

## Учебно-исследовательская работа 3 (УИР 3)

### **«Исследование СМО и СемО»**

#### **Цель работы**

Исследование свойств систем и сетей массового обслуживания с однородным потоком заявок в среде имитационного моделирования GPSS при различных предположениях о параметрах структурно-функциональной организации и нагрузки в соответствии с **формируемой исследователем (студентом) программой исследований**.

УИР 3 содержит 2 части:

- часть 1 - исследование свойств систем массового обслуживания;
- часть 2 - исследование свойств сетей массового обслуживания.

#### **Часть 1 «Исследование свойств систем массового обслуживания (СМО).**

##### **1. Содержание задания**

В качестве исходной модели СМО 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 построить свою модель в среде GPSS самостоятельно или скорректировать предлагаемую имитационную GPSS-модель СМО общего вида G/G/K/E (файл **smo GGKE.gps**).

Модель СМО, как минимум, должна позволять оценивать такие **характеристики** системы, как:

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

Программа исследований СМО может включать в себя анализ влияния на характеристики системы при изменении 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 накопителей.

Результаты моделирования следует 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.

## 2. Порядок выполнения работы

### 2.1. 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**) или разработать свою.
- 4) В GPSS-модель внести необходимые изменения в исходные данные.
- 5) Провести исследование системы в соответствии с рекомендуемой 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 достаточно полное представление о свойствах СМО в соответствии с представленной программой исследований*). Параметры различных вариантов исследуемых систем заносятся в таблицу (форма 1).

### 2.2. Программа исследований составляется *самим исследователем* и может включать в себя следующие пункты.

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

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

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

**2.2.3. (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 трех 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).

**2.2.4.** 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 для тех же значений загрузки (0,5; 0,75; 0,95 и 0,99) при сохранении характера потока заявок, выбранного исследователем из п.2.2.3.

**2.2.5.** 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.

**2.2.6.** 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.

2.3. Рекомендуется придерживаться следующего порядка выполнения работы.

2.3.1. (ОБЯЗАТЕЛЬНЫЙ ПУНКТ) *Изменить заданную GPSS-модель в соответствии с выбранной в качестве наилучшей в УИР2 системы массового обслуживания или разработать свою GPSS-модель. 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.*

2.3.2. 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, аппроксимирующем трассу*;
- закон распределения длительности обслуживания – **экспоненциальный** с последующим анализом характеристик системы при других законах (Эрланга, гиперэкспоненциального).

2.3.3. 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).

2.3.4. 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.

2.3.5. 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 среднеквадратическое отклонение времени ожидания заявок в СМО;
- среднее значение и среднеквадратическое отклонение времени пребывания заявок в СМО.

2.3.6. Пункты 2.3.4 – 2.3.5 повторить, увеличивая проходящее через систему количество заявок (транзактов) для определения длительности переходного режима в системе.

2.3.7. Изменить загрузку системы в соответствии с программой исследований и повторить пункты 2.3.4 -2.3.6.

2.3.8. 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).

2.3.9. 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 2.3.8 значению, до тех пор, пока не будут проведены все исследования.

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

**2.4. 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.

### **3. Содержание отчета**

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

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

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

3.4. Сравнение полученных результатов с расчетными значениями по формулам для СМО типа M/M/1 и M/G/1 для обоснования адекватности моделей.

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

3.6. 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.**

### 3. 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 __):		K	E	поток	a	b	КВ			
Заявок	Потери	Вер-ть потери	П(%)	Длина очер.	Загру-зка	Ср.вр.ож.	O(%)	СКО вр.ож.	Дов. инт.	D(%)
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:

**K** – количество обслуживающих приборов в системе;

**E** – емкость накопителя;

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

**a** – средний интервал между поступающими в систему заявками;

**b** – 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.

**O(%)** – 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.

**D(%)** – 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 (виде 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.*

## Часть 2 «Исследование свойств сетей массового обслуживания (СeМО).

### 1. Содержание работы

Разработка имитационных моделей в среде **GPSS** или в системе моделирования **Any Logic** и проведение модельных экспериментов с целью исследования зависимостей характеристик функционирования от параметров и выявления свойств замкнутых (ЗСeМО) и разомкнутых (РСeМО) сетей массового обслуживания, а также сравнительный анализ их эффективности.

При представлении в отчете результатов исследований предпочтение следует отдавать графической форме в виде гистограмм и графиков, наглядно отображающих зависимости основных наиболее важных (с точки зрения исследователя) характеристик исследуемых систем от параметров (таких как загрузка, характер потока поступающих в РСeМО заявок, характер обслуживания заявок в узлах, количество приборов в узлах).

*Представление результатов в виде таблиц носит только рекомендательный характер и может быть выполнено, если это необходимо для подтверждения сформулированных выводов.*

### 2. Этапы работы

#### 2.1. Описание моделей замкнутой СeМО (ЗСeМО) и разомкнутой СeМО (РСeМО)

Описание моделей ЗСeМО и РСeМО предполагает изображение моделей в виде **графов СeМО** с указанием следующих параметров:

- количество обслуживающих приборов в узлах СeМО;
- средние длительности обслуживания заявок в узлах СeМО;
- вероятности передач (в виде матрицы или на дугах графа СeМО);
- рассчитанные значения коэффициентов передач для узлов сети.

**Число заявок**, циркулирующих в замкнутой СeМО, и **интенсивность входящего потока** заявок, поступающих в разомкнутую СeМО, являются **вариируемыми параметрами**.

В качестве основных характеристик следует рассматривать прежде всего сетевые характеристики СeМО.

Сравнение характеристик функционирования разомкнутых и замкнутых СeМО следует проводить при условии равенства интенсивности поступления заявок в РСeМО и производительности ЗСeМО.

При моделировании необходимо формулировать предположения и допущения, при которых проводится эксперимент.

#### 2.2. Разработка имитационных моделей РСeМО и ЗСeМО

Разработать в среде GPSS и представить в отчете следующие имитационные модели:

- имитационная модель ЗСеМО с экспоненциальным распределением длительностей обслуживания заявок в узлах и с неэкспоненциальным распределением (Эрланг 2-го порядка и гиперэкспоненциальное с коэффициентом вариации 2) в одном из узлов, указанном в **Таблице 1 (Номер узла)**;
- имитационная модель РСеМО с экспоненциальным распределением длительностей обслуживания заявок в узлах и простейшим потоком заявок, поступающих в сеть (интенсивность потока заявок должна быть равна производительности ЗСеМО) и с тем же неэкспоненциальным распределением (Эрланг 2-го порядка и гиперэкспоненциальным) длительности обслуживания заявок в том же узле, что и в ЗСеМО.

**ВАЖНО! При защите УИР необходимо предоставить разработанные имитационные модели и проиллюстрировать их работоспособность.**

### 3. Проведение имитационных экспериментов

Имитационные эксперименты направлены на выявление свойств исследуемых систем и выявлению различий между результатами, полученными при различных предположениях о характере процессов поступления и обслуживания заявок в системе, уровне загрузки, количества приборов в узлах и т. п.

Рекомендуется следующий порядок проведения экспериментов.

3.1. Изменяя число заявок  $M$  в *заданной* ЗСеМО, начиная с  $M=1$ , определить **критическое число заявок  $M^*$** , начиная с которого производительность сети не изменяется с заданной точностью (изменение значения производительности не превосходит 1-2%).

Результаты представляются в графическом виде: зависимость производительности сети от числа циркулирующих в ней заявок.

3.2. При найденном критическом числе заявок **выявить «узкое место»** сети и устраниТЬ его путем изменения в этом узле: 1) длительности обслуживания заявок; 2) количества приборов в узле.

Оценить, как изменились сетевые характеристики ЗСеМО (производительность сети, время ожидания и пребывания заявок в сети, ...) при устранении «узкого места».

3.3. Преобразовать ЗСеМО в РСеМО, полагая, что **интенсивность поступления** заявок в разомкнутую сеть равна **производительности** замкнутой сети.

Выполнить имитационные эксперименты и сравнить характеристики функционирования экспоненциальной РСеМО с характеристиками ЗСеМО.

Определить предельную интенсивность поступления заявок в РСеМО, при которой в сети отсутствуют перегрузки.

Проанализировать сетевые характеристики функционирования РСеМО при изменении интенсивности входящего потока заявок от значения, при котором загрузка «узкого места» составляет  $0,8 - 0,95$ .

**3.4. На модели замкнутой сети с неэкспоненциальным распределением длительности обслуживания заявок в узлах необходимо:**

- оценить влияние закона распределения (коэффициента вариации) длительности обслуживания заявок в заданном узле на характеристики функционирования сети;
- выполнить анализ влияния количества заявок в замкнутой сети с неэкспоненциальным распределением длительности обслуживания заявок в заданном узле на характеристики функционирования и сравнить с аналогичными характеристиками замкнутой сети с экспоненциальным распределением длительности обслуживания заявок в том же узле.

**3.5. На модели разомкнутой сети с неэкспоненциальным распределением длительностей обслуживания заявок в узлах необходимо:**

- сравнить характеристики РСеМО с характеристиками ЗСеМО, производительность которой равна интенсивности потока заявок, поступающих в РСеМО;
- оценить влияние характера входного потока заявок (коэффициента вариации интервалов времени между заявками) на характеристики функционирования сети, сравнив результаты, полученные для *детерминированного* и *простейшего* потока заявок, поступающих в разомкнутую сеть.

## **4. Обработка и анализ результатов моделирования**

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

Результаты, полученные в процессе выполнения имитационных экспериментов, рекомендуется представлять прежде всего **в графическом виде**, сопровождая **подробным анализом, выводами и комментариями**.

Результаты (на усмотрение исследователя) могут быть представлены или продублированы в табличном виде, рекомендуемые формы которых представлены ниже.

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, приведены ниже.

По результатам **моделирования** должны быть представлены выводы, 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 РСеМО?
- Как и почему именно так ведет себя зависимость времени пребывания заявок в РСеМО от интенсивности источника? В чем отличие этой зависимости от аналогичной для ЗСеМО при изменении числа заявок в ЗСеМО?

По результатам оценки 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 распределение времени пребывания и ожидания заявок в сети и в узлах СеМО (проиллюстрировать на гистограммах, полученных при моделировании в среде GPSS)?
- 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)?
- Однаково ли ведут себя характеристики ЗСеМО и РСеМО при изменении КВ длительностей обслуживания заявок?

Ответы на все сформулированные выше вопросы 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 рекомендуется представлять не менее 2-х зависимостей (например, времени ожидания и времени пребывания), позволяющих выполнить их сравнительный анализ.

### **1) Порядок выполнения работы**

1. Получить вариант задания и ознакомиться с постановкой задачи.
2. Разработать и подготовить имитационные модели в соответствии с полученным вариантом.
3. Выполнить модельные эксперименты с использованием системы имитационного моделирования GPSS.
4. Обработать полученные экспериментальные результаты и составить отчет по результатам выполненной работы.
5. Защитить работу.

### **6. Оформление и содержание отчета**

1. Отчет по УИР должен содержать:

1) **Постановку задачи** исследования замкнутых и разомкнутых СеМО и все исходные данные моделей с указанием размерностей.

2) **Результаты исследований ЗСеМО:**

- граф ЗСеМО с указанием всех параметров (структурных и нагрузочных);
- имитационная модель ЗСеМО (листинг GPSS-программы) с необходимыми комментариями;
- результаты имитационного моделирования ЗСеМО в виде графиков (таблиц) и выводы на основе анализа этих результатов;
- анализ результатов устранения «узкого места» в ЗСеМО.

3) **Результаты исследований РСеМО:**

- граф с указанием всех параметров (структурных и нагрузочных) исследуемой РСеМО;
- имитационная модель РСеМО (листинг GPSS-программы) с необходимыми комментариями;
- результаты имитационного моделирования в виде графиков (таблиц) и выводы на основе анализа полученных результатов;
- анализ влияния неэкспоненциального характера интервалов между поступающими в сеть заявками и длительности обслуживания в узлах на характеристики функционирования РСеМО.

4) Результаты сравнительного анализа (графики, выводы) характеристик разомкнутых и замкнутых СeМО.

**Примечание.** При защите УИР необходимо предоставить разработанные имитационные модели и, при необходимости, проиллюстрировать их работоспособность.

## 7. Варианты заданий

Номер варианта выдается преподавателем в виде двух чисел: **A/B**, где:

**A** - номер варианта, по которому из **таблицы 1** выбираются основные структурные параметры исследуемой ЗСeМО и количество заявок, циркулирующих в ЗСeМО; граф модели в соответствии с указанным в задании типом представлен на рисунке (см. **Типы моделей**);

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

В графе «**Номер узла**» указан номер узла, для которого при исследовании **неэкспоненциальной** СeМО экспоненциальный закон распределения длительности обслуживания заменяется на:

- **Эрланг 2-го порядка;**
- **гиперэкспоненциальный** с коэффициентом вариации 2.

Таблица 1

## Структурные параметры ЗСеМО

Вариант (A)	К-во узлов n	Количество приборов в узлах				Но- мер узла	Тип модели см.рис.
		У1	У2	У3	У4		
1	3	1	2	1		1	M1
2	3	3	1	1		2	M1
3	3	1	3	1		3	M1
4	3	1	2	3		1	M1
5	3	4	1	2		2	M1
6	3	1	4	1		3	M1
7	3	1	3	2		1	M1
8	3	2	3	1		2	M1
9	3	3	1	2		3	M1
10	4	1	1	2	1	1	M2
11	4	2	1	2	1	2	M2
12	4	1	1	2	3	3	M2
13	4	3	2	1	2	1	M2
14	4	1	1	1	4	2	M2
15	4	2	1	2	2	3	M2
16	4	1	2	1	3	1	M2
17	4	4	2	1	3	2	M2
18	4	2	1	1	3	3	M2
19	4	4	1	2	1	1	M2
20	4	2	1	1	2	2	M2
21	4	1	3	2	1	3	M2
22	4	1	1	2	2	1	M2
23	4	2	1	2	1	2	M2
24	4	1	1	3	1	3	M2
25	4	3	2	1	1	1	M2
26	4	2	3	1	1	2	M2
27	4	2	1	1	3	3	M2
28	4	1	4	1	2	1	M2
29	4	2	1	2	1	2	M2
30	4	5	1	2	1	3	M2
31	4	3	1	3	1	1	M3
32	4	1	2	1	1	2	M3
33	4	2	1	1	1	3	M3
34	4	1	3	1	3	1	M3
35	4	1	4	1	2	2	M3

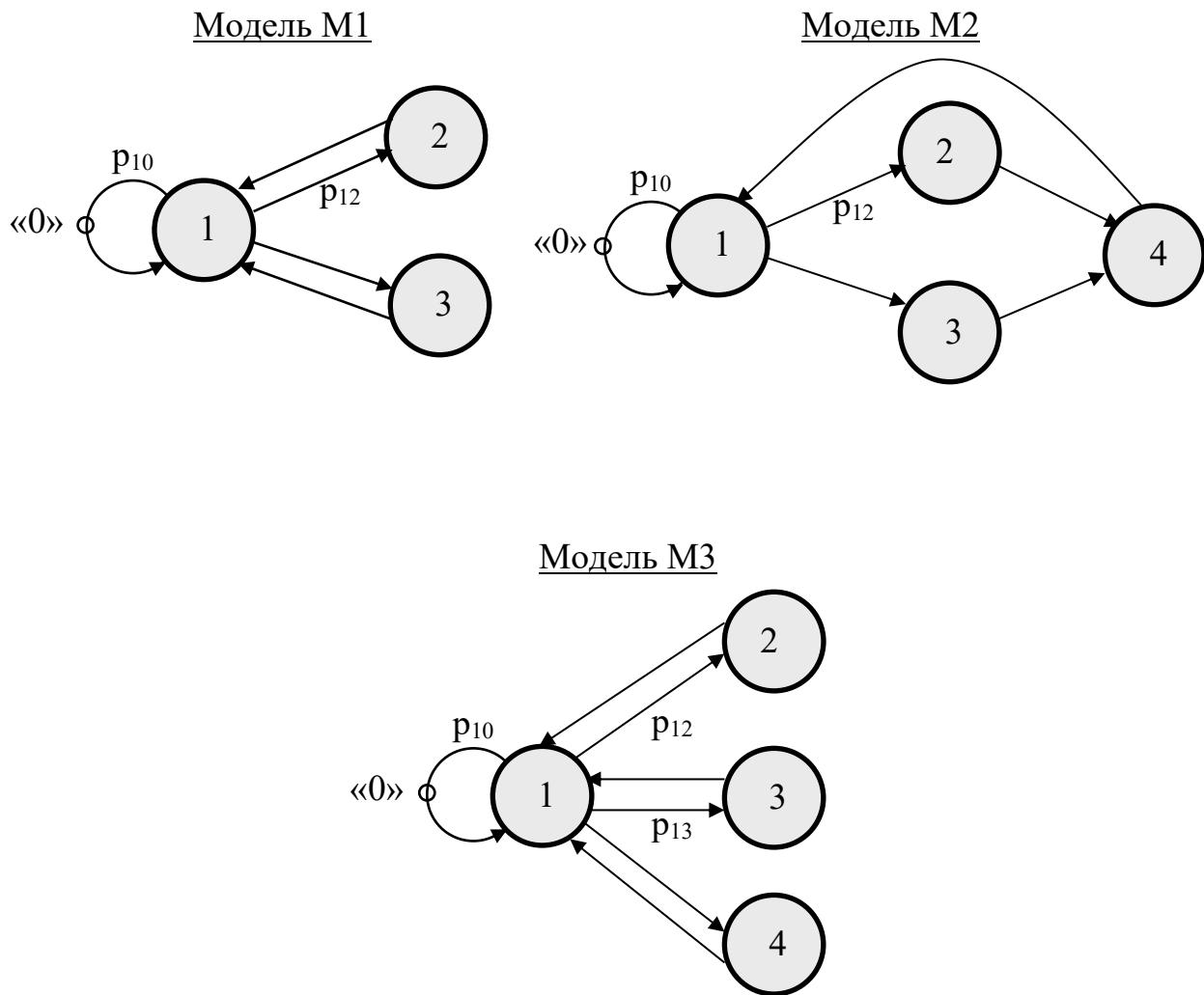
Вариант (A)	К-во узлов n	Количество приборов в узлах				Но- мер узла	Тип модели см.рис.
		У1	У2	У3	У4		
36	4	2	1	1	2	3	M3
37	4	1	3	2	1	1	M3
38	4	1	1	2	2	2	M3
39	4	2	1	2	1	3	M3
40	4	1	1	3	1	1	M3
41	4	3	2	1	1	2	M3
42	4	2	3	1	1	3	M3
43	4	2	1	1	3	1	M3
44	4	1	4	1	2	2	M3
45	4	2	1	2	1	3	M3
46	4	5	1	2	1	1	M3
47	4	3	1	3	1	2	M3
48	4	1	2	1	1	3	M3
49	4	2	1	1	1	1	M3
50	4	1	3	1	3	2	M3
51	4	2	1	3	1	1	M3
52	4	3	2	1	2	2	M3

**Номер узла** – это узел, в котором в процессе исследований необходимо экспоненциальное распределение длительности обслуживания изменить на распределение Эрланга 2-го порядка и гиперэкспоненциальное распределение с коэффициентом вариации равным 2.

Таблица 2

### Параметры узлов СeМО

Вариант (B)	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	10	4,5	20
2	0,2	0,4	0,2	2	5,5	10	12
3	0,25	0,25	0,25	4	2,5	14	5
4	0,5	0,25	0,1	5	8,5	5	15
5	0,1	0,5	0,2	10	5	1,5	25
6	0,2	0,3	0,3	1	15	10	6,4
7	0,25	0,5	0,1	2	4,5	5	15
8	0,5	0,3	0,1	4	10	8	9,5
9	0,1	0,4	0,25	5	25	10,5	15
10	0,2	0,5	0,1	10	12	15,5	25

2) Типы моделей

**Примечание:** значения вероятностей передач, *отмеченных на графике модели*, выбираются из таблицы 2. Значения остальных вероятностей передач определяются из условия, что все представленные сетевые модели относятся к классу линейных СeМО, т.е. сумма вероятностей должна быть равна 1.

**3) Рекомендуемые формы таблиц**

Форма 1

**Результаты варьирования параметров**

Характеристики СeМО	(Критич.число = )					(Предельная инт.= )				
	Число заявок в СeМО					Инт-ть потока в РСeМО				
	1	2	3	...						
Длина очереди										
Число заявок										
Время ожидания										
Время пребывания										
Производительность										

**Примечание:** вместо предлагаемой таблицы более предпочтительным является представление результатов в виде графиков с указанием на них численных значений характеристик и варьируемых параметров.

Форма 2

**Результаты имитационного моделирования для ЗСeМО**

Длительность моделирования \_\_\_\_\_ Количество заявок \_\_\_\_\_

Характе- ристики СeМО	ЗСeМО-экспоненциальная				ЗСeМО-неэкспоненциальная				Сете- вые		
	Узловые				Сете- - вые	Узловые					
	У1	У2	У3	У4		У1	У2	У3			
Загрузка											
Длина очереди											
Производи- тельность											
Время ожидания											
Время пребывания											

Форма 3

**Результаты имитационного моделирования для РСеМО**

Длительность моделирования \_\_\_\_\_ Количество заявок \_\_\_\_\_

Характеристики СеМО	РСеМО-экспоненциальная				РСеМО-неэкспоненциальная				
	Узловые				Сетевые	Узловые			
	У1	У2	У3	У4		У1	У2	У3	У4
Загрузка									
Длина очереди									
Число заявок в									
Время ожидания									
Время пребывания									

**Примечания:**

- 1) рекомендуемые формы таблиц при желании и необходимости могут быть изменены, заменены или представлены в другом виде;
- 2) вместо таблиц, отражающих зависимости характеристик исследуемых систем от параметров структурно-функциональной организации и параметров нагрузки, **более предпочтительными являются графики этих зависимостей с указанием значений характеристик и их размерностей**;
- 3) количество таблиц и графиков с результатами и их соотношение – на усмотрение автора (авторов) работы.

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