

Учебно-исследовательская работа 3 (УИР 3) **«Исследование СМО произвольного вида»**

1. Цель работы

Исследование свойств простейших одно- и многоканальных СМО типа G/G/K/E с однородным потоком заявок с использованием системы имитационного моделирования GPSS при различных предположениях о параметрах структурно-функциональной организации и нагрузки в соответствии с заданной программой исследований.

2. Содержание задания

В качестве исходной модели следует воспользоваться моделью системы, выбранной в качестве наилучшей в УИР 2, или *(в исключительных случаях по согласованию с преподавателем)* – простейшей базовой моделью одноканальной СМО, задав в качестве параметров входящего потока заявок (среднее значение и коэффициент вариации интервалов между поступающими в систему заявками) значения, полученные в процессе обработки случайной последовательности в УИР1. Для этого необходимо скорректировать предлагаемую имитационную GPSS-модель СМО типа G/G/K/E (файл **smo GGKE.gps**).

В процессе исследований необходимо оценить влияние на такие **характеристики** системы, как:

- *длительность переходного процесса* в системе;
- *среднее время ожидания (пребывания)* заявок в системе;
- *вероятность потери заявок*

следующих **параметров** нагрузки и структуры:

- загрузки системы (в интервале от 0,1 до 0,9);
- характера потока поступающих в систему заявок (**заданная трасса; аппроксимирующий поток; простейший поток**);
- законов распределения длительности обслуживания;
- количества приборов в системе (от 1 до 3);
- ёмкости накопителя.

Результаты исследований рекомендуется представлять в форме таблиц, *примерная* форма которых приведена ниже, и графиков, отражающих зависимости указанных характеристик от варьируемых параметров.

Указание: *длительность переходного процесса измеряется в количестве заявок, прошедших через систему от момента начала работы до момента вхождения в установившийся (стационарный) режим функционирования.*

3. Порядок выполнения работы

3.1. Исследование СМО произвольного вида проводится следующим образом.

- 1) Запустить систему имитационного моделирования GPSS World.
- 2) Ознакомиться с текстом GPSS-модели и назначением всех операторов.
- 3) Загрузить GPSS-модель (файл **smo GGKE.gps**).
- 4) В GPSS-модель внести необходимые изменения в исходные данные.
- 5) Провести исследование модели массового обслуживания типа G/G/K/E 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 (форма 1).

3.2. Программа исследований может включать в себя следующие пункты.

3.2.1. **(ОБЯЗАТЕЛЬНЫЙ ПУНКТ)** Изменение (корректировка) GPSS-модели (файл **smo GGKE.gps**) в соответствии с выбранной в качестве наилучшей в УИР2 системы массового обслуживания, проведение имитационного эксперимента и сравнение результатов имитационного моделирования с результатами, полученными в УИР 2 для этой системы.

3.2.2. Исследование влияния *коэффициента загрузки* на **длительность переходного режима** для 4-х – 5-и значений загрузки в интервале 0,1 и 0,9, изменяя:

- а) среднюю длительность обслуживания заявок при заданной интенсивности потока заявок;
- б) средний интервал между заявками в потоке при фиксированной длительности обслуживания заявок.

3.2.3. **(ОБЯЗАТЕЛЬНЫЙ ПУНКТ)** Исследование влияния на **среднее время ожидания, среднее время пребывания заявок в системе и вероятность потерь** следующих *законов распределения интервалов между заявками* в потоке:

- 1) заданная трасса (из УИР 1);
- 2) аппроксимирующее распределение (из УИР 1);
- 3) простейший поток;
- 4) равномерный, ...

При этом *средний интервал между поступающими в систему заявками*, рассчитанный в УИР 1, *не должен изменяться*.

Исследования по данному пункту рекомендуется проводить минимум для четырех значений загрузки: 0,5; 0,75; 0,95 и 0,99. Указанные значения должны быть обеспечены за счет изменения *средней длительности обслуживания* заявок при одном и том же законе распределения (на усмотрение исследователя).

3.2.4. Исследование влияния на **среднее время ожидания, среднее время пребывания заявок** в системе и **вероятность потерь** следующих законов распределения интервалов длительности обслуживания заявок:

- а) экспоненциального;
- б) Эрланга;
- в) гиперэкспоненциального.

Исследования по данному пункту рекомендуется проводить минимум для тех же значений загрузки (0,5; 0,75; 0,95 и 0,99) при сохранении характера потока заявок, выбранного исследователем из п. 3.2.3.

3.2.5. Исследование влияния *емкости накопителя* на:

- среднее время ожидания;
- среднее время пребывания;
- вероятность потери.

На основе полученных результатов **определить емкость накопителя**, начиная с которой СМО можно представить в виде модели с накопителем *неограниченной емкости*.

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

3.2.6. Исследование влияния числа обслуживающих приборов (1, 2, 3) на **среднее время ожидания и среднее время 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 загрузку СМО.

Исследования по данному пункту рекомендуется проводить для значений загрузки СМО, равных 0,5; 0,75; 0,95 и 0,99.

3.3. Рекомендуется придерживаться следующего порядка выполнения работы.

3.3.1. (ОБЯЗАТЕЛЬНЫЙ ПУНКТ) Изменить заданную GPSS-модель в соответствии с выбранной в качестве наилучшей в УИР2 системы массового обслуживания. Выполнить имитационный эксперимент при тех же нагрузочных параметрах (средних значениях и законах распределений интервалов между поступающими заявками и длительности обслуживания), что в УИР 2. Сравнить полученные результаты с результатами, полученными в УИР 2. Результаты сравнения представить в

виде таблицы, оценив в процентах степень отличия результатов имитационного моделирования от результатов расчета с помощью марковских процессов в УИР 2.

3.3.2. Дальнейшие исследования проводятся на этой же модели или, в случае ее существенной сложности, допускается использование простейшей базовой модели в виде одноканальной СМО (по согласованию с преподавателем). При этом в качестве начальных значений структурных параметров и параметров нагрузки необходимо установить следующие значения:

- **среднее значение интервалов между поступающими заявками принимается равным значению математического ожидания, вычисленного для заданной в УИР1 числовой последовательности;**
- число обслуживающих приборов – **1** (или из УИР2);
- емкость накопителя – **1** (или из УИР2);
- среднее значение длительности обслуживания заявок выбирается из **условия обеспечения требуемой загрузки системы;**
- закон распределения интервалов между поступающими заявками - **экспоненциальный (простейший поток)** с последующим обязательным анализом характеристик системы **при заданной трассе и законе, аппроксимирующим трассу;**
- закон распределения длительности обслуживания – **экспоненциальный** с последующим анализом характеристик системы при других законах (Эрланга, гиперэкспоненциального).

3.3.3. Проверить результаты редактирования и, выполнить трансляцию программы (COMMAND/ CREATE SIMULATION). При наличии в программе ошибок, обнаруженных в процессе трансляции, внести необходимые исправления в модель (программу).

3.3.4. Установить начальную длительность моделирования, последовательно задавая в команде START (COMMAND/ START) в качестве операнда следующие значения: 10, 50, 100, 200, 300 и увеличивая далее до тех пор, пока в системе не установится стационарный (установившийся) режим.

3.3.5. По завершению моделирования из стандартного отчета (REPORT) выбрать и внести в таблицы (см. ниже) основные результаты моделирования:

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

3.3.6. Пункты **3.3.4 – 3.3.5** повторить, увеличивая проходящее через систему количество заявок (транзактов) для определения длительности переходного режима в системе.

3.3.7. Изменить загрузку системы в соответствии с программой исследований и повторить пункты 3.3.4 -3.3.6.

3.3.8. По результатам моделирования **оценить число заявок, которое необходимо пропускать через модель для того, чтобы получить статистически устойчивые результаты** для разных значений загрузки системы и для трех потоков заявок (простейший поток; заданная трасса; аппроксимирующий поток).

3.3.9. Изменить параметры GPSS-модели в соответствии с выбранными вариантами и выполнить моделирование в соответствии с Программой исследований, задавая в команде START число пропускаемых через модель заявок, равное полученному в пункте 3.3.8 значению, до тех пор, пока не будут проведены все исследования.

3.3.10. Результаты моделирования по всем вариантам занести в таблицы или представить в виде графиков.

3.4. Выполнить сравнительный анализ результатов моделирования, представив их в виде *таблиц* (см. форму 2) и/или *графиков*, позволяющих наглядно продемонстрировать свойства исследуемой системы и *сформулировать выводы* по проделанной работе.

4. Содержание отчета

4.1. Сравнение результатов, полученных с помощью имитационного моделирования и метода марковских процессов для СМО, выбранной в качестве наилучшей в УИР 2.

4.2. Описание моделей – вариантов организации системы, представленных в таблице (форма 1).

4.3. Представленные в **табличном виде** (форма 2) и/или в виде **графиков** результаты имитационного моделирования, отражающие зависимости характеристик функционирования системы от варьируемых параметров.

4.4. Сравнение полученных результатов с расчетными значениями по формулам для СМО типа М/М/1 и М/Г/1 для обоснования адекватности моделей.

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

4.6. Выводы по работе, в которых необходимо сформулировать свойства исследуемой системы и оценить влияние параметров структуры и нагрузки: на *длительность переходного режима*; на *среднее время ожидания* заявок в СМО; на *вероятность потери* заявок.

Объем проводимых экспериментов, количество таблиц и графиков должно быть таким, чтобы можно было получить достаточно полное представление о свойствах исследуемой системы.

5. Рекомендуемые формы таблиц

Форма 1 – Описание исследуемых вариантов организации системы

Номер варианта		1	2	3	4	5	...
Количество приборов							
Емкость накопителя							
Интервалы между заявками входящего потока	Ср. значение						
	Вид потока						
Длительность обслуживания заявок	Ср. значение						
	Коэф-т вариации						

Пояснения к форме 1:

1. **Количество вариантов** (экспериментов) определяется самим исследователем и должно быть таким, чтобы давать достаточно полное представление о свойствах системы.
2. При определении количества вариантов следует иметь в виду, что наибольший интерес представляют системы с высокой нагрузкой, работающие в интервале загрузок более 90%.
3. Для параметра **Емкость накопителя** – обязательно должен быть вариант, иллюстрирующий минимальную емкость, при которой в системе отсутствуют потери заявок, т.е. при которой система может рассматриваться как система с накопителем неограниченной емкости.
4. **Вид потока заявок:** 1) **Т** – трасса; 2) **А** – аппроксимирующий; 3) **П** – простейший; 4) **Р** – равномерный; 5) детерминированный, ... (**Т, А и П – обязательные**, остальные – на усмотрение исследователя).

Форма 2 – Результаты имитационных экспериментов

Исх.данные (вариант __):		К	Е	поток	а	б	КВ			
		2	10	трасса	1,4	3	1			
Заявок	Потери	Вер-ть потери	П(%)	Длина очер.	Загру- зка	Ср.вр. ож.	О(%)	СКО вр.ож.	Дов. инт.	Д(%)
10										
20										
...										
300	75	0,250	11,5%	8,08	0,997	10,785		4,542	0,51397	4,77%
600	174	0,290	13,8%	8,40	0,998	11,835	8,9%	5,118	0,40952	3,46%
...										
100000										
...										

Пояснения к форме 2:

1. В верхней части таблицы приводятся исходные данные:

К – количество обслуживающих приборов в системе;

Е – емкость накопителя;

поток – вид потока: 1) *трасса*; 2) *анпр.* 3) *прост.*, 4) равномерный, ... ;

а – средний интервал между поступающими в систему заявками;

б – средняя длительность обслуживания заявок;

КВ – коэффициент вариации длительности обслуживания.

2. В столбцах таблицы приводятся результаты имитационных экспериментов:

Заявок – количество заявок (транзактов), прошедших через систему (*шаг изменения количества заявок выбирается исследователем*).

Потери – количество потерянных заявок.

Вероятность потери – рассчитывается как отношение потерянных заявок к общему количеству заявок, прошедших через систему.

П(%) – на сколько процентов текущее значение вероятности потери отличается от предыдущего значения.

Длина очер. – длина очереди.

Загрузка – коэффициент загрузки системы.

Ср.вр.ож. – среднее время ожидания заявок в очереди.

О(%) – на сколько процентов текущее значение времени ожидания отличается от предыдущего значения.

СКО вр.ож. – среднеквадратическое отклонение времени ожидания.

Дов.инт. – доверительный интервал для среднего времени ожидания.

Д(%) – отношение доверительного интервала к среднему времени ожидания (в процентах).

Указание. Объем исследований и имитационных экспериментов, перечень и конкретные значения варьируемых параметров, количество таблиц и

графиков с результатами экспериментов определяются самим исследователем. Они должны дать исследователю достаточно полное и достоверное представление о свойствах исследуемой системы, сформулированных в виде конкретных **выводов** и **объяснений свойств** системы, которые позволят *доказательно* отвечать на следующие вопросы:

- какой характер имеет переходной процесс (проиллюстрировать на графике с комментариями)?
- зависит ли длительность переходного режима, измеряемая количеством прошедших через систему заявок, от загрузки системы (вида потока, количества приборов в системе, емкости накопителя, ...) и если «да», то при какой загрузке (вида потока количестве приборов, емкости накопителя, ...) переходной режим длится дольше и почему?
- как изменяются характеристики системы при изменении характера потока поступающих в систему заявок: 1) **заданная трасса**, 2) **аппроксимирующий поток**, 3) **простейший**, 4) **равномерный**, ... и объяснить характер этих изменений, если они значительны;
- как изменяются характеристики системы в зависимости от характера обслуживания заявок (закона распределения длительности обслуживания)?
- что сильнее влияет на характеристики системы: характер потока или обслуживания (коэффициент вариации интервалов времени между поступающими в систему заявками или коэффициент вариации длительности обслуживания) при большой или маленькой загрузке системы?
- какие характеристики более чувствительны к изменению структурных параметров (количества устройств, емкости накопителя) при разной загрузке системы?

При защите отчета по работе по требованию преподавателя студент должен выполнить любой имитационный эксперимент, иллюстрирующий полученные результаты.