $10+90=100$; $100+900=1000$; $1000+4000=5000$; $5000+5000=10000$; $10000+10000=20000$;
 - з) перейти к пункту а) для исследования следующего генератора случайных величин в соответствии с заданным вариантом;
 - и) выполнять пункты а)-з) до тех пор, пока не будут исследованы все заданные генераторы.

4) Содержание отчета

4.1. Таблицы с результатами для заданных генераторов случайных величин, реализующих:

- равномерный закон – табл. 1;
- экспоненциальный – табл. 2;
- нормированный Эрланга– табл. 3;
- гипоекспоненциальный – табл. 4;
- гиперэкспоненциальный – табл. 5.

4.2. Гистограммы распределений с изображением на них теоретически рассчитанных значений вероятностей попаданий в заданные интервалы. Сравнить гистограммы распределений с одинаковыми коэффициентами вариации.

4.3. Сравнение рассчитанных вероятностей попадания в заданные интервалы с полученными при моделировании частотами попадания в эти же интервалы.

4.4. Теоретически рассчитанные значения числовых характеристик: математические ожидания, среднеквадратические отклонения, коэффициенты вариации для всех исследуемых генераторов и законов распределений случайных величин.

4.5. Сравнение рассчитанных и полученных при моделировании значений характеристик по величине относительных отклонений, рассчитываемых по формуле: $(m-p)/p$, где m – полученное при моделировании значение характеристики, p – расчетное значение.

4.6. Выводы по работе, в которых необходимо выявить:

- размер выборки (число) случайных величин, начиная с которого параметры сохраняют приемлемую стабильность;
- какой из исследуемых генераторов обеспечивает лучшую последовательность случайных величин.

5) Рекомендуемые формы таблиц

Форма таблиц 1–5

Характеристики генераторов случайных величин с распределением _____

Хар-ки и интервалы	RN _____						RN _____					
	10	100	1000	5000	10000	20000	10	100	1000	5000	10000	20000
Мат.ож.=												
С.к.о.=												
К-т вар.=												
0-100												
100-200												
200-300												
300-400												
400-500												
500-600												
600-700												
700-800												
800-900												
900-1000												

Примечание: в графы «Мат. ож.», «С.к.о.», «К-т вар.» для каждого эксперимента заносятся два значения: значение соответствующей характеристики, полученное в результате моделирования, а ниже под этим значением – относительное отклонение полученного значения от расчетного значения указанной характеристики (см. п. 4.5).

3.2.2. Лабораторная работа Л2: исследование СМО произвольного вида

1) Цель работы

Исследование свойств простейших одно- и многоканальных СМО с однородным потоком заявок на имитационных GPSS-моделях при различных предположениях о параметрах структурно-функциональной организации и нагрузки в соответствии с заданной программой исследований.

2) Содержание задания

В процессе исследований необходимо:

- оценить длительность переходного режима в системе для различных значений коэффициента загрузки системы;
- провести исследование влияния на среднее время ожидания и пребывания заявок в системе законов распределения интервалов между заявками в потоке и длительности обслуживания;
- провести исследование влияния на среднее время ожидания и пребывания заявок емкости накопителя;
- провести исследование влияния на среднее время ожидания и пребывания числа обслуживающих приборов при различных условиях.

Результаты проводимых исследований рекомендуется представлять в форме таблиц, приведенных ниже.

3) Порядок выполнения работы

3.1. Исследование СМО произвольного вида проводится следующим образом.

- 1) Загрузить систему имитационного моделирования GPSS World.
- 2) Загрузить из библиотеки GPSS-моделей файл sm0.gps.
- 3) Ознакомиться с программой GPSS-модели и назначением всех операторов.
- 4) Провести исследование модели массового обслуживания типа G/G/K/L в соответствии с программой исследований.

Для проведения исследований необходимо выполнить многовариантное моделирование, для чего предварительно необходимо спланировать проведение машинных экспериментов, подготовив несколько вариантов исследуемых систем в соответствии с программой исследований (количество вариантов и порядок проведения исследований определяется самими исследователями так, чтобы получить наиболее полное представление о свойствах СМО в соответствии с представленной ниже программой исследований). Параметры различных вариантов исследуемых систем заносятся в таблицу 1.

3.2. Исследования рекомендуется проводить по следующей программе.

3.2.1. Провести исследование влияния коэффициента загрузки на длительность переходного режима для значений 0,1 и 0,9, изменяя:

- а) интервалы между заявками в потоке;
- б) длительность обслуживания.

3.2.2. Провести исследование влияния на среднее время ожидания и пребывания заявок в системе закона распределения:

- 1) интервалов между заявками в потоке;
- 2) длительности обслуживания;
- 3) одновременно 1) и 2) для следующих распределений:
 - а) экспоненциального;
 - б) равномерного;
 - в) детерминированного;
 - г) Эрланга 2-го порядка;
 - д) Эрланга 4-го порядка.

Исследования по данному пункту рекомендуется проводить для значений загрузки СМО, равных 0,1 и 0,9.

3.2.3. Провести исследование влияния на среднее время ожидания и пребывания емкости накопителя и определить емкость накопителя, начиная с которой СМО можно рассматривать как систему с неограниченной очередью.

Исследования по данному пункту рекомендуется проводить для значений загрузки СМО, равных 0,5 и 0,9.

3.2.4. Провести исследование влияния числа обслуживающих приборов (1, 2, 3) на среднее время ожидания и пребывания заявок в системе:

- а) не изменяя нагрузку СМО;
- б) изменяя длительность обслуживания заявок и интервалы между заявками в потоке, но сохраняя при этом постоянной нагрузку СМО.

Исследования по данному пункту рекомендуется проводить для значений загрузки СМО, равных 0,1; 0,5 и 0,9.

3.3. Рекомендуется придерживаться следующего порядка выполнения работы:

а) отредактировать операторы GPSS-модели, изменив номер генератора равномерно распределенных случайных величин на номер генератора, выбранного в качестве наилучшего по результатам предыдущей лабораторной работы Л1;

б) отредактировать операторы GPSS-модели, установив следующие значения структурных параметров и параметров нагрузки:

- число обслуживающих приборов равное 1;
- емкость накопителя равная 100;
- средние значения интервалов между поступающими заявками и длительностей обслуживания выбираются произвольно, но так, чтобы эти значения обеспечивали требуемую нагрузку системы в интервале от 0,1 до 0,9;
- законы распределения интервалов между поступающими заявками и длительностей обслуживания;

в) проверить результаты редактирования и, выполнив трансляцию программы, создать объект «Процесс моделирования» (COMMAND/CREATE SIMULATION);

г) при наличии в программе ошибок, обнаруженных в процессе трансляции и указанных в журнале (JOURNAL), внести необходимые исправления в модель (программу) и повторить пункт в);

д) установить длительность моделирования, задав в команде START (COMMAND/ START) в качестве параметра значение счетчика завершений (число заявок, проходящих через исследуемую систему) равное 1000;

е) запустить процесс моделирования;

ж) по завершению моделирования на экране появляется стандартный отчет (REPORT), содержащий результаты моделирования, из которого необходимо выбрать и списать в табл. 2 (см. ниже) основные результаты моделирования:

- коэффициент загрузки СМО;
- среднее значение и среднеквадратическое отклонение времени ожидания заявок в СМО;
- среднее значение и среднеквадратическое отклонение времени пребывания заявок в СМО;
- количество потерянных заявок;

з) пункты д) - ж) повторить, пропуская через систему 5000, 10000, 50000, 100000 и 1000000 заявок (транзактов);

и) определить длительности переходного режима в системе;

к) изменить загрузку GPSS-модели в соответствии с программой исследований и повторить пункты в) - и);

л) по результатам моделирования оценить число заявок, которое необходимо пропускать через модель для того, чтобы получить статистически устойчивые результаты для каждого значения загрузки системы;

м) изменить параметры GPSS-модели в соответствии с выбранными вариантами и выполнить моделирование в соответствии с Программой исследований (пункты 2-4), задавая в команде START число пропускаемых через модель заявок, равное полученному в пункте к) значению, до тех пор, пока не будут проведены все исследования;

н) результаты моделирования по всем вариантам занести в табл.3;

о) выйти из GPSS.

3.3. Обработать полученные результаты и заполнить таблицу 2, рассчитав загрузку СМО, время ожидания и время пребывания заявок в системе (при неограниченной емкости накопителя и простейшем потоке заявок) и значения относительных отклонений указанных в таблицу. 2 характеристик. По результатам исследований составить отчет.

4) Содержание отчета

4.1. Описание исследуемых моделей.

4.2. Результаты моделирования, представленные по форме табл.1.

4.3. Сравнение полученных результатов с расчетными значениями для СМО типа М/М/1 и М/Г/1.

4.4. По рассчитанным значениям коэффициентов вариации времени ожидания и времени пребывания заявок в СМО определить законы их распределения.

4.5. Графики зависимости среднего времени ожидания от изменяемых параметров.

4.6. Графики зависимости вероятности потерь заявок от емкости накопителя. Вероятность потерь рассчитывается как отношение числа потерянных заявок к общему числу заявок, прошедших через СМО.

4.7. Выводы по работе, в которых необходимо выявить влияние параметров:

- на длительность переходного режима;
- на среднее время ожидания заявок в СМО.

5) Рекомендуемые формы таблиц

Таблица 1

Описание вариантов организации системы
(номер датчика случайных величин _____)

Номер варианта		1	2	3	4	5	6
Количество приборов							
Емкость накопителя							
Интервалы между заявками входящего потока	Ср. значение						
	З-н распределения						
Длительность обслуживания заявок	Ср. значение						
	З-н распределения						

Таблица 2

Характеристики обслуживания заявок
(номер варианта _____)

Количество заявок		100	500	1000	50000	10000	1000000
Теоретическая нагрузка системы	Значение						
	Относительное отклонение						
Ср. время ожидания	Ср. значение						
	Относительное отклонение						
	С. к. о.						
	К-т вариации						
Ср. время пребывания	Ср. значение						
	Относительное отклонение						
	С. к. о.						
	К-т вариации						
Потерянные заявки	Количество						
	Вероятность						

Таблица 3

Характеристики обслуживания заявок
(число прошедших через систему заявок _____)

Номер варианта		1	2	3	40	5	6
Теоретическая загрузка системы	Значение						
	Относительное отклонение						
Ср. время ожидания	Ср. значение						
	Относительное отклонение						
	С. к. о.						
	К-т вариации						
Ср. время пребывания	Ср. значение						
	Относительное отклонение						
	С. к. о.						
	К-т вариации						
Потерянные заявки	Количество						
	Вероятность						

3.2.3. Лабораторная работа 3: исследование разомкнутых СеМО произвольного вида

1) Цель работы

Исследование свойств разомкнутых СеМО (РСеМО) произвольного вида на имитационных GPSS-моделях при различных предположениях о параметрах структурно-функциональной организации и нагрузки в соответствии с заданной программой исследований.

1) Для модели экспоненциальной разомкнутой СеМО (РСеМО-1) определить длительность имитационного эксперимента, изменяя количество заявок (транзактов), проходящих через имитационную модель, которая обеспечивает приемлемую точность результатов (в пределах 1–3%) и затраты машинного времени на проведение эксперимента.

Рекомендуется провести 3 – 5 экспериментов, пропуская через модель от 1000 до 1000000 транзактов. В некоторых случаях максимальное число пропускаемых транзактов может составить 10 млн. и более.

2) Оценить влияние вида входного потока (коэффициента вариации интервалов времени между заявками) на характеристики функционирования РСеМО (модель РСеМО-2, РСеМО-3).

3) Оценить влияние законов распределения (коэффициента вариации – КВ) длительности обслуживания заявок в узлах на характеристики функционирования РСеМО, изменяя законы распределения длительностей обслуживания заявок в узлах имитационной модели РСеМО (модели РСеМО-4, РСеМО-5 и РСеМО-6).

Результаты представить в виде таблиц 1 и 2.

2) Содержание задания

В процессе исследований необходимо:

- для модели экспоненциальной разомкнутой СеМО (РСеМО-1) определить длительность имитационного эксперимента, изменяя количество заявок (транзактов), проходящих через имитационную модель, которая обеспечивает приемлемую точность результатов (в пределах 1-3%) и затраты машинного времени на проведение эксперимента; рекомендуется провести 3 – 5 экспериментов, пропуская через модель от 1000 до 1000000 транзактов, а при необходимости и более 1 млн. транзактов;

- оценить влияние вида входного потока (коэффициента вариации интервалов времени между заявками) на характеристики функционирования РСеМО (модель РСеМО-2, РСеМО-3);

- оценить влияние законов распределения (коэффициента вариации) длительности обслуживания заявок в узлах на характеристики функционирования РСеМО, изменяя законы распределения длительностей обслуживания заявок в узлах имитационной модели РСеМО (модели РСеМО-4, РСеМО-5 и РСеМО-6).

Результаты проводимых исследований рекомендуется представлять в форме таблиц, приведенных ниже.

3) Порядок выполнения работы

3.1. Исследование РСeMO произвольного вида проводится следующим образом.

- 1) Загрузить систему имитационного моделирования GPSS World.
- 2) Загрузить из библиотеки GPSS-моделей файл rsemo.gps.
- 3) Ознакомиться с программой GPSS-модели и назначением всех операторов.
- 4) Провести исследование РСeMO в соответствии с программой исследований.

Для проведения исследований необходимо выполнить многовариантное моделирование, для чего предварительно необходимо спланировать проведение машинных экспериментов, подготовив несколько вариантов исследуемых РСeMO в соответствии с программой исследований.

3.2. Исследования проводятся по следующей программе.

3.2.1. Провести исследование влияния на сетевые и узловые характеристики РСeMO закона распределения:

- интервалов между заявками в потоке:
 - а) детерминированного (РСeMO-2);
 - б) равномерного (РСeMO-3);
- длительности обслуживания в узлах для следующих распределений:
 - а) Эрланга 2-го порядка (РСeMO-4);
 - б) Эрланга 4-го порядка (РСeMO-5);
 - в) гиперэкспоненциального с КВ, равным 2 (РСeMO-6).

3.3. Обработать полученные экспериментальные результаты. По результатам исследований составить отчет.

4) Содержание отчета

4.1. Описание исследуемых моделей. Имитационные GPSS-модели (листинги GPSS-программ) с необходимыми комментариями.

4.2. Результаты моделирования, представленные по форме табл. 1 и табл. 2.

4.3. Выводы по полученным результатам, включающие в себя, кроме констатации очевидных фактов (типа «характеристика увеличивается» или «характеристика уменьшается»), объяснение характера полученной зависимости.

4.4. В качестве основных результатов имитационного моделирования должны быть представлены.

а) Оценка точности результатов имитационного моделирования по отношению к результатам аналитического моделирования, рассматриваемых в качестве эталонных. При этом необходимо ответить на следующие вопросы:

- Какова длительность переходного режима работы СеМО и от чего она зависит?
- Какова погрешность имитационного моделирования?
- Для каких характеристик погрешности имитационного моделирования имеют минимальные и максимальные значения и чем это можно объяснить?

б) Оценка влияния коэффициентов вариации длительностей обслуживания и интервалов между поступающими в разомкнутую СеМО заявками на характеристики функционирования РСеМО. При этом необходимо ответить на следующие вопросы:

- Каким законом можно аппроксимировать распределения следующих *характеристик* функционирования РСеМО:
 - времени пребывания и ожидания заявок в сети и в узлах,
 - интервалов между заявками, выходящими из РСеМО?
- Как влияют КВ длительностей обслуживания и интервалов между поступающими в разомкнутую СеМО заявками на средние значения и КВ характеристик РСеМО (загрузку узлов, времена ожидания и пребывания и т.д.)?

Ответы на все сформулированные выше вопросы не должны быть простой констатацией фактов (типа «лучше», «больше», «одинаково» и т.п.), а должны сопровождаться подробными пояснениями и обоснованиями.

УКАЗАНИЕ: при выборе объема представляемых в отчете результатов (числа таблиц, графиков и зависимостей на одном графике) следует руководствоваться следующими соображениями:

1) для каждой модели результаты должны быть представлены как минимум для 2-х сетевых и 2-х узловых характеристик РСеМО, при этом следует иметь в виду, что основной *сетевой* характеристикой для РСеМО является время пребывания заявок в сети;

2) на одном графике не следует изображать только одну зависимость, а рекомендуется представлять не менее 2-х зависимостей (например, времени ожидания и времени пребывания), позволяющих выполнить их сравнительный анализ;

3) несмотря на то, что в отчете графические зависимости могут быть представлены не для всех характеристик, следует четко представлять и при необходимости объяснить их характер и поведение при изменении соответствующего параметра.

5) Рекомендуемые формы таблиц

Таблица 1

Результаты имитационного моделирования
 Длительность моделирования _____ Количество транзактов _____

Характеристики СеМО	PCeMO-1					PCeMO-2					PCeMO-3				
	Узловые				Сетевые	Узловые				Сетевые	Узловые				Сетевые
	У1	У2	У3	У4		У1	У2	У3	У4		У1	У2	У3	У4	
Загрузка															
Длина очереди															
Число заявок															
Время ожидания															
Время пребывания															

Таблица 2

Результаты имитационного моделирования
 Длительность моделирования _____ Количество транзактов _____

Характеристики СеМО	PCeMO-4					PCeMO-5					PCeMO-6				
	Узловые				Сетевые	Узловые				Сетевые	Узловые				Сетевые
	У1	У2	У3	У4		У1	У2	У3	У4		У1	У2	У3	У4	
Загрузка															
Длина очереди															
Число заявок															
Время ожидания															
Время пребывания															

Примечания:

1) обозначения типов имитационных моделей представлены в п. 2;

2) результаты в таблицы записываются в виде дроби:

- *в числителе* – значения соответствующих характеристик;
- *в знаменателе* – рассчитанные *относительные погрешности* по сравнению с аналитической моделью (для модели РСемо-1) или *относительные изменения* (в %) характеристик неэкспоненциальных СеМО по сравнению с экспоненциальной РСемо (для моделей РСемо-2, 3, 4, 5, 6).

3.2.4. Лабораторная работа Л4: исследование замкнутых СеМО произвольного вида

1) Цель работы

Исследование свойств замкнутых СеМО (ЗСеМО) произвольного вида на имитационных GPSS-моделях при различных предположениях о параметрах структурно-функциональной организации и нагрузки в соответствии с заданной программой исследований.

1) Для модели экспоненциальной замкнутой СеМО (ЗСеМО-1) определить длительность имитационного эксперимента, изменяя количество заявок (транзактов), проходящих через имитационную модель, которая обеспечивает приемлемую точность результатов (в пределах 1–3%) и затраты машинного времени на проведение эксперимента.

Рекомендуется провести 3 – 5 экспериментов, пропуская через модель от 1000 до 1000000 транзактов.

2) Оценить влияние количества заявок, циркулирующих в сети на характеристики функционирования ЗСеМО.

3) Оценить влияние законов распределения (коэффициента вариации – КВ) длительности обслуживания заявок в узлах на характеристики функционирования ЗСеМО, изменяя законы распределения длительностей обслуживания заявок в узлах имитационной модели ЗСеМО (модели модель ЗСеМО-2, ЗСеМО-3, ЗСеМО-4, ЗСеМО-5 и ЗСеМО-6).

Результаты представить в виде таблиц 1 и 2.

2) Содержание задания

В процессе исследований необходимо:

- для модели экспоненциальной замкнутой СеМО (ЗСеМО-1) определить длительность имитационного эксперимента, изменяя количество заявок (транзактов), проходящих через имитационную модель, которая обеспечивает приемлемую точность результатов (в пределах 1-3%) и затраты машинного времени на проведение эксперимента; рекомендуется провести 3 – 5 экспериментов, пропуская через модель от 1000 до 1000000 транзактов, а при необходимости и более 1 млн. транзактов;

- оценить влияние количества заявок, циркулирующих в сети на характеристики функционирования ЗСеМО;

- оценить влияние законов распределения (коэффициента вариации – КВ) длительности обслуживания заявок в узлах на характеристики функционирования ЗСеМО, изменяя законы распределения длительностей обслуживания заявок в узлах имитационной модели ЗСеМО (модели модель ЗСеМО-2, ЗСеМО-3, ЗСеМО-4, ЗСеМО-5 и ЗСеМО-6).

Результаты проводимых исследований рекомендуется представлять в форме таблиц, приведенных ниже.

3) Порядок выполнения работы

3.1. Исследование ЗСеМО произвольного вида проводится следующим образом.

- 1) Загрузить систему имитационного моделирования GPSS World.
- 2) Загрузить из библиотеки GPSS-моделей файл zsemo.gps.
- 3) Ознакомиться с программой GPSS-модели и назначением всех операторов.
- 4) Провести исследование ЗСеМО в соответствии с программой исследований.

Для проведения исследований необходимо выполнить многовариантное моделирование, для чего предварительно необходимо спланировать проведение машинных экспериментов, подготовив несколько вариантов исследуемых ЗСеМО в соответствии с программой исследований.

3.2. Исследования проводятся по следующей программе.

3.2.1. Провести исследование влияния количества заявок, циркулирующих в сети на характеристики функционирования ЗСеМО

3.2.2. Провести исследование влияния на сетевые и узловые характеристики ЗСеМО закона распределения длительности обслуживания в узлах для следующих распределений:

- а) детерминированного (ЗСеМО-2);
- б) равномерного (ЗСеМО-3);
- в) Эрланга 2-го порядка (ЗСеМО-4);
- г) Эрланга 4-го порядка (ЗСеМО-5);
- д) гиперэкспоненциального с КВ, равным 2 (ЗСеМО-6).

3.3. Обработать полученные экспериментальные результаты. По результатам исследований составить отчет.

4) Содержание отчета

4.1. Описание исследуемых моделей. Имитационные GPSS-модели (листинги GPSS-программ) с необходимыми комментариями.

4.2. Результаты моделирования, представленные по форме табл. 1 и табл. 2.

4.3. Выводы по полученным результатам, включающие в себя, кроме констатации очевидных фактов (типа «характеристика увеличивается» или «характеристика уменьшается»), объяснение характера полученной зависимости.

4.4. В качестве основных результатов имитационного моделирования должны быть представлены.

а) Оценка точности результатов имитационного моделирования по отношению к результатам аналитического моделирования, рассматриваемых в качестве эталонных. При этом необходимо ответить на следующие вопросы:

- Какова длительность переходного режима работы СеМО и от чего она зависит?

- Какова погрешность имитационного моделирования?
- Для каких характеристик погрешности имитационного моделирования имеют минимальные и максимальные значения и чем это можно объяснить?

б) Оценка влияния коэффициентов вариации длительностей обслуживания в узлах замкнутой СеМО на характеристики функционирования ЗСеМО. При этом необходимо ответить на следующие вопросы:

- Каким законом можно аппроксимировать распределения следующих *характеристик* функционирования ЗСеМО:
 - времени пребывания в сети и в узлах,
 - времени ожидания заявок в сети и в узлах?
- Как влияют КВ длительностей обслуживания в узлах ЗСеМО на средние значения и КВ характеристик ЗСеМО (загрузку узлов, времена ожидания и пребывания и т.д.)?

Ответы на все сформулированные выше вопросы не должны быть простой констатацией фактов (типа «лучше», «больше», «одинаково» и т.п.), а должны сопровождаться подробными пояснениями и обоснованиями.

УКАЗАНИЕ: при выборе объема представляемых в отчете результатов (числа таблиц, графиков и зависимостей на одном графике) следует руководствоваться следующими соображениями:

1) для каждой модели результаты должны быть представлены как минимум для 2-х сетевых и 2-х узловых характеристик РСеМО, при этом следует иметь в виду, что основной *сетевой* характеристикой для РСеМО является время пребывания заявок в сети;

2) на одном графике не следует изображать только одну зависимость, а рекомендуется представлять не менее 2-х зависимостей (например, времени ожидания и времени пребывания), позволяющих выполнить их сравнительный анализ;

3) несмотря на то, что в отчете графические зависимости могут быть представлены не для всех характеристик, следует четко представлять и при необходимости объяснить их характер и поведение при изменении соответствующего параметра.

5) Рекомендуемые формы таблиц

Таблица 1

Результаты имитационного моделирования
Длительность моделирования _____ Количество транзактов _____

Характеристики СеМО	ЗСеМО-1					ЗСеМО-2					ЗСеМО-3				
	Узловые				Сетевые	Узловые				Сетевые	Узловые				Сетевые
	У1	У2	У3	У4		У1	У2	У3	У4		У1	У2	У3	У4	
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>	<i>9</i>	<i>10</i>	<i>11</i>	<i>12</i>	<i>13</i>	<i>14</i>	<i>15</i>	<i>16</i>

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Загрузка															
Длина очереди															
Число заявок															
Время ожидания															
Время пребывания															

Таблица 2

Результаты имитационного моделирования
 Длительность моделирования _____ Количество транзактов _____

Характеристики СеМО	ЗСеМО-4				Сетевые	ЗСеМО-5				Сетевые	ЗСеМО-6				Сетевые	
	Узловые					Узловые					Узловые					
	У1	У2	У3	У4		У1	У2	У3	У4		У1	У2	У3	У4		
Загрузка																
Длина очереди																
Число заявок																
Время ожидания																
Время пребывания																

Примечания:

- 1) обозначения типов имитационных моделей представлены в п. 2;
- 3) результаты в таблицы записываются в виде дроби:
 - *в числителе* – значения соответствующих характеристик;
 - *в знаменателе* – рассчитанные относительные погрешности по сравнению с аналитической моделью (для модели ЗСеМО-1) или относительные изменения (в %) характеристик неэкспоненциальных СеМО по сравнению с экспоненциальной ЗСеМО (для моделей ЗСеМО-2, 3, 4, 5, 6).

3.3. Курсовое проектирование

В данном подразделе приводятся описания курсовых учебно-исследовательских работ, выполнение которых позволяет закрепить знания, полученные при изучении теоретического (лекционного) материала, и практические навыки по разработке аналитических, численных и имитационных моделей и проведению исследований, полученные в процессе выполнения семестровых домашних заданий и лабораторных работ, по дисциплине «Моделирование».

Описания курсовых учебно-исследовательских работ включают следующие разделы:

- 1) цель работы;
- 2) содержание работы
- 3) этапы работы
- 4) порядок выполнения работы;
- 5) программные средства;
- 6) оформление и содержание отчета;
- 7) рекомендуемые формы таблиц.

Предлагается два типа курсовых учебно-исследовательских работ.

1-й тип – комплексное исследование характеристик функционирования систем, моделируемых в виде **замкнутых и разомкнутых сетей массового обслуживания (ЗСеМО и РСеМО) с однородным потоком заявок**, с использованием *аналитических, численных и имитационных методов* и изучение свойств и закономерностей, присущих процессам, протекающим в них.

2-й тип – разработка имитационных моделей реального объекта (системы) в среде GPSS и Any Logic и аналитических моделей в виде **сети массового обслуживания** (замкнутой или разомкнутой) **с однородным или неоднородным потоком заявок** или **системы массового обслуживания** (одноканальной или многоканальной) **с неоднородным потоком заявок**, проведение модельных экспериментов с целью анализа свойств и закономерностей, присущих процессам, протекающим в исследуемой системе, и выработка рекомендаций по проектированию или модернизации системы, удовлетворяющей заданным требованиям к качеству функционирования.

3.3.1. Курсовая учебно-исследовательская работа КУИР1: исследование сетей массового обслуживания

1) Цель работы

Проведение комплексного исследования характеристик функционирования систем, моделируемых в виде *замкнутых и разомкнутых сетей массового обслуживания (СеМО) с однородным потоком заявок*, с использованием *аналитических, численных и имитационных методов* и изучение свойств и закономерностей, присущих процессам, протекающим в них.

Учебно-исследовательская работа выполняется в рамках курсового проектирования и включает в себя разработку и подготовку моделей и исходных данных, необходимых для выполнения расчетов и экспериментов с использованием специальных программных средств моделирования, а также обработку и оформление результатов модельных экспериментов.

2) Содержание работы

Разработка *аналитических, численных и имитационных моделей* исследуемой системы и проведение на их основе модельных экспериментов с целью исследования характеристик функционирования и выявления свойств замкнутых и разомкнутых СеМО.

В процессе исследований используются следующие программные средства:

- ITMOdel – аналитический расчет моделей массового обслуживания;
- MARK – расчет Марковских случайных процессов;
- GPSS World – система имитационного моделирования.

3) Этапы работы

Курсовая учебно-исследовательская работа выполняется в три этапа, каждый из которых содержит несколько подэтапов.

Этап 1. Разработка моделей

1.1. Разработка аналитических моделей замкнутой СеМО (ЗСеМО) и разомкнутой СеМО (РСеМО)

Разработка аналитических моделей ЗСеМО и РСеМО заключается в подготовке следующих исходных данных (параметров) для проведения расчетов аналитическими методами:

- 1) количество узлов СеМО;
- 2) количество обслуживающих приборов в узлах СеМО;
- 3) матрица вероятностей передач и рассчитанные по этой матрице коэффициенты передач;
- 4) для *замкнутой СеМО* - число заявок, циркулирующих в сети, и для *разомкнутой СеМО* - интенсивность входящего потока заявок, поступающих в сеть (определяется после аналитического расчета

характеристик замкнутой СеМО и принимается равной производительности ЗСеМО);

5) средние длительности обслуживания заявок в узлах СеМО.

1.2. Разработка Марковских моделей ЗСеМО

Разработка Марковских моделей ЗСеМО заключается в построении двух размеченных графов переходов, отображающих процессы функционирования ЗСеМО:

1) экспоненциальной ЗСеМО (ЭЗСеМО), в которой длительности обслуживания заявок во всех узлах СеМО распределены по экспоненциальному закону;

2) неэкспоненциальной ЗСеМО (НЗСеМО), в которой длительность обслуживания заявок в одном из указанных узлов ЗСеМО распределена по одному из заданных законов:

- Эрланга 2-го порядка (для вариантов с нечетным первым номером);
- гиперэкспоненциальному (для вариантов с четным первым номером).

1.3. Разработка имитационных моделей разомкнутой СеМО

Результатом разработки являются следующие имитационные GPSS-модели РСемо:

1) РСемо-1 – разомкнутая сеть с экспоненциальным распределением длительностей обслуживания заявок в узлах и простейшим потоком заявок, поступающих в сеть; модель строится путем преобразования GPSS-модели экспоненциальной ЗСеМО;

2) РСемо-2 – разомкнутая сеть с экспоненциальным распределением длительностей обслуживания заявок в узлах и детерминированным потоком заявок, поступающих в сеть;

3) РСемо-3 – разомкнутая сеть с неэкспоненциальным распределением (Эрланга 2-го порядка или гиперэкспоненциальным) длительности обслуживания заявок только в указанном узле (в том же, что и в Марковской модели);

Этап 2. Проведение экспериментов на моделях

2.1. Расчет характеристик и изучение свойств СеМО на аналитических моделях с использованием программы ITModel

1) Выполнить расчет точных значений характеристик функционирования экспоненциальной ЗСеМО.

Результаты представляются в табличном виде (форма 1).

2) Изменяя число заявок в сети, определить критическое число заявок, начиная с которого производительность ЗСеМО не изменяется с заданной точностью (прирост производительности не превосходит 1-5%).

3) Проанализировать сетевые характеристики функционирования СеМО при изменении числа заявок в ЗСеМО.

Результаты представляются в табличном виде (форма 2).

4) Определить «узкое место» (наиболее загруженный узел) сети и устранить его путем изменения в этом узле:

- длительности обслуживания заявок.

5) Определить, как изменились сетевые характеристики СеМО (критическое число заявок в сети, производительность СеМО, время пребывания заявок в сети) при устранении «узкого места».

Результаты представляются в табличном виде (форма 2).

6) Преобразовать ЗСеМО в РССеМО.

7) Выполнить расчет точных значений характеристик функционирования с экспоненциальной РССеМО и сравнить результаты с ЗСеМО.

Результаты представляются в табличном виде (форма 1).

8) Определить предельную интенсивность поступления заявок в РССеМО, при которой в сети существует стационарный режим.

9) Проанализировать сетевые характеристики функционирования РССеМО при изменении интенсивность входящего потока заявок от значения, при котором загрузка «узкого места» составляет 0,2 - 0,3, до значения, при котором его загрузка составляет 0,9 - 0,95.

Результаты представляются в табличном виде (форма 2).

2.2. Расчет характеристик ЗСеМО на Марковских моделях с использованием программы MARK

1) Рассчитать характеристики экспоненциальной ЗСеМО:

- загрузки узлов;
- длины очередей и число заявок в узлах;
- времена ожидания и пребывания заявок в узлах;
- полное время ожидания и пребывания заявок в ЗСеМО;
- производительность замкнутой СеМО.

2) Рассчитать характеристики неэкспоненциальной ЗСеМО и сравнить полученные результаты с характеристиками экспоненциальной ЗСеМО.

Результаты представляются в табличном виде (форма 3).

2.3. Проведение имитационных экспериментов на GPSS-моделях

1) Для модели экспоненциальной разомкнутой СеМО (РССеМО-1) определить длительность имитационного эксперимента, изменяя количество заявок (транзактов), проходящих через имитационную модель, которая обеспечивает приемлемую точность результатов (в пределах 1-3%) и затраты машинного времени на проведение эксперимента.

Рекомендуется провести 3 – 5 экспериментов, пропуская через модель от 1000 до 1000000 транзактов.

2) Оценить влияние вида входного потока (коэффициента вариации интервалов времени между заявками) на характеристики функционирования РССеМО (модель РССеМО-2).

3) Оценить влияние законов распределения (коэффициента вариации) длительности обслуживания заявок в узлах на характеристики

функционирования РСeMO, изменяя закон распределения длительности обслуживания заявок в указанном узле имитационной модели РСeMO (модели РСeMO-3).

Результаты представить в виде таблицы (форма 4).

Этап 3. Обработка и анализ результатов моделирования

В процессе выполнения модельных экспериментов все полученные результаты рекомендуется заносить в таблицы, формы которых представлены ниже.

Обработка полученных результатов заключается в их представлении в форме сводных таблиц и/или графических зависимостей, позволяющих выполнить детальный анализ свойств исследуемой системы.

В процессе анализа свойств системы должны быть выявлены наиболее существенные особенности исследуемой системы, сформулированы выводы о характере зависимостей характеристик функционирования системы от значений параметров. Примерный перечень вопросов, подлежащих проработке и рекомендуемая последовательность их изложения, приведена ниже.

1) По результатам аналитического моделирования должны быть представлены:

а) таблицы результатов;

б) графики зависимостей характеристик СеМО от числа циркулирующих в ЗСеМО заявок и от интенсивности поступления заявок в РСeMO;

в) выводы по полученным результатам, включающие в себя, кроме констатации очевидных фактов (типа «характеристика увеличивается» или «характеристика уменьшается»), объяснение характера полученной зависимости; при этом следует ответить на следующие вопросы:

- Чему равно критическое число заявок в ЗСеМО и почему при достижении критического числа заявок в ЗСеМО не меняется производительность ЗСеМО?
- Чем определяется предельная производительность (пропускная способность) ЗСеМО? Как ее можно определить, не прибегая к подробным расчетам?
- Как изменяется время пребывания заявок в ЗСеМО? Почему эта зависимость имеет именно такой характер?
- Чему равна производительность и пропускная способность РСeMO?
- Как и почему именно так ведет себя зависимость времени пребывания заявок в РСeMO от интенсивности источника? В чем отличие этой зависимости от аналогичной для ЗСеМО при изменении числа заявок в ЗСеМО?

2) По результатам численного моделирования должны быть представлены:

а) таблицы результатов;

б) выводы по полученным результатам; при этом следует ответить на следующие вопросы:

- Каково отличие результатов численного моделирования ЭЗСеМО от результатов аналитического моделирования и чем это объясняется?
- Насколько и в какую сторону изменились характеристики НЗСеМО по сравнению с ЭЗСеМО и почему именно так?

3) По результатам имитационного моделирования должны быть представлены:

а) таблицы результатов;

б) выводы по полученным результатам, включающие в себя, кроме констатации очевидных фактов (типа «характеристика увеличивается» или «характеристика уменьшается»), объяснение характера полученной зависимости.

В качестве основных результатов имитационного моделирования должны быть представлены:

а) Оценка точности результатов имитационного моделирования по отношению к результатам аналитического моделирования, рассматриваемых в качестве эталонных. При этом необходимо ответить на следующие вопросы:

- Какова длительность переходного режима работы СеМО и от чего она зависит?
- Какова погрешность численного и имитационного моделирования?
- Для каких характеристик погрешности численного и имитационного моделирования имеют минимальные и максимальные значения и чем это можно объяснить?

б) Оценка влияния коэффициентов вариации (КВ) длительностей обслуживания и интервалов между поступающими в разомкнутую СеМО заявками на характеристики функционирования СеМО. При этом необходимо ответить на следующие вопросы:

- Каким законом (Эрланга, экспоненциальным, гиперэкспоненциальным) можно аппроксимировать распределения следующих *характеристик* функционирования СеМО:
 - времени пребывания и ожидания заявок в сети и в узлах,
 - интервалов между заявками, выходящими из РСеМО?
- Как влияют КВ длительностей обслуживания и интервалов между поступающими в разомкнутую СеМО заявками на средние значения и КВ характеристик СеМО (загрузку узлов, времена ожидания и пребывания и т.д.)?
- Одинаково ли ведут себя характеристики ЗСеМО и РСеМО при изменении КВ длительностей обслуживания заявок?

Ответы на все сформулированные выше вопросы не должны быть простой констатацией фактов (типа «лучше», «больше», «одинаково» и т.п.), а должны сопровождаться подробными пояснениями и обоснованиями.

УКАЗАНИЕ: при выборе объема представляемых в отчете результатов (числа таблиц, графиков и зависимостей на одном графике) следует руководствоваться следующими соображениями:

1) для каждой модели результаты должны быть представлены как минимум для 1-2-х сетевых и 1-2-х узловых характеристик СеМО, при этом следует иметь в виду, что основной *сетевой* характеристикой для ЗСеМО является производительность сети, а для РСеМО - время пребывания заявок в сети;

2) на одном графике не следует изображать только одну зависимость, а рекомендуется представлять не менее 2-х зависимостей (например, времени ожидания и времени пребывания), позволяющих выполнить их сравнительный анализ;

3) несмотря на то, что в отчете графические зависимости могут быть представлены не для всех характеристик, следует четко представлять и при необходимости объяснить их характер и поведение при изменении соответствующего параметра.

4) Порядок выполнения работы

4.1. Получить вариант задания.

4.2. Ознакомиться с постановкой задачи.

4.3. Разработать и подготовить аналитические, Марковские и имитационные модели в соответствии с полученным вариантом (этап 1).

4.4. Выполнить модельные эксперименты с использованием программных средств, например, ITMOdel, MARK, и системы имитационного моделирования GPSS (этап 2).

4.5. Обработать полученные экспериментальные результаты и составить отчет по проделанной работе (этап 3).

5) Программные средства

В процессе выполнения комплексной учебно-исследовательской работы рекомендуется использовать следующие программные средства.

1. Программа ITMOdel для аналитического расчета характеристик базовых и сетевых моделей массового обслуживания.

2. Программа MARK для расчета характеристик Марковских случайных процессов.

3. Система имитационного моделирования GPSS World.

Общее описание системы имитационного моделирования GPSS World, а также описания основных операторов и команд GPSS можно посмотреть в [1].

б) Оформление и содержание отчета

6.1. Отчет по курсовой работе должен быть оформлен в соответствии с требованиями, предъявляемыми к оформлению научно-исследовательских работ, и включать в себя:

- 1) ТИТУЛЬНЫЙ ЛИСТ (файл KR_TITLIST);
- 2) ЗАДАНИЕ на курсовую работу (файл KR_ZADAN_T);
- 3) АННОТАЦИЯ – краткая характеристика выполненной работы (не более одной страницы);
- 4) СОДЕРЖАНИЕ с указанием страниц (все страницы пояснительной записки кроме титульного листа, задания и аннотации должны быть пронумерованы с учётом того, что Титульный лист – это страница 1, Задание – страница 2, Аннотация – страница 3);
- 5) ВВЕДЕНИЕ, содержащее краткое описание выполненной работы и полученных результатов;
- 6) рубрикацию в виде разделов пояснительной записки и пунктов внутри разделов, которые должны быть пронумерованы: разделы 1, 2, ..., пункты внутри раздела 1.1, 1.2, ...);
- 7) ссылки на используемую литературу;
- 8) ЗАКЛЮЧЕНИЕ с основными результатами работы;
- 9) СПИСОК использованной литературы, оформленный в соответствии с ГОСТ 7.1 – 2003.

6.2. Отчёт по курсовой работе должен содержать:

- 1) Постановку задачи исследования замкнутых и разомкнутых СеМО и все исходные данные с указанием размерностей.
- 3) Результаты исследования с использованием модели в виде ЗСеМО на аналитических и Марковских моделях:
 - описание ЗСеМО;
 - результаты аналитического расчета характеристик системы, сведенные в таблицы (форма 1 и 2) и их анализ;
 - перечень состояний Марковского процесса для ЗСеМО;
 - размеченный граф переходов Марковского процесса;
 - матрица интенсивностей переходов Марковского процесса;
 - значения стационарных вероятностей состояний;
 - формулы, используемые для расчета характеристик системы и значения характеристик системы, сведенные в таблицы (форма 3);
 - сравнительный анализ результатов аналитического и численного моделирования замкнутых СеМО и оценка точности результатов, полученных на Марковской модели;
 - анализ результатов устранения «узкого места» в СеМО.
- 4) Исследование РСеМО на аналитических и имитационных моделях:
 - описание исследуемой РСеМО;
 - результаты аналитического расчета характеристик РСеМО, сведенные в таблицы (форма 1 и 2) и их анализ;

- имитационная GPSS-модель (листинг GPSS-программы) с необходимыми комментариями;
- результаты имитационного моделирования, сведенные в таблицы (форма 4);
- сравнительный анализ результатов аналитического и имитационного моделирования разомкнутых СеМО и оценка точности результатов имитационного моделирования экспоненциальных РСеМО;
- анализ влияния неэкспоненциального характера интервалов между поступающими в сеть заявками и длительности обслуживания в узлах на характеристики функционирования РСеМО.

6.4. Результаты сравнительного анализа (графики, выводы) характеристик разомкнутых и замкнутых СеМО.

7) Рекомендуемые формы таблиц

Форма 1

Результаты аналитического моделирования

Характеристики СеМО	Замкнутая СеМО					Разомкнутая СеМО				
	Уз.1	Уз.2	Уз.3	Уз.4	Сеть	Уз.1	Уз.2	Уз.3	Уз.4	Сеть
Загрузка										
Длина очереди										
Число заявок										
Время ожидания										
Время пребывания										
Производительность										

Форма 2

Результаты варьирования параметров

Характеристики СеМО	(Критич.число =) Число заявок в ЗСеМО					(Предельная инт.=) Интенсивн.потока в РСеМО				
Длина очереди										
Число заявок										
Время ожидания										
Время пребывания										
Производительность										

Примечание: вместо предлагаемой таблицы результаты могут быть представлены в виде графиков с указанием на них численных значений характеристик и варьируемых параметров.

Форма 3

Результаты численного моделирования

Характеристики СеМО	Замкнутая СеМО					Разомкнутая СеМО				
	Уз.1	Уз.2	Уз.3	Уз.4	Сеть	Уз.1	Уз.2	Уз.3	Уз.4	Сеть
Загрузка										
Длина очереди										
Число заявок										
Время ожидания										
Время пребывания										
Производительность										

УКАЗАНИЕ: в отчете должны быть представлены расчетные формулы, используемые для определения перечисленных характеристик.

Форма 4

Результаты имитационного моделирования

Длительность моделирования _____ Количество транзактов _____

Характеристики СеМО	PCeMO-1					PCeMO-2					PCeMO-3				
	Узловые				Сетевые	Узловые				Сетевые	Узловые				Сетевые
	У1	У2	У3	У4		У1	У2	У3	У4		У1	У2	У3	У4	
Загрузка															
Длина очереди															
Производительность															
Время ожидания															
Время пребывания															

Примечания:

1) приведенная таблица используется для представления результатов моделирования разомкнутых СеМО;

2) обозначения типов имитационных моделей представлены в подпункте 2.3 описания этапа 2;

3) результаты в таблицу записываются в виде дроби:

- **в числителе** – значения соответствующих характеристик;
- **в знаменателе** – рассчитанные относительные погрешности по сравнению с аналитической моделью (для модели СеМО-1) или относительные изменения (в %) характеристик неэкспоненциальных СеМО по сравнению с экспоненциальной СеМО (для моделей СеМО-2, 3).

3.3.2. Комплексная учебно-исследовательская работа КУИР2: разработка и исследование моделей дискретных систем

1) Цель работы

Комплексное исследование характеристик функционирования дискретных систем, моделируемых в виде *замкнутых и разомкнутых сетей массового обслуживания (СеМО) с однородным потоком заявок или одноканальных и многоканальных систем массового обслуживания (СМО) с неоднородным потоком заявок*, с использованием *имитационных и аналитических методов* и изучение свойств и закономерностей, присущих процессам, протекающим в них.

Курсовая учебно-исследовательская работа выполняется в рамках курсового проектирования и может включать следующие задачи:

- выбор реального объекта исследования из класса дискретных систем со стохастическим характером функционирования, подлежащего проектированию или модернизации, примерами таких систем могут служить магазины, банки и пункты общественного питания, автомастерские, автостоянки и автозаправки, аэропорты и взлётно-посадочные полосы, железнодорожные вокзалы и системы резервирования билетов, информационно-справочные и вычислительные системы, компьютерные сети и т.д.;
- детальное описание принципов структурной организации и функционирования системы и разработка концептуальной модели;
- разработка математических моделей, формулирование используемых при разработке моделей предположений и допущений и обоснование корректности и адекватности разработанных моделей
- разработка имитационных моделей в среде GPSS World и Any Logic;
- параметризация моделей, заключающаяся в подготовке исходных данных, необходимых для выполнения экспериментов с использованием специальных средств имитационного моделирования (GPSS World и AnyLogic);
- обработка и оформление результатов модельных экспериментов;
- сравнение результатов, полученных на имитационных моделях GPSS и AnyLogic;
- формулирование предположений и допущений о структурно-функциональных и нагрузочных параметрах исследуемой системы, позволяющих построить модель, поддающуюся исследованию аналитическими методами с использованием программы ITModel;
- обработка и оформление результатов аналитического моделирования;

- сравнение результатов, полученных на имитационных и аналитических моделях;
- детальный анализ и подробное описание выявленных свойств исследуемой системы с обоснованием использования одной из разработанных моделей;
- постановка и решение задачи проектирования или модернизации системы с заданными свойствами (удовлетворяющей заданным ограничениям на характеристики функционирования);
- детальный анализ спроектированной или модернизированной системы.

2) Содержание работы

Выбор объекта исследования (системы), детальное описание алгоритма функционирования системы в форме концептуальной модели. Разработка и параметризация *имитационных и аналитических моделей* исследуемой системы и проведение на их основе экспериментов с целью исследования характеристик функционирования и выявления свойств системы с использованием замкнутых и разомкнутых СМО или одноканальных и многоканальных СМО с неоднородным потоком заявок.

В процессе исследований могут использоваться следующие программные средства:

- GPSS World – система имитационного моделирования;
- AnyLogic – система имитационного моделирования;
- ITMOdel – аналитический расчет моделей массового обслуживания.

3) Этапы работы

Комплексная учебно-исследовательская работа выполняется в четыре этапа, каждый из которых содержит несколько подэтапов.

Этап 1. Выбор объекта исследования и разработка концептуальной модели

1.1. Выбор и описание объекта исследования

В качестве объекта исследования выбирается любая дискретная система со стохастическим характером функционирования. Примерами таких систем могут служить всевозможные системы обслуживания клиентов: вычислительные системы и сети, магазины, банки, аэропорты, ателье, автомастерские, агентства, парикмахерские, бензозаправочные станции и т.п. Необходимо самостоятельно выбрать и предложить любую реальную или гипотетическую систему обслуживания, которая с использованием предположений и допущений может быть представлена в виде СМО, содержащей не менее трёх узлов, или в виде одно- или многоканальной СМО, в которую поступают не менее трех классов заявок, обслуживаемых в соответствии с заданными дисциплинами.

Предложенная система должна быть наглядно представлена в виде рисунка или схемы и достаточно подробно описана в терминах той прикладной области, к которой она относится. Для неё должен быть определен состав исходных параметров (системных параметров) и заданы их значения или допустимая область изменения этих значений.

1.2. Разработка концептуальной модели

Основное назначение концептуальной модели – выявление наиболее существенных аспектов структурно-функциональной организации системы, учет которых необходим для получения требуемых результатов. В концептуальной модели в словесной форме приводятся сведения о природе и параметрах элементарных явлений исследуемой системы, о виде и степени взаимодействия между ними, о месте и значении каждого элементарного явления в процессе функционирования системы.

Этапы построения концептуальной модели:

- принятие предположений и допущений;
- определение исходных параметров и их описание;
- выявление особенностей нагрузки и структурно-функциональной организации системы, влияющих на временные аспекты работы системы.

Этап 2. Разработка моделей

2.1. Разработка имитационной модели

Результатом разработки являются *детальные* имитационные GPSS и AnyLogic модели исследуемой системы, учитывающие наиболее существенные особенности нагрузки и структурно-функциональной организации системы. Например, такие как неоднородность нагрузки, законы распределения нагрузочных параметров отличные от экспоненциальных, блокировки обслуживающих приборов, дисциплины буферизации и т.п.

Имитационные GPSS и AnyLogic модели должны сопровождаться подробными комментариями, достаточными для их понимания.

2.2. Разработка аналитической модели исследуемой системы

Сформулировать предположения и допущения о структурно-функциональных и нагрузочных параметрах исследуемой системы, позволяющие построить модель, поддающуюся исследованию аналитическими методами с использованием программы ITMOdel.

В качестве модели исследуемой системы, для которой существуют аналитические методы расчёта характеристик, может использоваться:

- однородная экспоненциальная замкнутая сеть массового обслуживания (ЗСеМО);
- однородная экспоненциальная разомкнутая сеть массового обслуживания (РСеМО);
- система массового обслуживания (СМО) с неоднородным потоком заявок.

Разработка аналитической модели предполагает введение ряда упрощающих предположений и допущений, позволяющих выполнить расчёт характеристик модели с использованием известных аналитических методов расчёта однородных экспоненциальных СеМО и неоднородных СМО.

Затем необходимо выполнить параметризацию аналитической модели (ЗСеМО, РСеМО, СМО), заключающуюся в подготовке исходных данных для модели (модельных параметров) путем пересчёта известных параметров исследуемой системы (системных параметров).

Для моделей, представленных в виде ЗСеМО и РСеМО, должны быть определены следующие параметры:

- количество узлов СеМО n ;
- количество обслуживающих приборов в узлах СеМО K_1, \dots, K_n ;
- матрица вероятностей передач $P = (p_{ij}, i, j = 0, 1, \dots, n)$ или коэффициенты передач $\alpha_1, \dots, \alpha_n$;
- для замкнутой СеМО – число заявок M , циркулирующих в сети; для разомкнутой СеМО – интенсивность λ_0 входящего потока заявок, поступающих в сеть;
- средние длительности обслуживания заявок в узлах СеМО b_1, \dots, b_n .

Для моделей, представленных в виде СМО с неоднородным потоком заявок, необходимо определить следующие параметры:

- количество обслуживающих приборов N ;
- количество классов заявок $N > 1$;
- интенсивности $\lambda_1, \dots, \lambda_H$ входящих потоков заявок классов $1, \dots, H$, которые предполагаются простейшими;
- средние значения b_1, \dots, b_n и коэффициенты вариации v_{b_1}, \dots, v_{b_H} длительностей обслуживания заявок классов $1, \dots, H$;
- дисциплина обслуживания заявок: без приоритетов (ДО БП), с относительными приоритетами (ДО ОП) или с абсолютными приоритетами (ДО АП).

Этап 3. Проведение экспериментов на моделях

2.1. Проведение имитационных экспериментов на моделях GPSS и AnyLogic

Для детальных имитационных моделей GPSS и AnyLogic исследуемой системы определить длительность имитационного эксперимента, изменяя количество заявок (транзактов), проходящих через имитационную модель, которая обеспечивает приемлемую точность результатов (в пределах 1–3%) и затраты машинного времени на проведение эксперимента.

Оценить длительность моделирования, необходимую для получения статистически устойчивых результатов.

Оценить влияние нагрузочных параметров на характеристики системы. Рекомендуется проводить исследования в диапазоне загрузок от 0,2 до 0,9 при различных предположениях о законах распределения временных параметров.

Результаты представить в табличной и графической форме.

Провести сравнение результатов, полученных на имитационных моделях GPSS и AnyLogic. Оценить время моделирования, необходимое для получения статистически устойчивых результатов, и обоснованно предложить одну из двух моделей в качестве основной модели для проведения дальнейших исследований.

2.2. Расчет характеристик обслуживания заявок и изучение свойств СеМО или СМО с неоднородным потоком заявок на аналитических моделях с использованием программы ITModel

Программа исследований ЗСеМО

1) Выполнить расчет точных значений характеристик функционирования экспоненциальной ЗСеМО.

Результаты представляются в табличном виде (форма 1).

2) Изменяя число заявок в сети, определить критическое число заявок, начиная с которого производительность ЗСеМО не изменяется с заданной точностью (прирост производительности не превосходит 1 – 5%).

3) Проанализировать сетевые характеристики функционирования ЗСеМО при изменении числа заявок в сети.

Результаты представляются в табличном виде (форма 2).

4) Определить «узкое место» (наиболее загруженный узел) сети и устранить его путем изменения в этом узле:

- длительности обслуживания заявок;
- количества обслуживающих приборов.

5) Определить, как изменились сетевые характеристики ЗСеМО (критическое число заявок в сети, производительность сети, время пребывания заявок в сети) при устранении «узкого места».

Результаты представляются в табличном виде (форма 2).

Программа исследований РСеМО

1) Выполнить расчет точных значений характеристик функционирования экспоненциальной РСеМО и сравнить результаты с ЗСеМО.

Результаты представляются в табличном виде (форма 1).

2) Определить предельную интенсивность поступления заявок в РСеМО, при которой в сети существует стационарный режим.

3) Проанализировать сетевые характеристики функционирования РСеМО при изменении интенсивности входящего потока заявок от значения, при котором загрузка «узкого места» составляет 0,2 – 0,3, до значения, при котором его загрузка составляет 0,9 – 0,95.

Результаты представляются в табличном виде (форма 2).

4) Определить «узкое место» (наиболее загруженный узел) сети и устранить его путем изменения в этом узле:

- длительности обслуживания заявок;
- количества обслуживающих приборов.

5) Определить, как изменились сетевые характеристики ЗСеМО (критическое число заявок в сети, производительность сети, время пребывания заявок в сети) при устранении «узкого места».

Результаты представляются в табличном виде (форма 2).

Примечание. Исследования целесообразно начинать с изначально построенной модели системы в виде ЗСеМО или РСеМО, затем, выполнив толерантное преобразование, провести исследование на модели в виде РСеМО или ЗСеМО соответственно и сравнить результаты, полученные на разных моделях.

Программа исследований СМО с неоднородным потоком заявок

1) Выполнить расчет точных значений характеристик функционирования СМО с неоднородным потоком заявок для каждого класса заявок и объединенного потока при дисциплинах обслуживания без приоритетов (ДО БП), с относительными (ДО ОП) и абсолютными (ДО АП) приоритетами.

Результаты представляются в табличном виде (форма 3 и форма 4).

Примечание. Назначение приоритетов следует выполнять исходя из особенностей функционирования исследуемой системы.

2) Провести исследования характеристик СМО для ДО БП, ДО ОП и ДО АП от суммарной загрузки, изменяя пропорционально длительности обслуживания заявок всех классов, таким образом, чтобы обеспечить изменение суммарной загрузки системы в пределах от 0,2–0,3 до 0,9–0,95.

3) По полученным результатам построить графики зависимостей характеристик обслуживания разных классов от приоритета и от суммарной загрузки системы для ДО БП, ДО ОП и ДО АП. Сделать выводы о влиянии приоритетов и суммарной загрузки системы на характеристики обслуживания заявок, а также установить, для каких классов заявок существует защита от перегрузок.

Этап 4. Обработка и анализ результатов моделирования

В процессе выполнения модельных экспериментов все полученные результаты рекомендуется заносить в таблицы, формы которых представлены ниже. Для представления результатов имитационного моделирования исследуемой системы самостоятельно составляется таблица, включающая ее основные вероятностно-временные характеристики.

Обработка полученных результатов заключается в их представлении в форме сводных таблиц и/или графических зависимостей, позволяющих выполнить детальный анализ свойств исследуемой системы.

В процессе анализа свойств системы должны быть выявлены наиболее существенные особенности исследуемой системы, сформулированы выводы о характере зависимостей характеристик функционирования системы от значений параметров. Примерный перечень вопросов, подлежащих проработке и рекомендуемая последовательность их изложения, приведена ниже.

1) По результатам имитационного моделирования должны быть представлены:

- а) результаты в табличной и графической формах;
- б) выводы по полученным результатам, включающие в себя, кроме констатации очевидных фактов (типа «характеристика увеличивается» или «характеристика уменьшается»), объяснение характера полученной зависимости.

В качестве основных результатов имитационного моделирования должны быть представлены.

а) Сравнение результатов имитационного моделирования с результатами аналитического моделирования. При этом необходимо ответить на следующие вопросы:

- Каково различие между результатами имитационного и аналитического моделирования и чем это обусловлено?
- Какова длительность переходного режима в имитационных моделях и от чего она зависит?
- Есть ли отличие результатов имитационного моделирования, полученных в среде GPSS, от результатов имитационного моделирования, полученных в среде Any Logic? Если такое отличие есть, объяснить его причину и обосновать, какие результаты предпочтительнее.
- Сравнить время моделирования в среде GPSS и в среде Any Logic.
- Для каких характеристик погрешности имитационного моделирования имеют минимальные и максимальные значения, и чем это можно объяснить?

б) Оценка влияния коэффициентов вариации (КВ) длительностей обслуживания и интервалов между поступающими заявками на характеристики функционирования СеМО или СМО. При этом необходимо ответить на следующие вопросы:

- Каким законом распределения (Эрланга, гипоекспоненциальным, экспоненциальным, гиперэкспоненциальным) целесообразно аппроксимировать *характеристики* функционирования исследуемой системы:
 - время пребывания и ожидания заявок в системе (модели);
 - интервал между заявками, покидающими систему?
- Как влияют КВ длительностей обслуживания и интервалов между поступающими в разомкнутую СеМО или СМО заявками на средние значения и КВ характеристик СеМО или СМО (загрузку узлов или СМО, времена ожидания и пребывания и т.д.)?

- В случае использования сетевых моделей определить, одинаково ли ведут себя характеристики ЗСеМО и РСеМО при изменении КВ длительностей обслуживания заявок?
- В случае использования СМО-моделей определить, одинаково ли влияет на характеристики СМО изменение КВ длительностей обслуживания заявок и КВ интервалов между заявками во входных потоках?

2) По результатам *аналитического моделирования* должны быть представлены:

а) таблицы результатов;

б) графики зависимостей характеристик СеМО от числа циркулирующих в ЗСеМО заявок и от интенсивности поступления заявок в РСеМО или графики зависимостей характеристик СМО от приоритета и от суммарной загрузки системы для ДО БП, ДО ОП и ДО АП;

в) выводы по полученным результатам, включающие в себя, кроме констатации очевидных фактов, объяснение характера полученной зависимости.

УКАЗАНИЕ: при выборе объема представляемых в отчете результатов (числа таблиц, графиков и зависимостей на одном графике) следует руководствоваться следующими соображениями:

1) для каждой модели результаты должны быть представлены

- в случае использования СМО-моделей как минимум для 2-х характеристик обслуживания классов заявок и 2-х характеристик объединенного потока;

- в случае использования сетевых моделей как минимум для 2-х сетевых и 2-х узловых характеристик СеМО, при этом следует иметь в виду, что основной *сетевой* характеристикой для ЗСеМО является производительность сети, а для РСеМО – время пребывания заявок в сети;

2) на одном графике не следует изображать только одну зависимость, а рекомендуется представлять не менее 2-х зависимостей (например, времени ожидания и времени пребывания), позволяющих выполнить их сравнительный анализ;

3) несмотря на то, что в отчете графические зависимости могут быть представлены не для всех характеристик, следует четко представлять и при необходимости объяснить их характер и поведение при изменении соответствующего параметра.

На основании проведенных модельных экспериментов необходимо:

- сформулировать выводы о свойствах исследуемой реальной системы, проведя сопоставление модельных и системных характеристик;
- выявить «узкие места» исследуемой системы и предложить способ их устранения;
- оценить пропускную способность исследуемой реальной системы.

Этап 5. Проектирование или модернизация системы с заданными свойствами

На основании анализа результатов модельных экспериментов сформулировать требования к качеству функционирования системы в виде ограничений на характеристики и критерий эффективности.

Формирование критерия эффективности предполагает построение обобщенного показателя эффективности на основе множества частных показателей на основе одного из следующих подходов:

- построение составного критерия эффективности в виде аддитивного F_1 или мультипликативного F_2 функционала;

$$F_1 = \sum_{i=1}^K \alpha_i x_i ; \quad F_2 = \frac{\prod_{i=1}^k x_i}{\prod_{i=k+1}^K x_i} ,$$

где x_1, \dots, x_K – частные показатели эффективности; α_i – весовой коэффициент показателя x_i (весовые коэффициенты выбираются на основе экспертных оценок);

- выбор в качестве критерия эффективности F одного частного показателя при ограничениях, налагаемых на остальные показатели эффективности:

$$F = x_j \text{ при ограничениях } x_i < x_i^* \text{ или } x_i > x_i^* \text{ для всех } x_i \neq x_j .$$

Решить задачу проектирования новой или модернизации существующей системы с заданными свойствами, заключающую в определении параметров структуры и функционирования системы, обеспечивающих заданные ограничения на характеристики системы.

Для упрощения решения задачи процесс проектирования или модернизации системы можно разделить на последовательность этапов:

- определение требований к параметрам отдельных элементов системы;
- выбор структурной организации системы (определение структурных параметров);
- выбор режима функционирования системы (определение функциональных параметров);
- определение требований к параметрам нагрузки, обеспечивающим функционирование системы с заданным качеством.

При многоэтапном проектировании или модернизации значения параметров определяются с использованием аналитического моделирования в отношении факторов, учитываемых на каждом из этапов, но не в отношении системы в целом. Поэтому многоэтапное проектирование позволяет получить лишь приближенные решения, качество которых проверяется путем детального анализа системы.

Выполнить детальный анализ спроектированной или модернизированной системы с целью оценки полученных параметров, выявления предельных возможностей, «узких мест» в системе и т.д. Анализ спроектированной или модернизированной системы для определения ее фактической эффективности целесообразно проводить с использованием детальных имитационных моделей.

4) Порядок выполнения работы

4.1. Ознакомиться с постановкой задачи.

4.2. Самостоятельно выбрать объект исследования и согласовать его с преподавателем (этап 1).

4.3. Разработать имитационные и аналитические модели и провести их параметризацию (этап 2).

4.4. Выполнить модельные эксперименты с использованием программных средств GPSS World, AnyLogic, ITMOdel (этап 3).

4.5. Обработать полученные экспериментальные результаты (этап 4).

4.6. Сформулировать критерий эффективности исследуемой реальной системы и решить задачу проектирования новой или модернизации существующей системы (этап 5).

4.7. Составить отчет по проделанной работе.

5) Программные средства

В процессе выполнения комплексной учебно-исследовательской работы рекомендуется использовать следующие программные средства.

1. Система имитационного моделирования GPSS World.

2. Система имитационного моделирования AnyLogic.

3. Программа ITMOdel или самостоятельно разработанные программные средства для аналитического расчета характеристик СМО и СеМО.

6) Оформление и содержание отчета

6.1. Отчет по курсовой учебно-исследовательской работе должен быть оформлен в соответствии с требованиями, предъявляемыми к оформлению научно-исследовательских работ, и включать в себя:

1) ТИТУЛЬНЫЙ ЛИСТ;

2) ЗАДАНИЕ на курсовую работу;

3) СОДЕРЖАНИЕ с указанием страниц (все страницы пояснительной записки кроме титульного листа и задания должны быть пронумерованы с учётом того, что титульный лист – это страница 1);

3) ВВЕДЕНИЕ, содержащее краткое описание выполненной работы;

4) рубрикацию в виде разделов пояснительной записки и пунктов внутри разделов, которые должны быть пронумерованы: разделы 1, 2, ..., пункты внутри раздела 1.1, 1.2, ..., 2.1, 2.2, ...);

5) ссылки на используемую литературу;

6) ЗАКЛЮЧЕНИЕ с основными результатами работы;

7) СПИСОК использованной литературы, оформленный в соответствии с ГОСТ 7.1 – 2003.

6.2. Отчёт по курсовой работе должен содержать:

1) Описание исследуемой реальной системы обслуживания в терминах некоторой прикладной области, в качестве моделей которой могут служить сетевые или СМО модели. Например: магазин, бензозаправка, аэропорт, автомастерская и т.п.

2) Постановку задачи и результаты исследования системы обслуживания с использованием детальных имитационных моделей GPSS и AnyLogic:

- имитационная GPSS-модель системы (листинг GPSS-программы) с необходимыми комментариями;
- имитационная AnyLogic-модель системы (диаграмма модели) с необходимыми комментариями;
- результаты имитационного моделирования системы, представленные в форме таблиц и графиков;
- анализ результатов имитационного моделирования системы при различных параметрах нагрузки;
- сравнение результатов, полученных на имитационных моделях GPSS и AnyLogic.

3) Постановку задачи исследования системы с использованием ЗСеМО и РСемо или СМО с неоднородным потоком заявок и все исходные данные с указанием размерностей, которые должны быть выбраны в соответствии с моделируемой системой.

4) Результаты исследования системы с использованием модели в виде ЗСеМО и РСемо или СМО с неоднородным потоком заявок на аналитических моделях:

- описание ЗСеМО и РСемо или СМО;
- результаты аналитического расчета характеристик системы, сведенные в таблицы (форма 1 и 2 или 3 и 4) и их анализ;
- анализ результатов устранения «узкого места» в СеМО.

5) Результаты сравнительного анализа (графики, выводы) характеристик РСемо и ЗСеМО или результаты сравнительного анализа (графики, выводы) характеристик СМО для различных дисциплин обслуживания и загрузок системы.

6) Сравнение результатов, полученных на имитационных и аналитических моделях.

7) Детальный анализ и подробное описание выявленных свойств исследуемой системы с обоснованием использования одной из разработанных моделей.

8) Постановку и решение задачи проектирования или модернизации системы с заданными свойствами (удовлетворяющей заданным ограничениям на характеристики функционирования).

9) Детальный анализ спроектированной или модернизированной системы.

7) Рекомендуемые формы таблиц

Форма 1

Результаты аналитического моделирования

Характеристики СеМО	Замкнутая СеМО					Разомкнутая СеМО				
	Уз.1	Уз.2	Уз.3	Уз.4	Сеть	Уз.1	Уз.2	Уз.3	Уз.4	Сеть
Загрузка										
Длина очереди										
Число заявок										
Время ожидания										
Время пребывания										
Производительность										

Форма 2

Результаты варьирования параметров ЗСеМО и РССеМО

Характеристики СеМО	(Критич. число =) Число заявок в ЗСеМО					(Предельная инт.=) Инт. потока в РССеМО				
Длина очереди										
Число заявок										
Время ожидания										
Время пребывания										
Производительность										

Примечание: вместо предлагаемой таблицы результаты могут быть представлены в виде графиков с указанием на них численных значений характеристик и варьируемых параметров.

Форма 3

Результаты аналитического моделирования СМО

Класс зая-вок	Заг-руз-ка	Характеристики обслуживания класса заявок в СМО											
		Ср. время ожидания			Ср. время пребывания			Ср. длина очереди			Ср. число заявок в системе		
		БП	ОП	АП	БП	ОП	АП	БП	ОП	АП	БП	ОП	АП
1													
2													
.													
.													
.													
<i>H</i>													

Результаты аналитического моделирования СМО (объединенный поток)

A	R	b	ДО	Характеристики обслуживания объединенного потока заявок в СМО				
				Ср. время ожидания	Ср. время пребывания	Ср. длина очереди	Ср. число заявок	Константа закона сохранения времени ожидания
			БП					
			ОП					
			АП					

A – интенсивность объединенного потока заявок; R – суммарная загрузка системы; b – средняя длительность обслуживания объединенного потока заявок.

Результаты имитационного моделирования

Длительность моделирования: _____

Результаты имитационного моделирования представляются в форме самостоятельно разработанных таблиц, содержащих основные временные и безразмерные характеристики модели исследуемой реальной системы.