

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ  
«БРЕСТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

КАФЕДРА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

# Методические указания

к лабораторным работам по дисциплине «Моделирование систем»  
для студентов специальностей АСОИ и ВМСС  
дневной формы обучения.

УДК 681.3 (075.8)  
ББК с57

Целью указаний является информационное и методическое обеспечение цикла лабораторных работ по имитационному и аналитическому моделированию систем, отображаемых в терминах стохастических сетевых моделей.

Составители: Муравьев Г.Л., доцент, к.т.н.,  
Мухов С.В., доцент, к.т.н.

Рецензент: доцент кафедры математического моделирования Брестского государственного университета им. А.С. Пушкина, к.т.н. Пролиско Е.Е.

## СОКРАЩЕНИЯ

КМ – концептуальная модель системы (объекта).

ММ – математическая, абстрактная модель системы (объекта).

АМ – аналитическая модель системы (объекта).

ИМ – имитационная модель системы (объекта).

q-схема, q-модель – типовая математическая модель (модель с очередями).

СМО М/М/К – система массового обслуживания с К каналами.

ССМ – стохастическая сетевая модель.

GPSS-модель – имитационная модель на языке GPSS.

СЧА – стандартный числовой атрибут GPSS.

GPSS-ССМ, GPSS-ориентированная ССМ – стохастическая сетевая модель, адаптированная под реализацию на языке GPSS.

Сеть МО – сеть массового обслуживания.

ЭСеть МО – экспоненциальная однородная (замкнутая или разомкнутая) линейная сеть массового обслуживания.

GPSS World – система моделирования общего назначения.

GPSS – входной язык системы моделирования GPSS World.

FIFO – дисциплина обслуживания «первый пришел – первый обслужен».

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1 Разработка концептуальной модели

### ЦЕЛЬ РАБОТЫ:

а) ознакомиться с требованиями, предъявляемыми к концептуальным моделям (КМ) систем, и правилами описания концептуальных моделей, ориентированных на использование q-моделей, стохастических сетевых моделей (ССМ), сетей массового обслуживания (СМО);

б) разработать концептуальную модель системы, отображаемой в терминах q-схемы (выявить и описать элементы, описать структуру системы, определить и описать параметры системы, определить состав характеристик системы и описать методы их вычисления).

### ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ:

а) описание системы (в соответствии с заданным вариантом), включающее описание структуры системы и процессов обслуживания потоков заявок в системе. Описание систем, исходные числовые данные приведены в [1] (приложение 12, таблица 54). Все недостающие числовые значения, недостающие параметры законов распределений и т.д. следует в ходе выполнения работ доопределить самостоятельно и согласовать с преподавателем;

б) при выполнении работ все обслуживающие узлы типа «устройство» следует рассматривать как одноканальные, если другой вариант не оговорен преподавателем;

в) следует учитывать только один (заданный) поток заявок, если иной вариант не оговорен преподавателем.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Пособие [1]: § 1. Общие сведения о моделируемой системе. § 2. Исходные данные для моделирования. § 3. Пояснения к исходным данным. § 4. Разработка концептуальной модели.

2. Курс лекций по дисциплине «Моделирование систем» [2], [3].

## ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

При выполнении работы следует учитывать, что рисунки, таблицы, графики, приведенные в [1] и упоминаемые в тексте ниже, приведены в качестве примера и могут использоваться как образец оформления данных в отчете.

1. Получить вариант задания – вариант моделируемой системы. Ознакомиться с теоретическими сведениями о системах, ССМ, СеМО и их моделировании из §§ 1-3 [1].

2. Выполнить предварительное описание концептуальной модели в соответствии с § 4.1 [1]. Для этого:

2.1. построить графическую схему q-модели заданной системы по ее исходному описанию (см. § 4.1.1 [1]). Результат представляется рисунком схемы q-модели;

2.2. описать ресурсы системы и узлы q-модели, использованные при описании ее схемы (см. § 4.1.2 [1]);

2.3. описать параметры обслуживающих узлов (см. § 4.1.3 [1]). Результат представляется таблицей 1 «Параметры обслуживающих узлов».

Таблица 1 – Параметры обслуживающих узлов

Узел	Параметры	Значение
$S_1$	$z_{1,1}$ – тип узла	устройство
	$z_{1,2}$ – канальность $K_1$	1
...	...	...

2.4. Выполнить анализ потока заявок (см. § 4.1.4 [1]). Результат представляется описанием закона поступления заявок, перечнем соответствующих параметров. Здесь это закон распределения времени между соседними заявками в потоке. Следует привести график функции плотности указанного распределения или соответствующую гистограмму.

2.5. Выполнить анализ законов обслуживания заявок в каналах узлов. Результат представляется описанием законов распределения времени обслуживания (задержки обслуживания) заявок, перечнем соответствующих параметров. Следует привести графики функций плотности указанных распределений или соответствующие гистограммы и описать их параметры (см. § 4.1.4 [1]).

3. Уточнить состав узлов концептуальной модели. Для этого:

3.1. Выявить дополнительные узлы модели системы и построить уточненную схему q-модели (см. § 4.2.1 [1]). Результат представляется рисунком схемы q-модели.

3.2. Построить уточненную матрицу переходов для заданного потока заявок (см. § 4.2.2 [1]).

4. Уточнить исходное описание концептуальной модели системы с учетом выявленных параметров потока заявок. Для этого:

4.1. описать параметры потока заявок (см. § 4.3.3 [1]). Результат представляется таблицей 2 «Параметры потока»;

4.2. описать параметры узлов модели (см. § 4.3.4 [1]). Результат представляется таблицей 3 «Параметры узлов q-модели»;

4.3. описать узловые и системные характеристики сети, являющиеся предметом исследования системы (см. § 4.3.5 [1]). Результат представляется таблицами 4 «Узловые характеристики q-модели» и таблицей 5 «Системные характеристики q-модели».

Таблица 2 – Параметры потока

Имя	Описание параметра	Значение
$h^{(q)}_{0,1}$	$f^{(q)}$ , распределения времени $t$ между заявками в потоке	случайный
$h^{(q)}_{0,2}$	тип закона	равномерный
...	...	...

Таблица 3 – Параметры узлов q-модели

Узел	Параметр	Описание параметра	Значение
$S_i$	$z_{1,i}$	– тип узла	устройство
	$z_{1,i}$	– канальность $K_i$	1
...	...	...	...

Таблица 4 – Узловые характеристики q-модели

Узел	Характеристика	Описание
$S_i$	$l_i$	средняя длина очереди запросов в узле
...	...	...

Таблица 5 – Системные характеристики q-модели

Характеристика	Описание	Вычисление
$L$	средняя длина очередей в системе	$L = l_1 + l_2$
...	...	...

## СОСТАВ ОТЧЕТА

1. Исходные данные для заданного варианта системы (текстовое описание системы и ее параметров).

2. Текстовое описание этапов построения концептуальной модели, целей этапов, способов их выполнения и представление полученных результатов (рисунки, таблицы, графики, выводы).

## СОСТАВ ГРАФИЧЕСКОГО МАТЕРИАЛА ОТЧЕТА:

- рисунок. Исходная схема q-модели;
- таблица. Параметры обслуживающих узлов;
- рисунок. Функция плотности входного потока;
- рисунок. Уточнённая схема q-модели;
- таблица. Уточненная матрица переходов;
- таблица. Параметры потока заявок;
- таблица. Параметры узлов q-модели;
- таблица. Узловые характеристики q-модели;
- таблица. Системные характеристики q-модели.

## КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

Что такое система, сложная система? Что такое элемент системы, в чем состоит его неделимость? Что такое структура системы? Какие варианты описания структуры системы существуют? Что такое функции системы и процессы? В чем отличие внешних и внутренних функций системы?

Что такое параметры и характеристики системы? В чем их отличие? Перечислите характеристики эффективности организации системы и эффективности обслуживания запросов в системе.

Что такое узловые и системные характеристики? В каких единицах могут измеряться характеристики эффективности обслуживания запросов в системе? Опишите смысл коэффициента загрузки канала системы и процедуры его вычисления. Что происходит, если коэффициент загрузки узла приближается к единице? Что такое стационарный режим работы СМО, сети? Устойчивость каких характеристик наблюдается в стационарном режиме работы системы?

Что такое моделирование, имитационное моделирование? В чем состоит отличие имитационного и аналитического моделирования? Какие этапы работ включает моделирование систем? Что такое концептуальная модель? Какие черты системы она описывает, на какие вопросы отвечает? Что такое типовая математическая модель?

## **ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2.** **Разработка математических моделей**

### ЦЕЛЬ РАБОТЫ:

а) изучить правила описания математических моделей систем в терминах стохастических сетевых моделей (ССМ) и, в том числе, ориентированных на описание и имитационное моделирование систем средствами языка GPSS. Указанное включает описание параметров модели (параметров элементов модели, ее структуры, потоков заявок) и характеристик системы, рассчитываемых с помощью модели;

б) разработать стохастическую сетевую модель (ССМ) системы;

в) разработать GPSS-ориентированную стохастическую сетевую модель системы (GPSS-ССМ);

г) изучить правила описания математических моделей систем в терминах сетей массового обслуживания (сетей МО) и, в том числе, ориентированных как на имитационное моделирование (например, средствами языка GPSS), так и на аналитический расчет (аналитическое моделирование);

д) разработать сеть МО (упрощенную модель системы, ориентированную на аналитический расчет характеристик).

### ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ:

а) параметры системы (в соответствии с заданным вариантом);

б) концептуальная модель системы (результаты выполнения лабораторной работы № 1 «Разработка концептуальной модели системы»).

## ЛИТЕРАТУРА

1. Пособие [1]: § 5. Разработка математической модели. § 6. Разработка GPSS-ориентированной имитационной модели. § 6.1. Построение GPSS-ориентированной ССМ. § 6.2. Организация сбора статистики. § 7. Разработка, реализация и исследование упрощенных моделей. § 7.1. Разработка аналитической модели. § 7.1.1. Построение сети массового обслуживания. § 7.1.4. Построение экспоненциальной сети массового обслуживания. § 7.1.5. Описание параметров аналитической модели. § 7.1.6. Описание характеристик аналитической модели.

2. Курс лекций по дисциплине «Моделирование систем» [2], [3-5].

## ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Ознакомиться с теоретическими сведениями – правилами отображения элементов q-моделей, схем; соответствующими узлами стохастических сетей (см. § 5, рисунок 7 [1]).

2. Построить математические модели системы в терминах стохастических сетевых моделей (ССМ), используя описание ее концептуальной модели (см. § 5 [1]). Результат представляется рисунком схемы обработки потока заявок ССМ и таблицей 6. «Описание узлов ССМ».

Таблица 6 – Описание узлов ССМ

Узел q-модели	ССМ-узел	Описание узла
S <sub>3,1</sub>	b <sub>3,1</sub>	узел выделения памяти
...	...	...

3. Построить математическую модель, реализуемую (расчитываемую) имитационным способом (ИМ). Расчет модели будет производиться в системе моделирования GPSS World, т.е. разработанную модель надо описать на входном языке системы – языке GPSS (см. § 6 [1]). Для этого:

3.1. ознакомиться с теоретическими сведениями – правилами построения GPSS-ориентированной ССМ (см. § 6.1 [1]).

3.2. для заданной системы построить GPSS-ориентированные сети, применяя вышеуказанные правила к исходной ССМ (см. § 6.1 [1]). Результат представляется рисунком схемы ССМ, ориентированной на GPSS, таблицей 7 «Параметры GPSS-узлов»;

Таблица 7 – Параметры GPSS-узлов

Узел	Узлы-фазы	Параметр	Значение
b <sub>1</sub>	b <sub>1,2</sub>	задержка	2,5-7,5
...	...	...	...

3.3. определить точки сбора данных в ходе моделирования, необходимых для расчета статистических оценок узловых и системных характеристик (см. § 6.2 [1]). Результат представляется таблицами 8 «Измерение узловых характеристик ССМ» и таблицей 9 «Измерение и вычисление системных характеристик ССМ».

Таблица 8 – Измерение узловых характеристик ССМ

Узел	Характеристика	Точки замера	ИмяПарыТочек
b <sub>1</sub>	h, ω <sub>1</sub>	3-4	w_b_1
...	...	...	...

Таблица 9 – Измерение и вычисление системных характеристик ССМ

Характеристика	Вычисление	Точки замера	ИмяПары
L, W	$L = l_1 + l_2, W = \omega_1 \cdot a_1 + \omega_2 \cdot a_2$	3-4, 6-7	W_system
...	...	...	...

4. Построить упрощенную модель системы - сеть массового обслуживания (сеть МО), ориентированную на аналитический расчет. Для точного аналитического расчета такая сеть может быть замкнутой или разомкнутой однородной линейной экспоненциальной сетью (см. § 7.1 [1]). Для этого следует:

4.1. построить разомкнутую, однородную, линейную сеть массового обслуживания путем упрощения ранее полученной сети системы (см. § 7.1.1 [1]). Результат представляется схемой сети МО.

4.2. привести полученную сеть массового обслуживания к экспоненциальной сети (§ 7.1.4 [1]). Для этого заменить реальные (заданные) законы распределений времени поступления заявок и времен их обслуживания в каналах устройств на экспоненциальные распределения, сохранив прежние (заданные) средние значения (математические ожидания) распределений;

4.3. описать параметры сети МО (см. § 7.1.5 [1]). Результат представляется матрицей переходов P, таблицей параметров узлов и таблицей параметров потока заявок сети МО;

4.4. описать характеристики сети МО (см. § 7.1.6 [1]). Результат представляется описаниями узловых и системных характеристик эффективности работы системы и обслуживания заявок, а также процедур их вычисления.

### СОСТАВ ОТЧЕТА

1. Текстовое описание этапов построения математических моделей, целей этапов, способов их выполнения и представление полученных результатов (рисунки, таблицы, графики, выводы).

2. Математические модели системы:

– описание ССМ, ориентированной на имитационный метод расчета;

– описание GPSS-ориентированной ССМ;

– описание сети МО (упрощенной модели системы), ориентированной на аналитический метод расчета.

### СОСТАВ ГРАФИЧЕСКОГО МАТЕРИАЛА ОТЧЕТА:

– рисунок. Схема ССМ;

– таблица. Описание узлов ССМ;

– рисунок. Схема ССМ, ориентированной на GPSS;

– таблица. Параметры GPSS-узлов;

– таблица. Измерение узловых характеристик ССМ;

– таблица. Измерение и вычисление системных характеристик ССМ;

– рисунок. Схема сети МО;

– таблица. Матрица переходов сети МО;

– таблица. Параметры узлов сети МО;

– таблица. Параметры потока заявок сети МО.



## КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

Что такое стохастическая сетевая модель? Перечислите типовой набор узлов ССМ. Что такое сеть массового обслуживания (СеМО)? Перечислите типовой набор узлов СеМО.

Что такое источник запросов в сети? Какие функции он выполняет? Что такое источник заявок и какими параметрами он описывается? Укажите особенности функционирования группового источника заявок? Какие типы источников заявок используются? Каким образом может быть описан источник нестационарного потока заявок?

Что такое канал обслуживающего устройства? Как запросы используют каналы? Что такое узел памяти и какими параметрами он задается? Как многоканальное устройство может быть отображено с использованием узла памяти?

Что такое схема сети массового обслуживания? Какими параметрами описываются узлы и процессы обслуживания заявок в СеМО? Как описывается закон поступления запросов?

Как описывается порядок движения заявок в процессе их обслуживания в системе? Какими свойствами должна обладать матрица вероятностей переходов заявок? Что такое коэффициент посещения узла? Каким образом может быть вычислено его числовое значение?

Перечислите основные узловые и системные характеристики СеМО. Укажите процедуры их вычисления. Что такое коэффициент загрузки узла? Как значение коэффициента загрузки узла влияет на режим работы сети?

Что такое среднее время пребывания запроса в системе и как оно может быть вычислено? Чем среднее значение характеристики «время ожидания» в очереди к узлу отличается от текущих значений аналогичного времени?

## **ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3. Реализация упрощенных моделей**

### ЦЕЛЬ РАБОТЫ:

а) изучить методы аналитического расчета моделей систем на базе линейных однородных экспоненциальных сетей МО;

б) выполнить аналитический расчет упрощенной модели системы;

в) изучить блоки языка GPSS, необходимые для описания имитационных моделей на базе сетей МО;

г) изучить средства системы моделирования GPSS World и технологию их использования для имитационного моделирования сетей МО;

д) разработать упрощенную GPSS-модель системы на базе экспоненциальной СеМО и выполнить ее имитационное моделирование в GPSS World;

е) оценить характеристики адекватности и трудоемкости упрощенной GPSS-модели системы, взяв за эталон характеристики аналогичной модели, рассчитанной аналитически.

### ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ:

- а) параметры системы (в соответствии с заданным вариантом);
- б) упрощенная математическая модель системы – результат выполнения лабораторной работы № 2 «Разработка математических моделей».

### ЛИТЕРАТУРА

1. Пособие [1]: § 7.2. Реализация (расчет) аналитической модели. § 7.3. Имитационное моделирование. § 7.3.1. Реализация имитационной модели. § 7.3.2. Оценка зависимости точности имитационного моделирования от его длительности.
2. Курс лекций по дисциплине «Моделирование систем» [2], [3-5].

### ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Ознакомиться с основными расчетными формулами, применяемыми при аналитическом расчете экспоненциальных сетей массового обслуживания, и последовательностью расчета их характеристик (см. [1] – § 7.2 и приложение 7).
2. Выполнить аналитический расчет упрощенной модели системы – рассчитать узловые и системные характеристики сети МО (см. § 7.2 [1]). Результаты расчета свести в таблицу 10 «Значения характеристик сети МО».

Таблица 10 – Значения характеристик сети МО

Узел	Характеристики	Значение
	узловые	
$b_1$	$l_1$	0,05
...	...	...

3. Выполнить имитационное моделирование сети МО (см. § 7.3.1. Реализация имитационной модели [1]). Здесь это означает имитационный расчет той же сети МО средствами системы GPSS World. Результаты представляются схемой GPSS-модели однородной разомкнутой сети массового обслуживания, текстом указанной модели на языке GPSS, листингами статистических отчетов GPSS World, построенных по результатам имитации модели.

4. Оценить характеристики GPSS-модели системы и погрешности их вычисления, взяв за эталон характеристики соответствующей аналитической модели на базе экспоненциальной сети МО (см. § 7.3.1 [1]). Полученные данные свести в таблицу 11. «Результаты аналитического и имитационного моделирования СеМО».

Таблица 11 – Результаты аналитического и имитационного моделирования СеМО

	Характеристика	Значение характеристики				Погрешность, %		
		АМ	ИМ (10000)	ИМ (50000)	ИМ (100000)	1	2	3
Узел 1	$\rho_1$	0,2	0,201	0,2	0,2	0,5	0,0	0,0
	...	...	...	...	...	...	...	...
Система	...	...	...	...	...	...	...	...

5. Оценить зависимость точности имитационного моделирования от его длительности (см. - § 7.3.2 [1]). Полученные данные свести в таблицу 12 «Результаты имитационного моделирования» СеМО (относительные погрешности)».

Отобразить графически зависимости погрешностей узловых (например, коэффициент загрузки, длина очереди, среднее число заявок в узле, среднее время ожидания и пребывания заявок в узле) характеристик от длительности моделирования. Графики зависимости погрешностей узловых характеристик построить для наиболее загруженного узла системы.

Отобразить графически зависимости погрешностей системных характеристик от длительности моделирования.

Таблица 12 – Результаты имитационного моделирования СеМО

Длительность, заявок	100	500	1000	5000	10000	50000	100000
$\rho$	0,14	0,025	0,015	0,01	0,005	0,005	0
...	...	...	...	...	...	...	...
L	-0,16	-0,149	-0,194	-0,018	0,008	0,010	0
...	...	...	...	...	...	...	...

### СОСТАВ ОТЧЕТА

Модели: – упрощенная аналитическая модель системы на базе экспоненциальной сети МО; – упрощенная имитационная GPSS-модель системы на базе сети МО.

1. Описание этапов расчета математических моделей, способов расчета.
2. Описание результатов расчета упрощенной аналитической модели системы.
3. Описание GPSS-модели СеМО, результатов ее моделирования и аттестации (оценки характеристик).
4. Сравнение результатов аналитического и имитационного расчета характеристик сети МО.
6. Текст GPSS-модели.
7. Листинг отчетов GPSS-модели.

### СОСТАВ ГРАФИЧЕСКОГО МАТЕРИАЛА ОТЧЕТА:

- таблица. Значения характеристик СеМО, рассчитанные аналитически;
- рисунок. Схема GPSS-модели однородной разомкнутой СеМО;
- таблица. Сравнительные результаты аналитического и имитационного моделирования СеМО;
- таблица. Зависимость погрешностей характеристик СеМО от длительности моделирования;
- графики. Зависимость погрешностей узловых характеристик СеМО от длительности моделирования;
- графики. Зависимость погрешностей системных характеристик СеМО от длительности моделирования.

### КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

Охарактеризуйте систему моделирования GPSS World, ее возможности, способы использования. Приведите классификацию блоков GPSS. Опишите структуру GPSS и форматы блоков. Что такое блок и чем он отличается от команды?

Каким образом задается длительность моделирования в языке GPSS? Что такое системный счетчик завершений? Охарактеризуйте модельное время в GPSS.

Опишите типовой состав отчета моделирования GPSS по секции facility, queue, storage. Что такое пара контрольных точек, как они размещаются в GPSS-модели и какая статистика может быть получена с их помощью? Проиллюстрируйте расстановку контрольных точек для измерения времени ожидания обслуживания в узле и для измерения системных характеристик.

Укажите особенности использования блоков GPSS - storage, generate, advance, facility. Укажите особенности использования блока transfer для описания вероятностных узлов.

Каким образом могут быть представлены в модели разнотипные потоки заявок? Каковы особенности сбора статистических данных при наличии нескольких потоков заявок?

Как задаются законы распределения случайных величин в GPSS? Что такое обратная функция распределения? Какие библиотечные распределения можно использовать при моделировании?

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4.

### Исследование упрощенных моделей и системы на их основе

#### ЦЕЛЬ РАБОТЫ:

Исследование эффектов упрощения модели – степени влияния сделанных при ее построении упрощений на точность расчета характеристик системы. Указанное предполагает:

- а) изучение блоков языка GPSS, необходимых для описания (моделирования) модификаций моделей системы на базе сети MO;
- а) изучение средств системы моделирования GPSS World и технологии их использования для моделирования модификаций моделей системы на базе сети MO;
- в) описание модификаций упрощенных моделей системы на языке GPSS;
- г) реализация модифицированных GPSS-моделей и их использование для оценки влияния сделанных упрощений на точность вычисления характеристик.

Исследование (анализ и прогнозирование) свойств системы на упрощенной имитационной модели:

- а) оценка исходного состояния системы;
- б) прогнозирование характеристик системы.

#### ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ:

- а) параметры системы (в соответствии с заданным вариантом);
- б) характеристики упрощенной аналитической модели системы на базе экспоненциальной сети MO (используемые в качестве эталона) – результат выполнения лабораторной работы № 3 «Реализация упрощенных аналитической и имитационной моделей системы»;
- в) упрощенная GPSS-модель системы на базе сети MO - результат выполнения лабораторной работы № 3 «Реализация упрощенных аналитической и имитационной моделей системы»;
- г) задания на исследование характеристик модели и характеристик системы.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Пособие [1]: § 7.4. Исследование эффектов упрощений модели. § 7.4.1. Эффект учета законов распределений. § 7.4.4. Эффект учета памятей, накопителей. § 7.4.5. Эффект учета управления.

§ 7.5. Исследование характеристик системы на упрощенных моделях. § 7.5.1. Анализ исходного состояния системы. § 7.5.2. Прогнозирование характеристик системы при росте интенсивности потока заявок. § 7.5.3. Прогнозирование характеристик системы в замкнутом режиме функционирования. § 7.5.4. Исследование эффектов модификации системы.

2. Курс лекций по дисциплине «Моделирование систем» [2], [3-5].

## ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Исследование эффектов упрощений модели (неучета параметров) и их влияния на точность вычисления характеристик системы (см. § 7.4 [1]).

Это можно сделать, если поочередно восстанавливать элементы детальной модели в ранее полученной (в работе № 3) имитационной реализации упрощенной модели (на базе СеМО). То есть составляющие стохастической сети, ориентированной на GPSS, полученной в работе № 2.

Сравнивая характеристики, рассчитанные на этих «восстановленных» GPSS-моделях, с аналогичными характеристиками, рассчитанными на аналитической модели, используемой здесь в роли эталона, можно оценить погрешности упрощений.

1.1. Рассмотреть эффект учета законов распределений в модели (см. § 7.4.1 [1]).  
Результаты:

- описание плана экспериментов (перечень контролируемых характеристик; перечень изменяемых факторов; уровни факторов, план изменения факторов);
- текст GPSS-модели.
- таблица 13 «Влияние законов распределения на точность вычисления характеристик системы».

Таблица 13 – Влияние законов распределения

	Характеристика	Значение		%
		АМ	ИМ	
Узел 1	$\rho_1$	0,2	0,19	-1
...	...	...	...	...
Система	L	0,95	0,37	-61
...	...	...	...	...

1.2. Рассмотреть эффект учета в сети памятей, накопителей (см. § 7.4.4 [1]). Следует учитывать как наличие памятей (всех и по отдельности), так и влияние их емкостей на характеристики сети. Результаты:

- схема GPSS-модели с учётом памятей;
- описание плана экспериментов (перечень контролируемых характеристик; перечень изменяемых факторов; уровни факторов, план изменения факторов);
- текст GPSS-модели;
- таблица 14 «Влияние учета емкости памяти на точность вычисления характеристик системы».

Таблица 14 – Влияние емкости памяти

	Характеристика	Значение характеристики				Погрешность, %		
		AM	ИМ (V=2)	ИМ (V=4)	ИМ (V=6)	1	2	3
Узел 1	$\rho_1$	0,2	0,2	0,2	0,20	0	0	0
...	...	...	...	...	...	...	...	...
Система	L	0,95	1,11	0,97	0,97	17	2	2
...	...	...	...	...	...	...	...	...

1.3. Рассмотреть эффект учета механизмов управления в сети (см. § 7.4.5 [1]). Результат:

- схема GPSS-модели с учётом механизмов управления;
- описание плана экспериментов (перечень контролируемых характеристик; перечень изменяемых факторов; уровни факторов, план изменения факторов); - текст GPSS-модели; - таблица 15 «Эффект управления».

Таблица 15 – Эффект управления

	Характеристика	Значение характеристики				Погрешность, %		
		AM	ИМ (V=2)	ИМ (V=4)	ИМ (V=6)	1	2	3
Узел 1	$\rho_1$	0,2	0,16	0,19	0,196	-21	-7	-2
...	...	...	...	...	...	...	...	...
Система	U	35	20,45	27,2	31,4	40	-	-
...	...	...	...	...	...	...	...	...

2. Исследовать характеристик системы на моделях (см. § 7.5 [1]). Здесь можно использовать разработанную ранее (лабораторная работа № 3) упрощенную аналитическую модель системы на базе сети МО или ее имитационный аналог.

2.1. Анализировать исходное состояние системы (см. § 7.5.1 [1]). Результат – характеристики текущего состояния системы и выводы.

2.2. Прогнозировать изменение характеристик системы при росте интенсивности поступления потока заявок (см. § 7.5.2 [1]). Результат:

- описание плана экспериментов (перечень контролируемых характеристик; перечень изменяемых факторов; уровни факторов, план изменения факторов);
  - таблица 16. Зависимость характеристик системы от интенсивности входного потока;
  - графики зависимости системных характеристик (времени ожидания, времени пребывания заявок в сети) от интенсивности входного потока;
  - графики зависимости узловых характеристик от интенсивности входного потока.
- Состав характеристик уточнить у преподавателя;
- выводы о характере влияния роста интенсивности поступления потока заявок на характеристики системы.

Таблица 16 – Зависимость характеристик от интенсивности входного потока

	Характеристика	Значение характеристики					
		AM	ИМ	ИМ	ИМ	ИМ	ИМ
	время $t$		40	30	20	15	10
	интенсивность $\lambda$		0,025	0,033	0,05	0,067	0,1
Узел 1	$\rho_1$	0,2	0,1	0,13	0,20	0,27	0,4
...	...	...	...	...	...	...	...
Система	L	0,95	0,14	0,28	0,96	3,30	5000
...	...	...	...	...	...	...	...

2.3. Оценить характеристики системы для замкнутого режима функционирования (см. § 7.5.3 [1]).

Результат:

- схема модели сети МО для замкнутого режима функционирования;
- описание плана экспериментов (перечень контролируемых характеристик; перечень изменяемых факторов; уровни факторов, план изменения факторов);
- текст GPSS-модели;
- таблица 17 «Зависимость характеристик модели от числа заявок (замкнутый режим)»;
- графики зависимости системных характеристик (времени ожидания, времени пребывания заявок в сети, производительности) от числа заявок в сети;
- графики зависимости узловых характеристик от интенсивности числа заявок в сети (состав характеристик уточнить у преподавателя);
- выводы.

2.4. Рассмотреть эффекты модификации системы (в качестве одного из примеров возможных изменений см. § 7.5.4 [1]).

Конкретный план модификаций системы зависит от ее особенностей, целей и критериев функционирования, исходного состояния, наличия «узких» мест.

Индивидуальный план модификации системы и ее исследование на модели составляется по согласованию с преподавателем.

Для каждого варианта планируемых изменений в системе следует привести следующие результаты:

- описание плана экспериментов (перечень контролируемых характеристик; перечень изменяемых факторов; уровни факторов, план изменения факторов);
- схему GPSS-модели (при ее изменении);
- текст GPSS-модели (при его изменении);
- необходимые таблицы, диаграммы, графики;
- выводы об эффективности принятых решений по модификации (полученных результатах – изменениях в характеристиках).

Таблица 17 – Характеристики модели (замкнутый режим)

	Характеристика	Значение характеристики						
		АМ	ИМ	ИМ	ИМ	ИМ	ИМ	ИМ
	$M_0$		0	1	2		7	10
Узел 1	$\rho_1$	0,2	0	0,25	0,3		0,33	0,33
	...	...	...	...	...	...	...	...
Система	$\lambda_0$		0	0,06	0,08		0,08	0,08
	...	...	...	...	...	...	...	...

2.5. Прогнозировать характеристики системы при введении дополнительного потока заявок (в качестве примера см. § 7.4.2 Эффект учета неоднородности сети [1]). Результат: описание плана эксперимента; значения характеристик модели как для каждого из потоков заявок, так и усредненные по потокам; выводы.

2.6. Прогнозировать характеристики системы при увеличении числа каналов заданного устройства (в качестве примера см. § 7.4.3 Эффект учета канальностей устройств [1]). Результат: описание плана эксперимента; значения характеристик модели до и после модификации системы; выводы.

## СОСТАВ ОТЧЕТА:

– исходные данные, перечень заданий по исследованию моделей и модификации системы;

– для каждого из экспериментов по исследованию свойств моделей приводятся следующие данные: модификации GPSS-модели системы на базе сети МО; описание плана каждого из экспериментов (перечень контролируемых характеристик; перечень изменяемых факторов; уровни факторов, план изменения факторов); полученные результаты (рисунки, таблицы, графики, выводы); тексты GPSS-модели, листинги отчетов GPSS-модели;

– для раздела - исследование характеристик системы приводятся следующие данные: описание плана каждого из экспериментов (перечень контролируемых характеристик; перечень изменяемых факторов; уровни факторов, план изменения факторов); полученные результаты (рисунки, таблицы, графики, выводы); тексты GPSS-модели, листинги отчетов GPSS-модели;

– для каждого из экспериментов по прогнозированию характеристик системы приводятся следующие данные: модификации GPSS-модели системы; описание плана каждого из экспериментов (перечень контролируемых характеристик; перечень изменяемых факторов; уровни факторов, план изменения факторов); полученные результаты (рисунки, таблицы, графики, выводы); тексты GPSS-модели, листинги отчетов GPSS-модели.

## СОСТАВ ГРАФИЧЕСКОГО МАТЕРИАЛА ОТЧЕТА:

– таблица. Влияние учета законов распределений на точность вычисления характеристик;

– рисунок. Схема GPSS-модели с учётом памяти;

– таблица. Влияние учета емкости памяти на точность вычисления характеристик;

– таблица. Эффект управления;

– рисунок. Схема GPSS-модели с учётом механизмов управления;

– график. Зависимость системных характеристик от интенсивности входного потока;

– таблица. Зависимость характеристик модели от интенсивности входного потока;

– графики. Зависимости узловых характеристик от интенсивности входного потока;

– рисунок. Схема GPSS-модели для замкнутого режима;

– график. Зависимость пропускной способности сети от числа заявок;

– таблица. Зависимость характеристик модели от числа заявок;

– графики. Зависимость системных характеристик от числа заявок;

– графики. Зависимость узловых характеристик от числа заявок;

– рисунок. Схема GPSS-модели с учётом неоднородной нагрузки;

– таблица. Значения характеристик модели для неоднородной нагрузки;

– другие схемы, графики, рисунки, таблицы (при необходимости).

## КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ!

Что предусматривает анализ исходного состояния системы? Что такое сбалансированность сети? Что такое узкое место сети и как оно влияет на характеристики сети?

Что такое стационарный и нестационарный режим функционирования сети? Как меняются характеристики стационарной и нестационарной сети с ростом длительности моделирования?





обработки одной заявки  $U_n(1) = U_1$ , а производительность сети определяется по закону Литтла:

$$\begin{cases} U_0 = U_1 = \sum_{i=1}^N \alpha_i \cdot t_i = \sum_{i=1}^N t_{0i} = const \\ \lambda_0 = var = M / U_0 = M / \sum_{i=1}^N \alpha_i \cdot t_i = M / U_1 = \lambda_0(M) \end{cases}$$

Если увеличивать число заявок в сети  $M$ , то наступит момент, когда хотя бы один из узлов станет «узким местом» (с коэффициентом загрузки  $\rho_s = 1$ ). Сеть войдет в режим насыщения, дальнейшее увеличение числа заявок в сети не будет вести к росту ее производительности, достигнутой в точке  $M = M^*$ , и будет определяться параметрами (пропускной способностью) «узкого места».

В режиме насыщения ( $M > M^*$ ) производительность сети постоянна и равна  $\lambda_0(M) = M / U_n = M^* / U_0$  (при  $M = M^*$ ), а время пребывания заявки в сети определится по закону Литтла:

$$\begin{cases} \lambda_0 = M^* / U_0 = M^* / \sum_{i=1}^N \alpha_i \cdot t_i = M^* / U_1 = const \\ U_0 = var = M / \lambda_0 = M \cdot \sum_{i=1}^N \alpha_i \cdot t_i / M^* = U_0(M) \end{cases}$$

В приведенных соотношениях неизвестной величиной является значение  $M^*$ . Для его определения выявляется потенциальное узкое место – узел с  $\rho_s = \max\{\rho_i\}$ , и из уравнения  $\rho_s = 1$ :

$$\rho_s = \lambda_s \cdot t_s / K_s = \lambda_0 \cdot \alpha_s \cdot t_s / K_s = M^* \cdot \alpha_s \cdot t_s / K_s \cdot \sum_{i=1}^N \alpha_i \cdot t_i = 1$$

определяют  $M^*$  как

$$M^* = K_s \cdot \sum_{i=1}^N \alpha_i \cdot t_i / \alpha_s \cdot t_s$$

### ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

Построение модели и расчет предельных характеристик включает следующие этапы.

1. Вычислим неизвестные коэффициенты передач устройств  $\alpha_i$ , дающие среднее число посещений заявкой каждого устройства за время (цикл) полного обслуживания в системе. Для этого построим и решим систему из  $N$  линейных уравнений, используя свойство линейности сети, выражаемое для каждого из устройств  $i = 1, \dots, N$  как ( $\alpha_0 = 0$ )

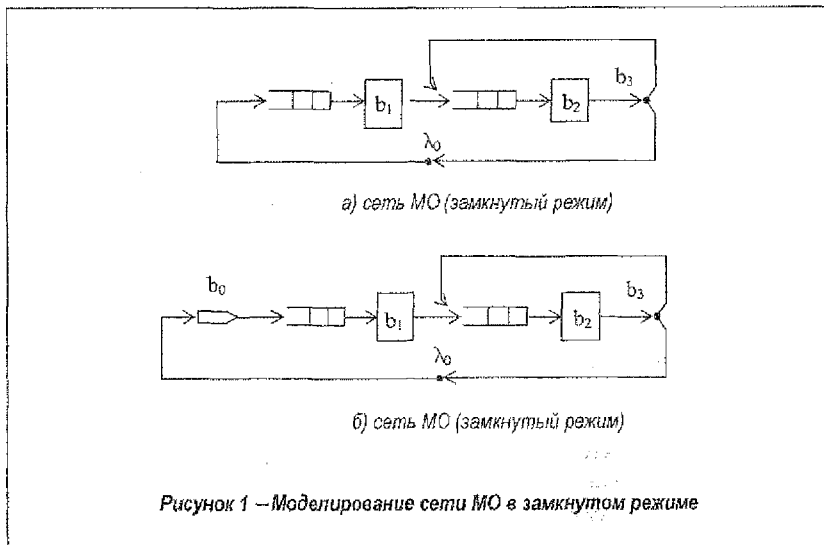
$$\alpha_i = \sum_{j=0}^N \alpha_j \cdot p_{ji}$$

Пример. Пусть система представлена сетью, например, на рисунке 1, которая состоит из  $n = 4$  узлов, где  $N = 2$  устройства. Канальности устройств и средние времена обслуживания в каналах соответственно равны  $K_1 = 1, t_1 = 4, K_2 = 1, t_2 = 6$ .

Соответствующая матрица переходов представлена ниже.

Таблица 18 – Матрица переходов

	$b_0$	$b_1$	$b_2$
$b_0$	0	1	0
$b_1$	0	0	1
$b_2$	0,5	0	0,5



Искомые величины -  $\alpha_1$  и  $\alpha_2$ . Соответственно система уравнений выглядит как

$$\alpha_1 = \alpha_0 \cdot p_{0,1} + \alpha_1 \cdot p_{1,1} + \alpha_2 \cdot p_{2,1};$$

$$\alpha_2 = \alpha_0 \cdot p_{0,2} + \alpha_1 \cdot p_{1,2} + \alpha_2 \cdot p_{2,2}.$$

А после подстановки значений  $p_{ij}$  из матрицы  $P$  система уравнений примет вид

$$\alpha_1 = \alpha_0 \cdot 1 + \alpha_1 \cdot 0 + \alpha_2 \cdot 0;$$

$$\alpha_2 = \alpha_0 \cdot 0 + \alpha_1 \cdot 1 + \alpha_2 \cdot 0,5.$$

Решив систему, получим значения  $\alpha_1 = 1, \alpha_2 = 2$ .

2. Находим узкое место системы.

Пример. Для системы коэффициенты загрузки устройств определяются как

$$p_1 = \lambda_1 \cdot t_1 / K_1 = \alpha_1 \cdot \lambda_0 \cdot t_1 / K_1 = 4 \lambda_0,$$

$$p_2 = \lambda_2 \cdot t_2 / K_2 = \alpha_2 \cdot \lambda_0 \cdot t_2 / K_2 = 12 \lambda_0.$$

3. Рассчитываем точку насыщения сети  $M^*$ .

Пример. Для системы получаем

$$M^* = K_s \cdot \sum_{i=1}^N \alpha_i \cdot t_i / \alpha_s \cdot t_s = K_2 (\alpha_1 \cdot t_1 + \alpha_2 \cdot t_2) / (\alpha_2 \cdot t_2) = 4,33(3) \text{ [заявки]}.$$

4. Рассчитываем характеристики системы до насыщения (при  $M \leq M^*$ ).

Пример. Для системы при  $M \leq 4,33$

$$U_0 = U_1 = (\alpha_1 \cdot t_1 + \alpha_2 \cdot t_2) = 52 \text{ [ед. времени]}, \\ \lambda_0 = M / 52 \text{ [заявок в единицу времени]}.$$

5. Рассчитываем характеристики системы после насыщения (при  $M \geq M^*$ ).

Пример. Для системы при  $M \geq 4,33$  получаем

$$\lambda_0 = M^* / U_1 = 4,33 / 52 = 0,083 \text{ [заявок в единицу времени]}, \\ U_0 = M / \lambda_0 = M / 0,083 \text{ [ед. времени]}.$$

6. Строим графики зависимостей  $\lambda_0 = \lambda_0(M)$  и  $U_0 = U_0(M)$ .

#### СОСТАВ ОТЧЕТА:

- асимптотическая модель, расчетные формулы модели;
- описание результатов расчета модели;
- оценка точности результатов сравнением, например, с GPSS-моделью той же

СеМО;

- выводы о состоянии системы и прогнозирование ее характеристик.

#### СОСТАВ ГРАФИЧЕСКОГО МАТЕРИАЛА ОТЧЕТА:

- рисунок. Схема модели;
- таблица. Характеристики модели;
- графики. Поведение характеристик.

#### КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

Что такое алгебраическая модель? Что такое асимптотическая модель? При каких допущениях можно построить асимптотическую модель? Перечислите характеристики сети, определяемые с помощью асимптотической модели? Что такое пропускная способность сети?

Как определить узел – «узкое» место? Что такое точка насыщения сети? Как определить точку насыщения сети в модели? Что происходит с точкой насыщения сети при изменениях в сети?

Опишите поведение сети и ее характеристик в режиме до и после насыщения. Как вычисляются коэффициенты передач для узлов СеМО? Как модель может использоваться для оценки модификаций системы, формирования плана модификаций?

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 6.

### Реализация имитационных моделей. Анализ системы

#### ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Реализация и оценка детальной имитационной модели заданной системы:

- а) изучение блоков языка GPSS, необходимых для описания стохастических сетевых моделей систем;
- б) описание на языке GPSS стохастической сетевой модели системы (результат работы № 2 «Разработка математических моделей»);
- в) реализация модели и оценка ее характеристик (адекватности, трудоемкости).  
Оценка (анализ и прогнозирование) свойств системы на имитационной модели:
  - а) расчет и анализ характеристик состояния системы;
  - б) прогнозирование характеристик системы.

#### ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ:

- а) параметры системы (в соответствии с заданным вариантом);
- б) GPSS-ориентированная ССМ системы (результат работы № 2 «Разработка математических моделей»);
- в) задания на исследование характеристик модели и характеристик системы.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Пособие [1]: § 8. Реализация и исследование имитационной модели. § 8.1. Реализация модели. § 8.2. Исследование свойств модели. § 8.2.1. Анализ стационарности функционирования.  
§ 9. Исследование свойств системы. § 9.1. Анализ исходного состояния. § 9.2. Анализ характеристик системы при росте интенсивностей потоков заявок. § 9.3. Анализ характеристик системы в замкнутом режиме функционирования. § 9.4. Исследование эффектов модификации.
2. Курс лекций по дисциплине «Моделирование систем» [2], [3-5].

#### ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ:

1. Реализовать имитационную модель системы. Здесь это означает описание ранее разработанной детальной GPSS-ориентированной стохастической сетевой модели на языке GPSS, отладку модели в системе GPSS World и расчет характеристик (см. § 8.1 [1]). Результаты: текст GPSS-модели; листинги отчетов.

2. Оценить свойства модели (см. § 8.2 [1]).

Указанный пункт может включать анализ следующих характеристик разработанной модели:

- стационарность модели на исходных данных;
- анализ переходного периода модели, его длительности;
- оценку зависимости точности моделирования от длительности моделирования, выбор длительности моделирования для обеспечения заданной точности;
- оценку корректности, адекватности модели, точности воспроизведения характеристик системы на модели;

- оценку чувствительности модели к изменениям ее параметров;
- анализ трудоемкости модели;
- анализ степени универсальности модели и другие характеристики.

2.1. Оценить адекватность модели на исходных данных (см. § 8.2 [1]). Результат представляется таблицей 19 «Погрешности вычисления характеристик (в сравнении с аналитической моделью)».

Таблица 19 – Погрешности вычисления характеристик

	Характеристика	АМ	ИМ			Погрешность АМ, %
		п_1	п_2	п		
Узел 1	$\rho_1$	0,2	0,05	0,07	0,116	72
	...	...	...	...	...	...
Система	L	0,48	0,00	0,00	0,00	-
	...	...	...	...	...	...

2.2. Оценить стационарность функционирования (см. § 8.2.1 [1]). Результат представляется таблицей 20 «Зависимость характеристик от длительности моделирования».

Таблица 20 – Зависимость характеристик от длительности моделирования

	Характеристика	50000 заявок	100000 заявок	Отклонения характеристик, %
Узел 1	...	...	...	...
Система	...	...	...	...

3. Исследовать свойства (характеристики) системы (см. § 9 [1]). Конкретный план исследований системы зависит от ее особенностей, целей и критериев функционирования и определяется совместно с преподавателем.

3.1. Анализ исходного состояния системы (см. § 9 [1]). Результат: выводы.

3.2. Прогнозирование характеристик системы при росте интенсивности потока заявок (см. § 9.2 [1]). Результаты:

- описание плана экспериментов (перечень контролируемых характеристик; перечень изменяемых факторов; уровни факторов – таблица 21, план изменения факторов);
- таблица 22 «Зависимость характеристик от изменения интенсивности входного потока»;
- графики зависимостей системных характеристик от изменения интенсивности входного потока;
- графики зависимостей узловых характеристик (состав узловых характеристик уточняется преподавателем) от интенсивности входного потока;
- выводы.

Таблица 21 – Наборы параметров законов поступления запросов

№	$\lambda_0$	$\lambda^{(1)}_0$	$\lambda^{(2)}_0$	$m^{(1)}_0$	$m^{(2)}_0$
1	0,005	0,002	0,003	$500 \pm 250$	$330 \pm 170$
...	...	...	...	...	...
8	10	4	6	$0,25 \pm 0,12$	$0,16 \pm 0,08$

Таблица 22 – Зависимость характеристик от интенсивности входного потока

	Характеристика	Значения характеристик							
		200	40	20	13,33	10	2	0,2	0,1
	время $t_{пл}$								
	$\lambda_0$	0,005	0,025	0,05	0,08	0,1	0,5	5	10
Узел 1	$\rho_1$	0,02	0,09	0,12	0,13	0,13	0,15	0,15	0,16
	...	...	...	...	...	...	...	...	...
Система	L	0	0	0	0,004	0,004	0,005	0,007	0,006
	...	...	...	...	...	...	...	...	...

3.3. Прогнозирование характеристик системы в замкнутом режиме функционирования (см. § 9.3 [1]). Результаты представляются следующим набором данных:

- рисунок схемы модели для замкнутого режима;
- текст GPSS-модели;
- описание плана экспериментов прогнозирования характеристик системы в зависимости от изменения числа обслуживаемых заявок  $M_0$  (перечень контролируемых характеристик; перечень изменяемых факторов; уровни факторов, план изменения факторов);
- графики зависимости пропускной способности сети от  $M_0$ ;
- другие материалы (при необходимости);
- выводы.

4. Исследование эффектов модификации системы (см. § 9.4 [1]).

Здесь исследуются эффекты изменений в системе, направленные на устранение «узких» мест, повышение сбалансированности системы, оптимизацию системы с учетом стоимости вносимых изменений и др. Это:

- добавление новых узлов, создание альтернативных маршрутов обработки заявок, резервирование узлов, повышение надежности функционирования и т.п.;
- замена устройств, изменение канальностей устройств и быстродействий каналов, подбор дисциплин обслуживания заявок и т.п.;
- замена емкостных узлов (памятей, накопителей), изменение их емкостей, режимов использования, дисциплин обслуживания заявок и т.п.;
- введение приоритетных дисциплин обслуживания заявок, подбор приоритетов заявок и т.п.;
- распараллеливание процессов обслуживания потоков заявок и заявок и др.

Выполняется оптимизация системы на модели. Для этого формулируются цели и критерии эффективности функционирования системы, принимаются проектные решения, анализируется их эффективность.

Индивидуальный план исследований системы на модели составляется и реализуется по согласованию с преподавателем. По каждому из экспериментов приводятся следующие отчетные материалы:

- описание плана экспериментов (перечень контролируемых характеристик; перечень изменяемых факторов; уровни факторов, план изменения факторов);
- схема GPSS-модели, текст модели, листинги отчетов (при необходимости);
- таблицы, диаграммы, графики (при необходимости);
- выводы по полученным результатам (изменениям характеристик), об эффективности рассмотренных решений по модификации системы.

## СОСТАВ ОТЧЕТА:

– исходные данные, перечень заданий по исследованию модели и модификации системы;

- описание этапов реализации модели;
- описание этапов исследования модели;
- полученные результаты (рисунки, таблицы, графики, выводы);
- описание этапов исследования системы;
- результаты анализа исходного состояния (рисунки, таблицы, графики, выводы).

Соответственно для каждого из экспериментов по исследованию свойств модели и системы приводятся: описание плана эксперимента; результаты (рисунки, таблицы, графики, выводы); тексты модели, листинги отчетов.

## СОСТАВ ГРАФИЧЕСКОГО МАТЕРИАЛА ОТЧЕТА

По разделу - исследование свойств модели:

- таблица. Характеристики системы (в сравнении с аналитической моделью);
- таблица. Зависимость характеристик от длительности моделирования.

По разделу - исследование свойств (характеристик) системы:

- таблица. Наборы параметров законов поступления запросов;
- таблица. Характеристики системы в зависимости от изменения интенсивности входного потока;

– графики. Зависимость системных характеристик от изменения интенсивности входного потока;

- графики. Зависимость узловых характеристик от интенсивности входного потока.

По разделу - прогнозирование характеристик системы (замкнутый режим):

- рисунок. Схема модели в замкнутом режиме функционирования;
- таблица. Зависимость характеристик системы от числа заявок;
- график. Зависимость пропускной способности сети от числа заявок;
- графики. Зависимости характеристик сети от числа заявок.

По разделу – исследование эффектов модификации системы:

- схемы, таблицы, рисунки, графики (при необходимости).



## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Муравьев, Г.Л. Моделирование систем. Курсовое проектирование: пособие для студентов очного и заочного обучения по специальности АСОИ / Г.Л. Муравьев, Ю.В. Савицкий, В.И. Хвещук. – Брест: БрГТУ, 2010. – 128 с.
2. Муравьев, Г.Л. Моделирование систем: курс лекций по дисциплине «Моделирование систем» для студентов специальностей «АСОИ», «ВМиС». – Брест: БГТУ, 2003. – 164 с.
3. Советов, Б.Я. Моделирование систем: учебник для вузов / Б.Я. Советов, С.А. Яковлев. – М.: Высшая школа, 2001. – 343 с.
4. Кудрявцев, Е.М. GPSS World. Основы имитационного моделирования различных систем. – М.: ДМК Пресс, 2004. – 320 с.
5. Томашевский, В.Н. Имитационное моделирование в GPSS. – М.: Бестселлер, 2003.

## СОДЕРЖАНИЕ

СОКРАЩЕНИЯ .....	3
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1. Разработка концептуальной модели .....	3
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2. Разработка математических моделей .....	6
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3. Реализация упрощенных моделей .....	9
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4. Исследование упрощенных моделей и системы на их основе.....	12
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 5. Оценка предельных характеристик системы .....	17
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 6. Реализация имитационных моделей. Анализ системы.....	21
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	25

Учебное издание

**Составители:**

Муравьев Геннадий Леонидович,

Мухов Сергей Владимирович

# Методические указания

к лабораторным работам по дисциплине «Моделирование систем»  
для студентов специальностей АСОИ и ВМСС  
дневной формы обучения

Ответственный за выпуск: Муравьев Г.Л.

Редактор: Боровикова Е.А.

Компьютерная вёрстка: Соколюк А.П.

Корректор: Никитчик Е.В.

---

Подписано к печати 23.05.2014 г. Формат 60x84 1/16. Гарнитура Times New Roman.  
Бумага Performer. Усл. п. л. 1,63. Уч. изд. 1,75. Заказ № 435. Тираж 50 экз.  
Отпечатано на ризографе учреждения образования «Брестский государственный  
технический университет». 224017, г. Брест, ул. Московская, 267.