

Методические указания

к курсовой работе по дисциплине «Моделирование»

Комплексная учебно-исследовательская работа

"Исследование сетей массового обслуживания"

1. Цель работы	1
2. Содержание работы.....	1
3. Этапы работы.....	1
Этап 1. Разработка моделей	1
Этап 2. Проведение экспериментов на моделях	2
Этап 3. Обработка и анализ результатов моделирования	3
4. Порядок выполнения работы	5
5. Программные средства	5
6. Содержание отчета.....	6
7. Рекомендуемые формы таблиц	7
8. Варианты к работе.....	8
9. Литература	11

1. Цель работы

Комплексное исследование 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

Комплексная 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 РССеМО:

- 1) РССеМО-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) РССеМО-2 – разомкнутая сеть с экспоненциальным распределением длительностей обслуживания заявок в узлах и детерминированным потоком заявок, поступающих в сеть;
- 3) РССеМО-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);
- 4) РССеМО-4 – разомкнутая сеть с неэкспоненциальным распределением (Эрланга 2-го порядка или гиперэкспоненциальным) длительностей обслуживания заявок во всех узлах сети и детерминированным потоком заявок, поступающих в сеть.

Этап 2. Проведение экспериментов на моделях

2.1. Расчет характеристик обслуживания заявок 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 РСеМО.

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

Результаты представляются в табличном виде (форма 1).

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

9) Проанализировать сетевые характеристики функционирования РСеМО 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 обслуживания заявок 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 (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.

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

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-3 и РСеМО-4).

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 РСеМО;

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 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?

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 в полученным вариантом задания (этап 1).

4.4. Выполнить модельные эксперименты с использованием программных средств ITMOdel, MARK и 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 следует 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 (описана в учебно-исследовательской работе М1).

3. **Система имитационного моделирования GPSS World.**

Общее описание системы имитационного моделирования GPSS, а также описания основных операторов и команд GPSS World находятся на портале кафедры ВТ в составе документации дисциплины «Моделирование».

6. Оформление и содержание отчета

6.1. Отчёт 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) Описание гипотетической системы обслуживания в терминах некоторой прикладной области, в качестве моделей которой могут служить заданные сетевые модели. Например: магазин, бензозаправка, аэропорт, автомастерская и т.п.

2) Постановку задачи исследования выбранной системы с использованием замкнутых и разомкнутых СеМО и все исходные данные с указанием размерностей, которые должны быть выбраны в соответствии с моделируемой системой.

3) Результаты исследования системы 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 РССеМО;
- анализ влияния неэкспоненциального характера интервалов между поступающими в сеть заявками и длительности обслуживания в узлах на характеристики функционирования РССеМО.

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

7. Рекомендуемые формы таблиц

РЕЗУЛЬТАТЫ АНАЛИТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Форма 1

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

Характеристики СеМО	(Критич.число =) Число заявок в ЗСеМО					(Предельная инт.=) Интенсивн.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.

РЕЗУЛЬТАТЫ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Форма 3

Характеристики СеМО	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.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ**Форма 4**

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															

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).

8. Варианты к работе8.1. 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 указанным в задании типом представлен на рисунке;

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

8.2. В графе "Номер узла" указывается для какого узла 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

ПАРАМЕТРЫ ЗАМКНУТОЙ СеМО
(структурные параметры и количество заявок в СеМО)

Вариант	К-во узлов n	К-во приборов				К-во заявок М	Номер узла	Тип модели	Кол-во состояний
		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
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

Вариант	К-во узлов n	К-во приборов				К-во заявок М	Номер узла	Тип модели	Кол-во состояний
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
51	3	2	1	1		4	2	М2	15
52	3	2	1	1		4	2	М3	15
53	3	3	1	1		4	3	М2	15
54	3	1	1	3		4	1	М3	15

Примечание: тип модели – см. рисунок.

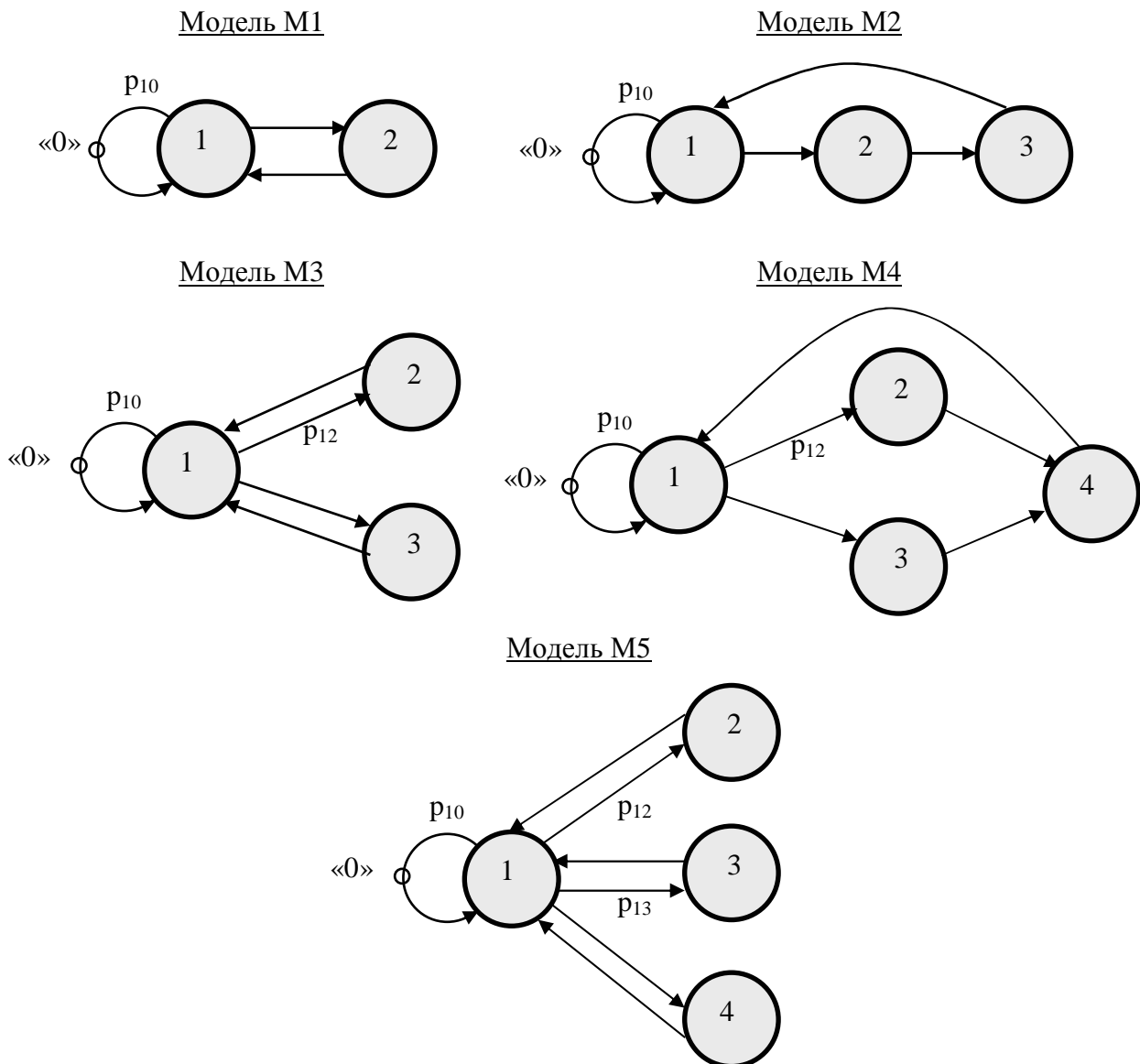


Рисунок. Типы моделей

Таблица 2**ПАРАМЕТРЫ ЗАМКНУТОЙ СеМО**

(вероятности передач и средние длительности обслуживания заявок)

Номер варианта 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

9. Литература

1. Алиев Т.И. Основы моделирования дискретных систем. Учебное пособие. - СПб.: СПбГУ ИТМО, 2009. – 363 с.
2. Конспект лекций по дисциплине "Моделирование".
3. Электронные учебно-методические материалы по дисциплине «Моделирование», представленные на корпоративном портале кафедры ВТ (www.cis.ifmo.ru).