

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ

«НОВОСИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Факультет автоматике и вычислительной техники
Заочный факультет

УТВЕРЖДАЮ

Декан АВТФ

профессор, д.т.н. Гужов Владимир Иванович

“ ___ ” _____ г.

УТВЕРЖДАЮ

Декан ЗФ

профессор, д.т.н. Темлякова Зоя Савельевна

“ ___ ” _____ г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Моделирование

ООП: специальность 230105.65 Программное обеспечение вычислительной техники и автоматизированных систем

Шифр по учебному плану: ДС.Ф.3

Факультет: заочный заочная форма обучения

Курс: 3 4, семестр: 6 7

Лекции: 14

Практические работы: - Лабораторные работы: 12

Курсовой проект: - Курсовая работа: - РГЗ: -

Самостоятельная работа: 214

Экзамен: - Зачет: 7

Всего: 240

Новосибирск

2011

Рабочая программа составлена на основании Государственного образовательного стандарта высшего профессионального образования по направлению (специальности): 654600 Информатика и вычислительная техника.(№ 224 тех/дс от 27.03.2000)

ДС.Ф.3, дисциплины федерального компонента

Рабочая программа обсуждена на заседании кафедры Вычислительной техники протокол № 1 от 28.01.2011

Программу разработал

доцент, к.т.н.

Альсова Ольга Константиновна

Заведующий кафедрой

профессор, д.т.н.

Губарев Василий Васильевич

Ответственный за основную образовательную программу

профессор, д.т.н.

Губарев Василий Васильевич

1. Внешние требования

Таблица 1.1

Шифр дисциплины	Содержание учебной дисциплины	Часы
ДС.Ф.3	<p>Концептуальная записка по направлению подготовки/специальности 230105.65, дисциплина "Моделирование"</p> <p>Дидактические единицы:</p> <p>Основные понятия, классификация видов моделирования</p> <p>Имитационное моделирование, математические методы ИМ</p> <p>Планирование имитационных экспериментов с моделями СМО</p> <p>Основы теории систем массового обслуживания (СМО)</p> <p>Статистическое моделирование, оценка точности и достоверности результатов моделирования</p> <p>Программные средства моделирования, языки моделирования</p> <p>Технология разработки имитационного проекта</p> <p>Выдержка из ГОС</p> <p>Рабочая программа составлена на основе ГОС ВПО по направлению 230100 по специальности 230101 (смежной)</p> <p style="text-align: center;">Шифр дис-циплины Моделирование Количество часов</p> <p style="text-align: center;">СД.02</p> <p>140</p> <p>Основные понятия теории моделирования; классификация видов моделирования. Средства моделирования и модели, применяемые в процессе проектирования вычислительных систем на разных стадиях детализации проекта. Имитационные модели; математические методы моделирования; планирование имитационных экспериментов с моделями; формализация и алгоритмизация процессов обработки информации; концептуальные модели; логическая</p>	240

	структура моделей; построение моделирующих алгоритмов; статистическое моделирование на ЭВМ; оценка точности и достоверности результатов моделирования; инструментальные средства; языки моделирования; анализ и интерпретация результатов моделирования на ЭВМ; моделирование систем информатики, вычислительных систем и сетей.	
--	--	--

2. Особенности (принципы) построения дисциплины

Таблица 2.1

Особенности (принципы) построения дисциплины

Особенность (принцип)	Содержание
Основания для введения дисциплины в учебный план по направлению или специальности	Решение Ученого Совета факультета АВТФ, протокол №3, 07.03.2006
Адресат курса	Студенты 3-4 курса, обучающиеся по специальности (направлению) 230105.65.
Основная цель (цели) дисциплины	1. Формирование целостного представления о типовых задачах моделирования систем, методах и средствах их решения. 2. Освоение технологии разработки, анализа и применения имитационных моделей систем.
Ядро дисциплины	Базовые определения и понятия теории моделирования, задачи и методы теории массового обслуживания, имитационного моделирования, статистического моделирования, основы планирования машинных экспериментов с моделями систем.
Связи с другими учебными дисциплинами основной образовательной программы	Дисциплина читается после курсов "Высшая математика", "Информатика", "Программирование", "Методы оптимизации", "Теория вероятностей и математическая статистика", учебный материал дисциплины используется в курсе "Интеллектуальный анализ данных".
Требования к первоначальному уровню подготовки обучающихся	Дисциплина читается после курсов "Высшая математика", "Информатика", "Программирование", "Методы оптимизации", "Теория вероятностей и математическая статистика" и рассчитана на студентов, владеющих: - основными приемами дифференцирования и интегрирования функций, методами решения систем линейных и дифференциальных уравнений; - основами алгоритмизации, приемами программирования на языке высокого уровня; - методами решения задач линейного программирования; - основными понятиями и методами теории вероятностей; - следующими разделами математической статистики: оценка основных выборочных характеристик; статистическая проверка гипотез; корреляционно-регрессионный анализ данных.
Особенности организации учебного процесса по	Курс имеет практическую часть (лабораторные занятия - 12 час, контрольная работа).

дисциплине	Лабораторные работы, КР выполняются по индивидуальному заданию. Оценка знаний и умений студентов проводится на основе балльно-рейтинговой системы.
------------	---

3. Цели учебной дисциплины

Таблица 3.1

После изучения дисциплины студент будет

иметь представление	
1	О видах моделирования систем, типовых задачах моделирования систем. О средствах моделирования и моделях, применяемые в процессе проектирования вычислительных систем на разных стадиях детализации проекта.
2	Об особенностях, областях и ограничениях использования методов аналитического моделирования, методов имитационного моделирования.
3	Об основных инструментальных средствах моделирования систем и направлениях их развития.
знать	
4	Основные определения и понятия теории моделирования, классификацию видов моделирования, основные подходы к созданию математических моделей системы.
5	Основные определения и понятия имитационного моделирования, основные принципы построения моделирующих алгоритмов.
6	Методы имитационного моделирования, основы планирования имитационных экспериментов.
7	Методы теории систем массового обслуживания.
уметь	
8	Применять принципы построения моделирующих алгоритмов при разработке имитационных моделей систем.
9	Имитировать случайные величины, случайные события, случайные векторы.
10	Моделировать разные типы СМО средствами GPSS.
11	Планировать и проводить машинный эксперимент с имитационной моделью системы.
12	Анализировать эффективность СМО на основе методов теории систем массового обслуживания и имитационного моделирования.
иметь опыт (владеть)	
13	Иметь опыт разработки имитационных проектов простых систем.
14	Владеть методами и средствами имитационного моделирования систем и планирования машинных экспериментов, методами теории систем массового обслуживания.

4. Содержание и структура учебной дисциплины

Лекционные занятия

Таблица 4.1

(Модуль), дидактическая единица, тема	Часы	Ссылки на цели
Семестр: 7		

Модуль: Введение. Основные понятия		
Дидактическая единица: Основные понятия, классификация видов моделирования.		
Основные определения и понятия теории моделирования систем	1	1, 4
Модуль: Инструментальные средства моделирования		
Дидактическая единица: Программные средства моделирования, языки моделирования.		
Обзор программных средств моделирования систем	1	10, 3
Модуль: Математические основы имитационного моделирования		
Дидактическая единица: Имитационное моделирование, математические основы ИМ.		
Методы генерации случайных чисел, случайных величин, случайных векторов, имитационное моделирование случайных событий	2	2, 5, 6
Модуль: Статистическое моделирование систем		
Дидактическая единица: Статистическое моделирование, оценка точности и достоверности результатов моделирования.		
Метод статистических испытаний, статистическая обработка результатов моделирования	2	2, 5, 6
Модуль: Элементы теории Марковских случайных процессов, применяемые при моделировании систем		
Дидактическая единица: Основы теории систем массового обслуживания (СМО).		
Потоки событий. Марковские случайные процессы	2	2, 4, 7
Модуль: Элементы теории массового обслуживания.		
Дидактическая единица: Основы теории систем массового обслуживания (СМО).		
Основные типы СМО, представление СМО в виде графа, расчет характеристик эффективности функционирования СМО	2	2, 4, 7
Модуль: Планирование машинных экспериментов с имитационными моделями СМО		
Дидактическая единица: Планирование имитационных экспериментов с моделями СМО.		
Основы планирования машинных экспериментов с моделями СМО	1	2, 6
Модуль: Формализация и алгоритмизация процесса функционирования системы. Технология разработки имитационного проекта		
Дидактическая единица: Технология разработки имитационного проекта		
Формализация и алгоритмизация процесса функционирования системы. Технология разработки имитационного проекта	1	1, 5, 6, 8

(Модуль), дидактическая единица, тема	Учебная деятельность	Часы	Ссылки на цели
Семестр: 7			
Модуль: Инструментальные средства моделирования			
Дидактическая единица: Программные средства моделирования, языки моделирования.			
Моделирование простейших систем средствами GPSS/World.	Изучает теоретический материал Выполняет лабораторную работу 2	4	10, 13, 14, 6, 8
Модуль: Математические основы имитационного моделирования			
Имитационное моделирование случайных величин и случайных векторов, обработка результатов моделирования.	Изучает теоретический материал Выполняет лабораторную работу	2	13, 9
Дидактическая единица: Имитационное моделирование, математические основы ИМ.			
Имитационное моделирование случайных событий.	Изучает теоретический материал Выполняет лабораторную работу	2	13, 9
Модуль: Элементы теории массового обслуживания.			
Дидактическая единица: Основы теории систем массового обслуживания (СМО).			
Моделирование систем массового обслуживания (СМО), описываемых процессами типа "гибель и размножение".	Изучает теоретический материал Выполняет лабораторную работу	4	13, 14, 7

5. Самостоятельная работа студентов

Семестр- 6, Индив. работа

Изучение теоретического материала с использованием рекомендованной литературы

Повторение учебного материала лекционных занятий

Решение, проработка, повторение основных типов задач, пройденных в течение семестра

Семестр- 6, Подготовка к занятиям

Изучение теоретического материала с использованием рекомендованной литературы

Семестр- 7, Подготовка к зачету

Изучение теоретического материала с использованием рекомендованной литературы
Повторение учебного материала лекционных занятий
Решение, проработка, повторение основных типов задач, пройденных в течение семестра
Всего 50 часов

Семестр- 7, Контрольные работы

Изучение теоретического материала с использованием рекомендованной литературы
Повторение учебного материала лекционных занятий
Решение, проработка, повторение основных типов задач, пройденных в течение семестра
Всего 100 часов

Семестр- 7, Индив. работа

Изучение теоретического материала с использованием рекомендованной литературы
Повторение учебного материала лекционных занятий
Решение, проработка, повторение основных типов задач, пройденных в течение семестра
Всего 14 часов

Семестр- 7, Подготовка к занятиям

Изучение теоретического материала с использованием рекомендованной литературы
Всего 50 часов

6. Правила аттестации студентов по учебной дисциплине
Правила аттестации студентов по учебной дисциплине
«Моделирование»

Для аттестации студентов по дисциплине используется балльно-рейтинговая система. Рейтинг студента по дисциплине определяется как сумма баллов за работу в семестре (текущий рейтинг) и баллов, полученных в результате итоговой аттестации (зачет).

В таблице приведено максимальное количество баллов, которое может набрать студент по видам учебной деятельности в течение семестра и диапазоны баллов, соответствующие минимальному и максимальному количеству баллов. Максимальная сумма баллов за семестр составляет 100 баллов (текущий рейтинг – 80 баллов, итоговая аттестация – 20 баллов).

Правила текущей аттестации:

1. В течение седьмого семестра необходимо представить и защитить 2 лабораторные работы, контрольную работу в сроки, установленные учебным графиком (см. таблицу).
2. К защите допускаются студенты, выполнившие лабораторные работы, КР в полном объеме (все задания согласно варианту) и оформившие отчет по работе в соответствии с требованиями.
3. На защите предлагается два теоретических вопроса и один практический вопрос (по ходу выполнения работы).
4. Максимальное количество баллов (17-20) выставляется, если студент полностью ответил на все вопросы, без серьезных замечаний и недочетов.
5. Количество баллов 13-16 выставляется, если студент полностью ответил на два вопроса из трех, причем один из вопросов – практический.
6. Минимальное количество баллов 10-12 выставляется, если студент ответил на два вопроса из трех частично, с серьезными замечаниями, недочетами.
7. Передача лабораторной работы, КР назначается, если студент не ориентируется в учебном материале, не может объяснить ход и результаты выполнения работы. В случае передачи работы происходит потеря баллов.

Правила итоговой аттестации:

1. К зачету допускаются студенты, сдавшие лабораторные работы, КР, и набравшие не менее 50% (40 баллов) по результатам текущего рейтинга.
2. Зачет проводится в письменном виде, предлагается две задачи и один теоретический вопрос (образец задания на зачет приведен).
3. Максимальное количество 17-20 баллов выставляется, если все задания выполнены полностью, без серьезных замечаний.
4. Количество баллов 13-16 выставляется, если успешно выполнены два задания из трех, причем один из отвеченных вопросов – теоретический.
5. Минимальное количество баллов 10-12 выставляется, если выполнены два задания из трех, но с серьезными ошибками, замечаниями, недочетами.

Таблица

№ п/п	Вид учебной работы (учебной)	Максимальное количество баллов	Диапазоны баллов	Срок представления и защиты (неделя семестра)
--------------	-------------------------------------	---------------------------------------	-------------------------	--

	деятельности)			
Шестой семестр:				
1.	Лабораторная работа №1	20	10-20	Зимняя сессия
2.	Лабораторная работа №2	20	10-20	Зимняя сессия
3.	Контрольная работа	40	10-20	16
Итого по текущему рейтингу:		80	40-80	
9.	Зачет	20	10-20	
Итого за седьмой семестр:		100	50-72 (удовл.) 73-87 (хор.) 88-100 (отл.)	

7. Список литературы

7.1 Основная литература

В печатном виде

1. Советов Б. Я. Моделирование систем. Практикум : учебник для вузов по направлениям подготовки дипломированных специалистов "Информатика и вычислительная техника" и "Информационные системы" / Б. Я. Советов, С. А. Яковлев. - М., 2005. - 294, [1] с. : ил. - Рекомендовано МО.
2. Советов Б. Я. Моделирование систем : учебник для вузов по направлениям подготовки дипломированных специалистов "Информатика и вычислительная техника" и "Информационные системы" / Б. Я. Советов, С. А. Яковлев. - М., 2007. - 342, [1] с. : ил. - Рекомендовано МО.
3. Альсова О. К. Моделирование [Электронный ресурс] : учебно-методический комплекс для 3-4 курсов АВТФ по направлению 230100 «Информатика и вычислительная техника» / Альсова О. К. ; Новосиб. гос. техн. ун-т. - Новосибирск, 2011. - 1 электрон. опт. диск (CD-ROM). - Загл. с тит. экрана.
4. Альсова О. К. Моделирование систем : учебное пособие / О. К. Альсова ; Новосиб. гос. техн. ун-т. - Новосибирск, 2007. - 71, [1] с. : ил.
5. Вентцель Е. С. Исследование операций. Задачи, принципы, методология / Е. С. Вентцель. - М., 2007. - 206, [2] с. : ил. - Рекомендовано МО.
6. Вентцель Е. С. Теория вероятностей и ее инженерные приложения : [учебное пособие для вузов] / Е. С. Вентцель, Л. А. Овчаров. - М., 2007. - 490, [1] с. : ил. - Рекомендовано МО.
7. Казанская О. В. Модели и методы линейной и векторной оптимизации : учебное пособие / О. В. Казанская, С. Г. Юн, О. К. Альсова ; Новосиб. гос. техн. ун-т. - Новосибирск, 2007. - 190, [1] с. : ил., табл.

В электронном виде

1. Альсова О. К. Моделирование систем : учебное пособие / О. К. Альсова ; Новосиб. гос. техн. ун-т. - Новосибирск, 2007. - 71, [1] с. : ил.. - Режим доступа: http://www.ciu.nstu.ru/fulltext/textbooks/2007/07_Alsova.rar
2. Альсова О. К. Моделирование [Электронный ресурс] : электронный учебно-методический комплекс / О. К. Альсова ; Новосиб. гос. техн. ун-т. - Новосибирск, [2010]. - Режим доступа: <http://courses.edu.nstu.ru/index.php?show=155&curs=227>. - Загл. с экрана.
3. Казанская О. В. Методы оптимизации и теория принятия решений [Электронный ресурс]. Ч. 1 : электронный учебно-методический комплекс / О. В. Казанская, О. К. Альсова, С. Г. Юн ; Новосиб. гос. техн. ун-т. - Новосибирск, [2010]. - Режим доступа: <http://courses.edu.nstu.ru/index.php?show=155&curs=17>. - Загл. с экрана.
4. Казанская О. В. Модели и методы линейной и векторной оптимизации : учебное пособие / О. В. Казанская, С. Г. Юн, О. К. Альсова ; Новосиб. гос. техн. ун-т. - Новосибирск, 2007. - 190, [1] с. : ил., табл.. - Режим доступа: <http://www.ciu.nstu.ru/fulltext/textbooks/2007/kasanskaya.pdf>. - Инновационная образовательная программа НГТУ "Высокие технологии".

7.2 Дополнительная литература

В печатном виде

1. Боровиков В. П. STATISTICA: искусство анализа данных на компьютере : Для профессионалов. - СПб., 2001. - 650 с. : ил.. - В прилож.: CD-ROM.

2. Советов Б. Я. Моделирование систем : учебник для вузов по напр. "Информатика и вычисл. техника", "Информац. системы" / Б. Я. Советов, С. А. Яковлев. - М., 2001. - 343 с. : ил. - Рекомендовано МО.
3. Боев В. Д. Моделирование систем. Инструментальные средства GPSS WORLD : [учебное пособие] / Василий Боев. - СПб., 2004. - VIII, 348 с. : ил.
4. Советов Б. Я. Моделирование систем : учебник для вузов по направлениям "Информатика и вычислительная техника", "Информационные системы" / Б. Я. Советов, С. А. Яковлев. - М., 2005. - 342, [1] с. : ил. - Рекомендовано МО.

8. Методическое и программное обеспечение

8.1 Методическое обеспечение

В печатном виде

1. Моделирование систем. Ч. 1 : методические указания к лабораторным работам по дисциплине "Моделирование" для 3-4 курсов АВТФ / Новосиб. гос. техн. ун-т ; [сост. О. К. Альсова]. - Новосибирск, 2006. - 66, [1] с. : ил.
2. Моделирование систем. Ч. 2 : методические указания к лабораторным работам по дисциплине "Моделирование" для 3-4 курсов АВТФ / Новосиб. гос. техн. ун-т ; [сост. О. К. Альсова, О. В. Казанская]. - Новосибирск, 2007. - 32, [3] с. : ил., табл.

В электронном виде

1. Моделирование систем. Ч. 1 : методические указания к лабораторным работам по дисциплине "Моделирование" для 3-4 курсов АВТФ / Новосиб. гос. техн. ун-т ; [сост. О. К. Альсова]. - Новосибирск, 2006. - 66, [1] с. : ил.. - Режим доступа:
<http://www.library.nstu.ru/fulltext/metodics/2006/3188.rar>

8.2 Программное обеспечение

1. ARTECH, Arena, Создание 3-d анимации
4. Imagine That, ExtendSim , Ограниченная версия ExtendSim 7
3. Microsoft, Office XP, Офисный пакет приложений
2. Microsoft, Windows , ОС для применения на серверах
6. Minuteman Software, GPSS World , среда компьютерного моделирования общего назначения
5. Statsoft, Statsoft STATISTICA , универсальное средство анализа данных

**9. Контролирующие материалы для аттестации студентов по дисциплине
БИЛЕТ 1.**

1. В парикмахерской работают пять парикмахеров в смену. Приходят клиенты двух типов. Клиенты первого типа только стригутся, их обслуживает два парикмахера. Распределение интервалов времени прихода клиентов – 25-45 мин. (закон равномерный). Клиенты второго типа стригутся и бреются, их обслуживает три оставшихся парикмахера. Распределение интервалов времени их прихода – 40-80 мин. (закон равномерный). Время, затраченное на стрижку, составляет в среднем 12 мин. (закон экспоненциальный); на бритье – 8 мин. (закон экспоненциальный). Соберите статистику об очередях каждого типа клиентов. Постройте частотное распределение времени обслуживания клиентов второго типа. Смоделируйте работу парикмахерской в течение одной смены (4 часа). Напишите программу моделирования на GPSS.

2. Двое рабочих обслуживают 3 установки. Интенсивность отказа одной установки равна $\lambda=5$. Интенсивность обслуживания одним рабочим $\mu=6$. Вероятность устранить неисправность составляет $4/5$. Построить размеченный граф состояний системы. Какова вероятность простоя рабочих, вероятность простоя одного рабочего, вероятность отказа всех установок, средняя длина очереди? Оцените эффективность СМО.

3. Математические основы имитационного моделирования. Методы генерации случайных чисел: аппаратный, табличный, программный.

БИЛЕТ 2.

1. В магазине работают четыре продавца. Интенсивность работы первого продавца по обслуживанию покупателя – 0,1 (1/мин.), интенсивность работы второго продавца - 0,5 (1/мин.), интенсивность работы третьего и четвертого продавцов - 0,6 (1/мин.) (закон распределения экспоненциальный). Продавцы обслуживают покупателей равновероятно. Покупатели заходят в магазин каждые 1-2 минуты (закон равномерный). Одновременно в магазине может находиться не более 15 покупателей. Смоделируйте обслуживание 100 покупателей. Соберите статистику об очереди ко второму продавцу. Постройте частотное распределение времени пребывания покупателя в магазине. Напишите программу моделирования на GPSS.

2. В трехканальную СМО с отказами поступает простейший поток с плотностью $\lambda = 0,2$ с-1. Интервал времени обслуживания $T_{об.}$ распределен по показательному закону, математическое ожидание $M [T_{об.}] = 3$ с. Построить размеченный граф состояний системы. Вычислить вероятность отказа, среднее число занятых каналов в системе, среднее время пребывания заявки в системе, вероятность простоя системы. Оценить эффективность СМО.

3. Имитационное моделирование (ИМ). Области использования и достоинства ИМ. Проблемы ИМ.

БИЛЕТ 3.

1. В универсам приходят покупатели с интенсивностью 4 (1/мин.). В универсаме работают три кассы. Интенсивность обслуживания первым кассиром составляет – 0.2 (1/мин.) (закон экспоненциальный), интенсивность обслуживания вторым кассиром – 0.25 (1/мин.), интенсивность обслуживания третьим кассиром – 0.1 (1/мин.). Покупатель становится в очередь в ту кассу, где меньше очередь. Смоделируйте обслуживание 100 покупателей. Постройте частотное распределение времени обслуживания покупателей в магазине. Напишите программу моделирования на GPSS.
2. В двухканальную СМО поступает поток задач с интенсивностью $\lambda = 2 \text{ мин}^{-1}$. Математическое ожидание времени обслуживания $M [T \text{ обл}] = 0,25 \text{ мин}$. Допустимая длина очереди 2. Построить размеченный граф состояний системы. Рассчитать вероятность отказа, среднее число заявок в очереди, среднее время ожидания в очереди. Оценить эффективность СМО.
3. Основные методы моделирования. Классификация видов моделирования.

БИЛЕТ 4.

1. На фабрике работают два кладовщика, которые выдают запасные части механикам. Запросы на запасные части бывают двух категорий. Запросы первой категории имеют приоритет в обслуживании. Запрос первого типа выполняет один кладовщик (любой), второго типа – оба кладовщика. Одновременно может быть принято только 3 запроса. Исходные данные приведены в таблице. Все потоки, протекающие в системе – Пуассоновские.

Категория запроса	Среднее время между приходами механиков, с	Среднее время обслуживания, с
1	520	400
2	460	200

Смоделируйте обслуживание 100 запросов. Постройте частотное распределение времени обслуживания запросов второго типа. Напишите программу моделирования на GPSS.

2. В двухканальную СМО поступает поток задач с интенсивностью $\lambda = 2$ мин⁻¹. Математическое ожидание времени обслуживания $M [T_{\text{обсл}}] = 0,25$ мин. Допустимая длина очереди 2. При увеличении длины очереди растет интенсивность обслуживания заявки. Если в очереди одна заявка, то интенсивность обслуживания составляет 0,2 мин., если 2 заявки – 0,15 мин. Построить размеченный граф состояний системы. Рассчитать вероятность отказа, среднее число заявок в очереди, среднее время ожидания в очереди. Рассчитайте характеристики СМО. Оцените эффективность СМО.

3. Потоки событий. Математическая модель потока событий. Математическая модель простейшего пуассоновского потока. Свойства простейшего пуассоновского потока: ординарность, отсутствие последствия, стационарность.

БИЛЕТ 5.

1. Изготовление деталей определенного вида включает процесс сборки и период обжига в печи. Пять сборщиков используют две печи, в которых одновременно может обжигаться две детали. Сборщик не может начать новую сборку, пока не вытащил из печи предыдущую деталь. Сборка детали занимает 35-45 мин. (закон равномерный), обжиг 8-12 мин. (закон равномерный). Время извлечения детали из печи составляет в среднем 5 мин. (закон экспоненциальный). Промоделируйте работу системы на протяжении рабочего дня (8 часов). Соберите статистическую информацию о длине очереди к печи. Напишите программу моделирования на GPSS.

2. В трехканальную СМО без потерь поступает простейший поток требований интенсивностью $\lambda = 15 \text{ мин}^{-1}$. Обслуживание каждым каналом является простейшим потоком заявок интенсивностью $\mu = 20 \text{ мин}^{-1}$. Построить размеченный граф состояний системы. Вычислить среднее число занятых каналов, среднее число требований к системе, среднее время пребывания требования в очереди, вероятность простоя.

3. Моделирование СМО, в которых протекают марковские процессы с дискретным состоянием и дискретным временем. Нахождение вероятностей состояний системы на K -ом шаге (на примере). Условия существования стационарного режима.

БИЛЕТ 6.

1. Морские суда приходят в порт, где происходит их разгрузка. В порту есть два буксира, обеспечивающие ввод и вывод кораблей из порта. Корабли требуют использования одного буксира и одного причала. Исходные данные приведены в таблице. Корабль, ожидающий освобождения причала, не обслуживается буксиром до тех пор, пока не будет предоставлен нужный причал. Смоделируйте работу системы в течение 8 часов. Напишите программу моделирования на GPSS.

Параметры	Значения
Интервал прибытия, мин.	100-160
Время входа в порт, мин.	23-37
Количество доступных причалов	6
Время погрузки-разгрузки, мин.	10-14
Время выхода из порта, мин.	15-25

2. Трое рабочих обслуживают 4 установки. Интенсивность отказа одной установки равна $\lambda=3$. Интенсивность обслуживания одним рабочим $\mu=6$. Вероятность устранить неисправность составляет $2/3$. Построить размеченный граф состояний системы. Какова вероятность простоя рабочих, вероятность простоя одного рабочего, вероятность отказа всех установок, средняя длина очереди? Оцените эффективность СМО.

3. Основные определения и понятия теории моделирования.

БИЛЕТ 7.

1. В магазине работают пять продавцов. Интенсивность работы первого продавца по обслуживанию покупателя – 0,4 (1/мин.), интенсивность работы второго продавца - 0,3 (1/мин.), интенсивность работы третьего и четвертого, пятого продавцов - 0,8 (1/мин.) (закон экспоненциальный). Если свободны все продавцы, то покупателя обслуживает первый, если первый занят, а все остальные свободны, то второй и т.д. Покупатели заходят в магазин каждые 1-5 минуты (закон равномерный). Одновременно в магазине может находиться не более 20 покупателей. Смоделируйте обслуживание 100 покупателей. Соберите статистику об очереди ко второму продавцу. Постройте частотное распределение времени пребывания покупателя в магазине. Напишите программу моделирования на GPSS.
2. В трехканальную систему без отказов поступает простейший поток заявок интенсивностью $\lambda = 3$ мин⁻¹. Обслуживание каждым каналом представляет поток заявок интенсивностью $\mu = 4$ мин⁻¹. Построить размеченный граф состояний системы. Вычислить среднее время пребывания требования в системе, среднее время пребывания в очереди, вероятность простоя системы. Оценить эффективность СМО.
3. Моделирование СМО, в которых протекают марковские процессы с дискретным состоянием и непрерывным временем. Нахождение вероятностей состояний системы в момент времени t . Вывод уравнений Колмогорова (на примере).

БИЛЕТ 8.

1. Изготовление деталей определенного вида включает процесс сборки и период обжига в печи. Шесть сборщиков используют две печи, в каждой печи одновременно может обжигаться две детали. Печи используются равновероятно. Сборщик не может начать новую сборку, пока не вытащил из печи предыдущую деталь. Сборка детали занимает 30-40 мин. (закон равномерный), обжиг 10-12 мин. (закон равномерный). Время извлечения детали из печи составляет в среднем 6 мин. (закон экспоненциальный). Промоделируйте работу системы на протяжении рабочего дня (8 часов). Соберите статистическую информацию о длине очереди к первой печи. Напишите программу моделирования на GPSS.
2. Трое рабочих обслуживают 4 установки. Интенсивность отказа одной установки равна $\lambda=2$. Интенсивность обслуживания одним рабочим $\mu=6$. Вероятность устранить неисправность составляет $2/3$. Построить размеченный граф состояний системы. Какова вероятность простоя рабочих, вероятность простоя одного рабочего, вероятность отказа всех установок, средняя длина очереди? Оцените эффективность СМО.
3. Основные принципы имитационного моделирования. Принцип Δt и особых состояний δZ .

БИЛЕТ 9.

1. Роботизированная производственная система состоит из станков с числовым программным управлением, роботов, пункта прибытия деталей и склада обработанной продукции. Детали прибывают на пункт прибытия в соответствии с экспоненциальным законом распределения со средним значением t_0 секунд, захватываются равновероятно одним из свободных роботов P1 или P2 и передаются станку для обработки, далее захватываются равновероятно одним из роботов P3 или P4 и передаются на склад обработанных деталей. Время обработки на станке подчиняется нормальному закону распределения со средним значением t_5 секунд и имеет СКО – t_6 секунд. Время захвата и передачи деталей роботами P1, P2, P3, P4 распределено равномерно и составляет соответственно t_1, t_2, t_3, t_4 секунд. Все данные приведены в таблице.

Промоделируйте работу системы на протяжении рабочего дня (8 часов). Напишите программу моделирования на GPSS.

Таблица.

t_0	t_1	t_2	t_3	t_4	t_5	t_6
400	400-600	500-700	600-800	500-900	320	20

2. В двухканальную СМО поступает поток задач с интенсивностью $\lambda = 2$ мин⁻¹. Математическое ожидание времени обслуживания $M [T \text{ обл}] = 0,25$ мин. Допустимая длина очереди 1. Построить размеченный граф состояний системы. Рассчитать вероятность отказа, среднее число заявок в очереди, среднее время ожидания в очереди. Оцените эффективность СМО.

3. Имитационное моделирование событий: имитация простого события; имитация сложного события, состоящего из независимых событий; имитация сложного события, состоящего из зависимых событий; имитация полной группы событий.

БИЛЕТ 10.

1. В парикмахерской работают четыре парикмахера в смену. Приходят клиенты двух типов. Клиенты первого типа только стригутся, их обслуживает два парикмахера. Распределение интервалов времени прихода клиентов – 20-40 мин. (закон равномерный). Клиенты второго типа стригутся и бреются, их обслуживает два оставшихся парикмахера. Распределение интервалов времени их прихода – 20-30 мин. (закон равномерный). Время, затраченное на стрижку, составляет в среднем 15 мин. (закон экспоненциальный); на бритье – 9 мин. (закон экспоненциальный). Соберите статистику об очередях каждого типа клиентов. Постройте частотное распределение времени обслуживания клиентов первого типа. Смоделируйте работу парикмахерской по обслуживанию 100 клиентов двух типов. Напишите программу моделирования на GPSS.

2. В двухканальную СМО поступает поток задач с интенсивностью $\lambda = 2$ мин⁻¹. Математическое ожидание времени обслуживания $M [T_{\text{обсл}}] = 0,25$ мин. Допустимая длина очереди 1. Если в очереди одна заявка, то интенсивность обслуживания составляет 0,2 мин⁻¹. Построить размеченный граф состояний системы. Рассчитать вероятность отказа, среднее число заявок в очереди, среднее время ожидания в очереди. Оцените эффективность СМО.

3. Математическая модель системы. Подходы к построению моделей систем. Примеры.

БИЛЕТ 11.

1. Требования читателей на получение книг в библиотеке поступают в соответствии с экспоненциальным законом распределения со средним t_0 секунд. С вероятностью 0,5 приходят требования на научную литературу; с вероятностью 0,2 – на художественную литературу; с вероятностью 0,3 – на периодические издания. Соответственно типу запросы направляются в отделы научной, художественной, периодической литературы. Время поиска книг в отделах распределено равномерно с t_1, t_2, t_3 секунд. Затем заказанная литература приходит в отдел выдачи литературы, время выдачи распределено равномерно с t_4 секунд. Все данные приведены в таблице.

Смоделируйте работу библиотеки по обслуживанию 100 читателей. Постройте частотное распределение времени нахождения в библиотеке читателя, отправившего запрос на художественную литературу. Напишите программу моделирования на GPSS.

Таблица.

t_0	t_1	t_2	t_3	t_4
100	120-240	360-480	180-300	60-120

2. Трое рабочих обслуживают 4 установки. Интенсивность отказа одной установки равна $\lambda=1$. Интенсивность обслуживания одним рабочим $\mu=6$. Вероятность устранить неисправность составляет $2/3$. Построить размеченный граф состояний системы. Какова вероятность простоя рабочих, вероятность простоя одного рабочего, вероятность отказа всех установок, средняя длина очереди? Оцените эффективность СМО.

3. Моделирование значений СВ с заданным законом распределения: метод обратной функции.

БИЛЕТ 12.

1. На вычислительном центре в обработку принимаются три класса заданий А, В и С. Исходя из наличия оперативной памяти компьютера задания классов А и В могут решаться одновременно, а задания класса С монополизируют компьютер. Задания класса А поступают в среднем через 20 с (закон распределения экспоненциальный), класса В — через 20 ± 10 с и класса С — через 30 ± 10 с и требуют для выполнения: класс А — 20 ± 5 с, класс В — 21 ± 3 с и класс С — 28 ± 2 с. Задачи класса С загружаются в компьютер, если он полностью свободен. Задачи классов А и В могут дозагружаться к решаемой задаче. Очереди заданий не ограничены.

Смоделировать работу компьютера за 15 ч. Определите характеристики очереди заданий классов А, В, С. Напишите программу моделирования на GPSS.

2. В двухканальную СМО поступает поток задач с интенсивностью 2 . Математическое ожидание времени обслуживания 0,25 мин. Допустимая длина очереди 3. Построить размеченный граф состояний системы. Рассчитать аналитически вероятность отказа, среднее число заявок в очереди, среднее время ожидания в очереди. Оценить эффективность СМО.

3. Моделирование значений СВ с заданным законом распределения: метод Неймана.

БИЛЕТ 13.

1. Вычислительная система состоит из трех компьютеров. Задания на обработку поступают в среднем с интервалом 8 с. (закон распределения экспоненциальный) и одна треть заданий обрабатываются только первым компьютером. Две трети проходят сначала обработку на первом компьютере, затем обработку последовательно на втором и на третьем компьютере. Допустимая очередь заданий перед первым компьютером равна четырем. Обработка на первом компьютере занимает в среднем 8 ± 2 с., а на втором и третьем компьютере — 17 с. Напишите программу моделирования на GPSS.

2. В двухканальную СМО поступает поток задач с интенсивностью $\lambda = 2$ мин⁻¹. Математическое ожидание времени обслуживания $M [T_{\text{обсл}}] = 0,25$ мин. Допустимая длина очереди 3. При увеличении длины очереди растет интенсивность обслуживания заявки. Если в очереди одна заявка, то интенсивность обслуживания составляет 0,2 мин., если 2-3 заявки — 0,15 мин. Построить размеченный граф состояний системы. Рассчитать вероятность отказа, среднее число заявок в очереди, среднее время ожидания в очереди. Рассчитайте характеристики СМО. Оцените эффективность СМО.

3. Моделирование значений СВ с заданным законом распределения: метод кусочной аппроксимации функции плотности распределения вероятностей СВ.

БИЛЕТ 14.

1. Изготовление деталей определенного вида включает процесс сборки и период обжига в печи. Пять сборщиков используют две печи, в каждой печи одновременно может обжигаться одна деталь. Печи используются равновероятно. Сборщик не может начать новую сборку, пока не вытащил из печи предыдущую деталь. Сборка детали занимает 30-40 мин. (закон равномерный), обжиг 10-12 мин. (закон равномерный). Время извлечения детали из печи составляет в среднем 6 мин. (закон экспоненциальный). Промоделируйте работу системы на протяжении рабочего дня (8 часов). Соберите статистическую информацию о длине очереди к первой печи. Напишите программу моделирования на GPSS.

2. В трехканальную СМО с отказами поступает простейший поток с плотностью $\lambda = 0,2 \text{ с}^{-1}$. Интервал времени обслуживания $T_{об.}$ распределен по показательному закону, математическое ожидание $M [T_{об.}] = 3 \text{ с}$. Построить размеченный граф состояний системы. Вычислить вероятность отказа, среднее число занятых каналов в системе, среднее время пребывания заявки в системе, вероятность простоя системы. Оцените эффективность СМО.

3. Обработка результатов моделирования: оценка основных числовых характеристик; оценка функциональных характеристик распределения.

БИЛЕТ 15.

1. В магазине работают три продавца. Интенсивность работы первого продавца по обслуживанию покупателя – 0,1 (1/мин.), интенсивность работы второго продавца - 0,5 (1/мин.), интенсивность работы третьего продавца - 0,6 (1/мин.). Продавцы обслуживают покупателей равновероятно. Покупатели заходят в магазин каждые 2-3 минуты (закон равномерный). Одновременно в магазине может находиться не более 20 покупателей. Смоделируйте работу магазина в течение 10 часов. Соберите статистику об очереди к первому продавцу. Постройте частотное распределение времени пребывания покупателя в магазине. Напишите программу моделирования на GPSS.

2. В трехканальную СМО с отказами поступает простейший поток с плотностью $\lambda = 4$. Интервал времени обслуживания $T_{об.}$ распределен по показательному закону, математическое ожидание $M [T_{об.}] = 1/2$ с. В системе введена взаимопомощь. Построить размеченный граф состояний системы. Вычислить вероятность отказа, среднее число занятых каналов в системе, среднее время пребывания заявки в системе, вероятность простоя системы. Оцените эффективность СМО.

3. Потoki событий. Математическая модель потока событий. Потoki Пальма. Потoki Эрланга K -го порядка. Их свойства. Имитационное моделирование потоков событий.

БИЛЕТ 16.

1. На фабрике работают два кладовщика, которые выдают запасные части механикам. Запросы на запасные части бывают двух категорий. Запросы первой категории имеют приоритет в обслуживании. Запрос первого типа выполняет один кладовщик (любой), второго типа – оба кладовщика. Одновременно может быть принято только 6 запросов. Исходные данные приведены в таблице. Все потоки, протекающие в системе – Пуассоновские.

Категория запроса	Среднее время между приходами механиков, с	Среднее время обслуживания, с
1	120	400
2	360	200

Смоделируйте обслуживание 100 запросов. Постройте частотное распределение времени обслуживания запросов второго типа. Напишите программу моделирования на GPSS.

2. Один рабочий обслуживает 3 установки. Интенсивность отказа одной установки равна $\lambda=2$. Интенсивность обслуживания одним рабочим $\mu=6$. Вероятность устранить неисправность составляет $2/3$. Построить размеченный граф состояний системы. Какова вероятность простоя рабочих, вероятность простоя одного рабочего, вероятность отказа всех установок, средняя длина очереди? Оцените эффективность СМО.

3. Процессы «гибели» и «размножения». Основные типы СМО, в которых протекают процессы «гибели» и «размножения». Построение размеченного графа состояний.

БИЛЕТ 17.

1. Роботизированная производственная система состоит из станков с числовым программным управлением, роботов, пункта прибытия деталей и склада обработанной продукции. Детали прибывают на пункт прибытия в соответствии с экспоненциальным законом распределения со средним значением t_0 секунд, захватываются равновероятно одним из свободных роботов P1 или P2 и передаются станку для обработки, далее захватываются последовательно роботами P3 и P4 и передаются на склад обработанных деталей. Время обработки на станке подчиняется нормальному закону распределения со средним значением t_5 секунд и имеет СКО – t_6 секунд. Время захвата и передачи деталей роботами P1, P2, P3, P4 распределено равномерно и составляет соответственно t_1, t_2, t_3, t_4 секунд. Все данные приведены в таблице.

Промоделируйте работу системы на протяжении рабочего дня (8 часов). Напишите программу моделирования на GPSS.

Таблица.

t_0	t_1	t_2	t_3	t_4	t_5	t_6
400	400-600	500-700	600-800	500-900	320	20

2. Один рабочий обслуживает 3 установки. Интенсивность отказа одной установки равна $\lambda=2$. Интенсивность обслуживания одним рабочим $\mu=6$. Построить размеченный граф состояний системы. Какова вероятность простоя рабочих, вероятность простоя одного рабочего, вероятность отказа всех установок, средняя длина очереди? Оцените эффективность СМО.

3. Алгоритмы генерации СЧ: метод серединных квадратов, мультипликативный метод, смешанный метод.

БИЛЕТ 1.	БИЛЕТ 2.
БИЛЕТ 3.	БИЛЕТ 4.
БИЛЕТ 5.	БИЛЕТ 6.
БИЛЕТ 7.	БИЛЕТ 8.
БИЛЕТ 9.	БИЛЕТ 10.
БИЛЕТ 11.	БИЛЕТ 12.

БИЛЕТ 13.	БИЛЕТ 14.
БИЛЕТ 15.	БИЛЕТ 16.
БИЛЕТ 17.	

Информационное письмо для студентов ЗАО АВТФ по курсу «Моделирование систем»

1. Основные темы, изучаемые в рамках курса «Моделирование систем»

Тема 1. Введение. Теория моделирования.

Основные определения и понятия: моделирование, модель, система. Классический и системный подходы к построению модели объекта (системы). Примеры. Классификация видов моделирования *по характеру изучаемых процессов в системе*: детерминированное и стохастическое; статическое и динамическое; дискретное и непрерывное; *по форме представления объекта моделирования*: реальное (натурное, физическое) и мысленное (образное, знаковое). Понятия: математическое моделирование, математическая модель. Основные виды и методы математического моделирования: аналитическое (аналитические и численные методы); имитационное (метод статистического моделирования); комбинированное. Постановка задачи математического моделирования динамической системы. Основные подходы к созданию математической модели системы: непрерывно-детерминированный, дискретно-детерминированный, дискретно-стохастический, непрерывно-стохастический. Примеры. [2, 4, 8, 12, 15]

Тема 2. Введение в имитационное моделирование систем.

Определение; области использования; достоинства и недостатки; примеры задач. Основные проблемы имитационного моделирования: нахождение компромисса между сложностью и точностью модели; оценка качества модели; генерация случайных воздействий.

Основные принципы построения имитационных моделей: принцип Δt и особых состояний δZ . [2, 4, 12, 15]

Тема 3. Математические основы имитационного моделирования. Методы генерации случайных чисел (СЧ): аппаратный, табличный, программный. Требования к генератору СЧ. Особенности формирования равномерно распределенных СЧ на компьютере. Программные методы генерации СЧ: метод серединных квадратов; конгруэнтные процедуры. Их достоинства и недостатки.

Имитационные методы моделирования случайных величин (СВ): метод Неймана; метод обратной функции; приближенный универсальный метод, основанный на кусочной аппроксимации функции плотности распределения вероятностей; приближенный метод генерации нормально распределенной СВ. Достоинства и недостатки методов. Примеры задач.

Имитационное моделирование случайных событий. Имитация простого события; имитация сложного события, состоящего из независимых элементарных событий; имитация сложного события, состоящего из зависимых элементарных событий; имитация полной группы событий. Примеры задач. [2, 4, 12, 15]

Тема 4. Статистическое моделирование систем. Метод статистических испытаний, статистическая обработка результатов моделирования: оценка функциональных характеристик результатов моделирования (выборочных данных); проверка гипотез о согласии теоретического и эмпирического распределения выборочных данных на основе критериев согласия; определение объема выборки, необходимого для оценки числовых характеристик с заданной точностью.

Теоретическая основа метода статистических испытаний. Предельные теоремы теории вероятностей, центральная предельная теорема. [2, 3, 6, 12]

Тема 5. Элементы теории Марковских случайных процессов, применяемые при моделировании систем.

Потоки событий. Математическая модель потока событий. Математическая модель простейшего пуассоновского потока. Свойства простейшего пуассоновского потока:

ординарность; стационарность; отсутствие последствия. Потоки с ограниченным последствием. Потоки Пальма. Потоки Эрланга, их свойства и применение.

Понятие случайного процесса. Понятие Марковского случайного процесса.

Марковский случайный процесс с дискретными состояниями и дискретным временем (дискретная цепь Маркова).

Марковский случайный процесс с дискретными состояниями и непрерывным временем (непрерывные цепи Маркова). Модель перехода системы из состояния в состояние (размеченный граф состояний). Нахождение вероятностей состояний системы в момент времени t на основе системы дифференциальных уравнений Колмогорова. Стационарный режим для непрерывной цепи Маркова. Условия существования стационарного режима. Предельные вероятности состояний. Нахождение предельных вероятностей состояний на основе системы линейных уравнений Колмогорова. Примеры.

Марковский случайный процесс «гибели и размножения». Построение размеченного графа состояний. Примеры. [2, 5, 13]

Тема 6. Элементы теории массового обслуживания

Понятие системы массового обслуживания (СМО). Основные задачи теории СМО. Классификация СМО: разомкнутые и замкнутые; по длине очереди; по механизму обслуживания; по приоритету заявок. Примеры.

Типы СМО, в которых протекает Марковский случайный процесс «гибели и размножения»: многоканальные и одноканальные разомкнутые СМО без потерь; многоканальные и одноканальные разомкнутые СМО с отказами; многоканальные и одноканальные замкнутые СМО без потерь.

Многоканальные и одноканальные разомкнутые СМО без потерь. Построение размеченного графа состояний. Нахождение предельных вероятностей состояний. Расчет основных характеристик СМО. Имитационное моделирование СМО.

Многоканальные и одноканальные разомкнутые СМО с отказами. Построение размеченного графа состояний. Нахождение предельных вероятностей состояний. Расчет основных характеристик СМО. Имитационное моделирование СМО.

Многоканальные и одноканальные замкнутые СМО без потерь. Построение размеченного графа состояний. Нахождение предельных вероятностей состояний. Расчет основных характеристик СМО. Имитационное моделирование СМО.

СМО с «взаимопомощью» между каналами. Построение размеченного графа состояний. Нахождение предельных вероятностей состояний. Расчет основных характеристик СМО. Имитационное моделирование СМО.

СМО с ошибками в обслуживании. Построение размеченного графа состояний. Нахождение предельных вероятностей состояний. Расчет основных характеристик СМО. Имитационное моделирование СМО. [2, 4, 5, 9, 12]

Тема 7. Инструментальные средства моделирования. Обзор программных средств моделирования: языки программирования общего пользования (Pascal, C, C++); пакеты прикладных программ (MathCad, MathLab, SAS, Statistica); языки имитационного моделирования (GPSS, SIMSCRIPT); визуальные средства моделирования (ARENA); программные комплексы, специализирующиеся на моделировании узкого круга систем одной конкретной предметной области. Достоинства и недостатки использования разных программных средств моделирования.

Технология разработки имитационной модели. Основные этапы.

Принципы организации системы моделирования GPSS. Введение в систему моделирования GPSS. Основные объекты языка моделирования GPSS: транзакты; блоки; списки; устройства; очереди; таблицы; функции и переменные. Формат описания блоков и операторов GPSS. Стандартные числовые атрибуты. Примеры простейших программ. [1, 10, 11, 14, 16, 17].

2. Контрольная работа

Моделирование систем массового обслуживания, описываемых случайным процессом «гибели и размножения»

Цель контрольной работы:

- изучить методы аналитического и имитационного моделирования систем в приложении к решению конкретной задачи;
- сравнить эффективность использования (простота, точность, объем вычислений) имитационных и аналитических методов для расчета показателей эффективности СМО.

Задание к контрольной работе

Вариант задания соответствует последней цифре номера студенческого билета.

Для системы массового обслуживания, приведенной в варианте (см. ниже), выполнить следующее.

1. Рассчитать вероятности состояний системы и характеристики эффективности СМО аналитически:
 - определить тип системы массового обслуживания;
 - построить размеченный граф состояний системы;
 - выбрать расчетные формулы;
 - рассчитать следующие показатели эффективности СМО:
 - вероятность загрузки системы;
 - вероятность отказа в обслуживании;
 - вероятность простоя системы;
 - вероятность нахождения в системе 1-ой заявки, 2 – х заявок, ..., n – заявок;
 - среднее время обработки одной заявки;
 - среднее число занятых каналов;
 - среднее время ожидания в очереди;
 - среднее число требований в очереди;
 - среднее число требований в системе;
 - среднее время нахождения заявки в системе.
2. Рассчитать вероятности состояний системы и характеристики эффективности СМО имитационным методом:
 - составить блок-схему алгоритма имитации работы СМО;
 - написать программу имитации с использованием любого языка программирования, любых программных средств;
 - рассчитать программно показатели эффективности СМО, приведенные в п. 1.
3. Сопоставить результаты, полученные на основе использования аналитического и имитационного моделирования. Сделать выводы.
4. Оценить эффективность реализованной в контрольной работе системы массового обслуживания. Сформулировать предложения по улучшению работы СМО.

Постановка задачи.

Вариант 0. Автомобильная заправочная станция (АЗС) имеет три заправочные колонки. Известны следующие параметры работы АЗС: поток автомобилей, поступающих на заправку, пуассоновский с интенсивностью: $\lambda=0.5$ (автомобилей в минуту); время заправки на колонках составляет в среднем: $m_3=5$ минут (закон распределения экспоненциальный). При имитационном моделировании задайте время работы АЗС равным 100 дням (АЗС работает круглосуточно).

Вариант 1. Двое рабочих обслуживают четыре станка. Поломка каждого станка образует простейший поток интенсивностью λ . Время ремонта распределено по показательному закону с интенсивностью μ . Математическое ожидание соответственно

времени обслуживания: $m_o=200$ минут и времени безотказной работы станка: $m_p=450$ минут. При имитационном моделировании задайте время работы системы равным 24000 рабочим дням (1 день – 8 часов).

Вариант 2. В библиотеке выдают литературу три библиотекаря. Время обслуживания одного читателя подчиняется экспоненциальному закону распределения с интенсивностью μ . Время прихода читателей распределено по экспоненциальному закону с интенсивностью λ . Если в очереди 2 человека, то вновь пришедший читатель покидает библиотеку. Математическое ожидание соответственно времени обслуживания: $m_o=820$ секунд и времени прихода читателей $m_n=300$ секунд. При имитационном моделировании задайте количество обслуженных читателей равным 2000.

Вариант 3. Служба заказа такси имеет 4 канала для одновременного приема заказов по телефону. Интервалы времени между вызовами такси распределены по показательному закону со средним: $m_g=28$ секунд. Время приема заказа также распределено по показательному закону со средним: $m_o=120$ секунд. В случае если все каналы заняты, заявка переводится на запасной канал и ожидает освобождения основного канала. Количество запасных каналов равно 2. Если заняты все основные и запасные каналы, то заявка получает отказ. При имитационном моделировании задайте время работы системы равным 3 дням (служба заказа работает круглосуточно).

Вариант 4. На обработку к серверному компьютеру принимаются задания от четырех компьютеров – терминалов. Новое задание компьютером – терминалом не генерируется, пока не закончена обработка предыдущего задания. Поступление заданий образует простейший поток. Время обработки распределено по показательному закону. Математическое ожидание соответственно времени поступления заданий: $m_n=370$ мили секунд и времени обработки задания: $m_p=90$ мили секунд. При имитационном моделировании задайте время работы системы 10 часов.

Вариант 5. В магазине работают четыре продавца. Интенсивность работы продавцов по обслуживанию покупателей $\mu=0,1$ (человек в минуту). Покупатели заходят в магазин с интенсивностью $\lambda=0,2$ (человек в минуту). Все потоки, протекающие в системе, простейшие пуассоновские. При имитационном моделировании задайте время работы системы равным 640 часам (80 рабочих дней).

Вариант 6. На обработку в вычислительную систему поступают задания с интенсивностью $\lambda=4$ (заданий в секунду). Задания обрабатываются одним из 5-ти компьютеров. Время обработки имеет интенсивность $\mu=1$ (заданий в секунду). Все потоки, протекающие в системе, простейшие пуассоновские. При имитационном моделировании задайте количество обслуженных заявок равным 2000.

Вариант 7. Изготовление деталей определенного вида включает процесс сборки и период обжига в печи. Пять сборщиков используют одну печь, в которой одновременно может обжигаться только одна деталь. Сборщик не может начать новую сборку, пока не вытащил из печи предыдущую деталь. Сборка детали занимает в среднем: $m_c=45$ минут, обжиг детали в среднем: $m_o=10$ минут (закон распределения интервалов между событиями показательный). При имитационном моделировании задайте время работы системы равным 80000 часам.

Вариант 8. В переговорном пункте установлено три телефона. Поток посетителей, приходящих на переговорный пункт, простейший пуассоновский с интенсивностью $\lambda=0,2$ (человек в минуту). Время разговора посетителей по телефону составляет в среднем: $m_p=10$ минут (закон распределения интервалов между событиями показательный). Если все телефоны переговорного пункта заняты и в очереди 2 человека, то вновь пришедший посетитель покидает переговорный пункт. При имитационном моделировании задайте время работы переговорного пункта равным 800 часам (100 рабочим дням).

Вариант 9. К трем рабочим поступают на изготовление детали с транспортного конвейера. Интервал между поступлениями двух идущих одна за другой деталей равен в среднем: $m_n=10$ минут (закон распределения интервалов показательный). Время изготовления деталей рабочими составляет в среднем: $m_{\mu}=25$ минут (закон распределения показательный). При имитационном моделировании задайте количество изготовленных деталей равным 20000.

Методические указания к выполнению курсовой работы

Теоретические сведения

Под системой массового обслуживания (СМО) понимают динамическую систему, предназначенную для эффективного обслуживания потока заявок (требований на обслуживание) при ограничениях на ресурсы системы (например, компьютер, вычислительный зал, локальная сеть ЭВМ, любая информационная система, магазин, библиотека, больница и т.д.)

Можно выделить различные признаки классификации СМО.

СМО делятся на системы с отказами и системы без отказов.

В системе с отказами (с потерями, с конечной длиной очереди) заявка, пришедшая в момент, когда все каналы обслуживания заняты или заняты все места в очереди, получает отказ и покидает систему.

В системе без отказов (без потерь, с бесконечной длиной очереди) такая заявка не покидает систему, а становится в очередь и ждет, пока не освободится какой-нибудь канал. Время ожидания в общем случае неограниченно. Неограниченным может быть и количество требований, поступающих в систему.

СМО делятся на замкнутые и разомкнутые.

В замкнутых СМО в системе циркулирует определенное конечное число заявок (конечное число требований).

В разомкнутых СМО количество, поступающих заявок бесконечно.

СМО делятся на многоканальные и одноканальные системы в зависимости от количества обслуживающих каналов.

По приоритету заявок:

- СМО с заявками, имеющими разный приоритет (абсолютный, относительный);
- СМО с заявками, имеющими одинаковый приоритет.

Основные задачи теории систем массового обслуживания заключаются

- в расчете характеристик СМО (например, вероятность отказа в обслуживании, среднее число заявок в системе, среднее число занятых каналов и т.д.);
- оценке эффективности СМО на основе рассчитанных характеристик;
- оптимизации параметров СМО.

Понятие потока событий

Одно из основных понятий теории СМО – понятие потока событий. *Потоком событий называется последовательность однородных событий, появляющихся одно за другим в случайные моменты времени.* Примеры: поток вызовов на телефонной станции, поток автомашин, подъезжающих на заправочную станцию, поток заболеваний гриппом в зимний сезон, поток забитых шайб при игре в хоккей, поток заявок на ремонт, поступающих в ремонтную организацию, поток отказов (сбоев) ЭВМ в ходе ее работы, поток электронов, вылетающих с катода радиолампы, поток электрических импульсов, поступающих от мозга в мышцу для ее возбуждения, и т.п.

События, образующие поток, в общем случае могут быть и неоднородными, например если в потоке автомашин, прибывающих на заправку, различать легковые и грузовые.

Математическое представление потока событий. “Поток событий” представляет собой в общем случае просто последовательность случайных точек $\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_n, \dots$ на оси времени $0t$ с разделяющими их случайными интервалами $T_1, T_2, \dots, T_{n-1}, T_n, \dots$, так что

$$T_1 = \theta_2 - \theta_1, \quad T_2 = \theta_3 - \theta_2, \dots, T_n = \theta_{n+1} - \theta_n$$



Потоки событий различаются между собой по их внутренней структуре: по законам распределения интервалов T_1, T_2, \dots между событиями. Для описания распределения интервалов между событиями могут использоваться различные законы распределения: нормальный, равномерный, экспоненциальный (наиболее часто используемый). Также потоки различаются по их взаимной зависимости или независимости и т.д.

На практике чаще всего ограничиваются рассмотрением **простейшего (пуассоновского) потока заявок**.

Для простейшего потока событий вероятность того, что на участке времени длины τ наступит ровно k событий, имеет распределение Пуассона и определяется по формуле

$$P\{X(t, \tau) = k\} = a^k e^{-a} / k! \quad (k=0, 1, 2, \dots)$$

где, $a = \lambda \tau$, λ - интенсивность потока.

Физический смысл интенсивности потока событий – это среднее число событий, приходящееся на единицу времени (число заявок в единицу времени), размерность – 1/время.

Простейшим этот поток назван потому, что исследование систем, находящихся под воздействием простейших потоков, проводится самым простым образом.

Распределение интервалов между заявками для простейшего потока будет экспоненциальным (показательным) с функцией распределения $P(\tau) = P_2(t \leq \tau) = 1 - e^{-\lambda \tau}$ и плотностью $f(\tau) = \lambda e^{-\lambda \tau}$, где λ - интенсивность поступления заявок в СМО.

Математическое ожидание длины интервала времени между последовательными моментами поступления событий:

$$M[\tau] = \int_0^{\infty} \tau f(\tau) d\tau = \frac{1}{\lambda}$$

Дисперсия интервала времени между последовательными моментами поступления заявок

$$D[\tau] = \int_0^{\infty} \tau^2 f(\tau) d\tau - (E(\tau))^2 = \frac{1}{\lambda^2}$$

Следовательно, среднее квадратичное отклонение длины интервалов:

$$\sigma_{\tau} = (D[\tau])^{1/2} = E[\tau] = \frac{1}{\lambda}$$

Размеченный граф состояний СМО

Схематично СМО удобно представлять в виде размеченного графа состояний

$$S_0, S_1, \dots, S_n$$

Пусть - совокупность возможных состояний системы.

Например, рассматриваемая система – локальная сеть, состоящая из 10 компьютеров. От внешнего источника поступают задания на обработку, которые могут обслуживаться любым компьютером. Тогда состояние

S_0 - в системе нет ни одной заявки, компьютеры простаивают;

S_1 - в системе одна заявка, один компьютер работает;

...

S_{10} - в системе 10 заявок, 10 компьютеров работают;

S_{11} - в системе 10 заявок, 10 компьютеров работают, одно задание в очереди;

...

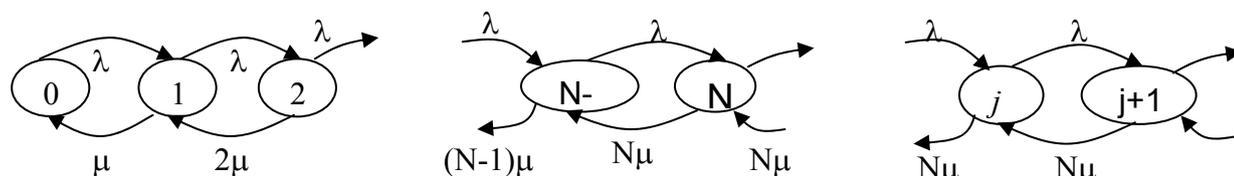
Граф состояний – схема, отражающая переход системы из состояния в состояние.

Вершины графа соответствуют состояниям, дуги – переходам из состояния в состояние.

Размеченный граф состояний - граф состояний с проставленными у стрелок интенсивностями соответствующих потоков событий, переводящих систему из состояния в состояние.

На рис. 1 и 2 приведены графы динамики (графы состояний) систем различных видов

1. Многоканальные системы без потерь с неограниченным ожиданием и бесконечным потоком требований на входе (разомкнутые системы) (рис. 1).

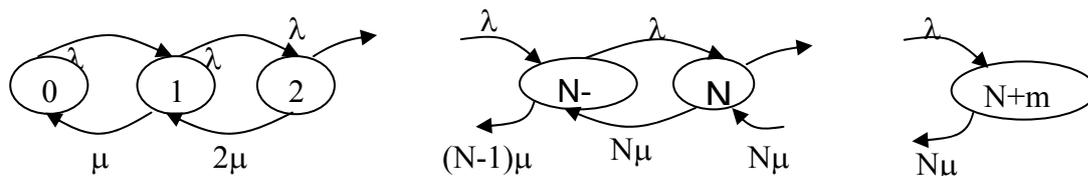


μ – интенсивность потока обслуживания;

λ – интенсивность входного потока;

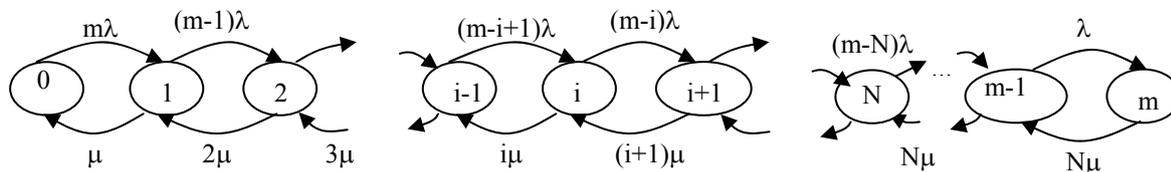
N – число каналов обслуживания;

2. Многоканальные системы с отказами и бесконечным потоком требований на входе (разомкнутые системы) (рис. 2).



Граф динамики многоканальной системы такого вида остается таким же, как и на рис. 1, только количество состояний в графе конечно и равно $N+m+1$, включая нулевое состояние, где m – величина, ограничивающая длину очереди (в другой терминологии – m – количество мест в накопителе очереди).

3. Многоканальные системы без потерь с источником конечного числа требований (замкнутые системы) (рис. 3).



m – максимальное число заявок в СМО, число состояний СМО – $m+1$, включая нулевое состояние.

В приведенных выше примерах состояния системы образуют цепь, каждое состояние, кроме исходного и последнего, связано прямой и обратной связью с двумя соседними состояниями. Крайние состояния связаны с одним соседним. Такая схема процесса, протекающего в системе, называется схемой «Гибели и размножения», а сам процесс называют процессом гибели и размножения.

Термин ведет начало от биологических задач, процесс описывает изменение численности популяции.

На практике значительная часть СМО соответствуют процессу гибели и размножения.

Расчет характеристик СМО на основе использования аналитического метода

Ниже приведены формулы для расчета вероятностей состояний и характеристик эффективности СМО, соответствующих рис. 1-3. Заметим, что формулы справедливы только для систем, нагруженных пуассоновскими потоками.

Расчет многоканальных систем без потерь с неограниченным ожиданием и бесконечным потоком требований на входе (разомкнутые системы)

Для систем такого вида вероятности состояний вычисляются по формулам:

$$P_0 = \left[1 + \sum_{j=1}^N a^j \frac{1}{j!} + a^{N+1} \frac{1}{N!(N-a)} \right]^{-1}, \quad a = \frac{\lambda}{\mu}$$

$$P_j = P_0 \times \begin{cases} \frac{a^j}{j!}, & 1 \leq j \leq N; \\ \frac{a^j}{N! \cdot N^{j-N}}, & j > N. \end{cases}$$

вероятность загрузки системы:

$$P_{\text{заг.}} = 1 - P_0$$

вероятность отказа в обслуживании:

$$P_{\text{отк.}} = 0, \text{ т.к. любая заявка будет рано или поздно обслужена.}$$

среднее число требований в очереди:

$$n_0 = \frac{a^{N+1} P_0}{N N! (1 - a_\Sigma)^2}, \quad a_\Sigma = \frac{\lambda}{N\mu}$$

среднее время ожидания в очереди:

$$t_{\text{ож.}} = \frac{a^N P_0}{N\mu N! (1 - a_\Sigma)^2}$$

среднее число занятых каналов:

$$N_3 = \frac{\lambda}{\mu}$$

среднее число заявок в системе:

$$J = n_0 + N_3, \text{ т.е. среднее число заявок в очереди плюс среднее число занятых каналов;}$$

среднее время пребывания требования в системе:

$t_c = t_{ож} + 1/\mu$, т.е. среднее время ожидания в очереди плюс среднее время обслуживания.

Расчет многоканальных систем с отказами и бесконечным потоком требований на входе (разомкнутые системы)

Для систем такого вида:

$$P_0 = \left[1 + \sum_{j=1}^{N-1} a^j \frac{1}{j!} + a^N \left(\frac{a_\Sigma - a_\Sigma^{m+1}}{N!(1-a_\Sigma)} \right) \right]^{-1}, \quad a_\Sigma = \frac{\lambda}{N\mu}, \quad a = \frac{\lambda}{\mu}$$

$$P_j = P_0 \times \begin{cases} \frac{a^j}{j!}, & 1 \leq j \leq N; \\ \frac{a^j}{N!N^{j-N}}, & N < j \leq N+m. \end{cases}$$

вероятность загрузки системы:

$$P_{заг.} = 1 - P_0$$

вероятность отказа в обслуживании:

$P_{отк.} = P_{n+m}$, в случае если заняты все каналы и все места в очереди заявка получает отказ.

среднее число требований в очереди:

$$n_0 = P_{N+1} + 2P_{N+2} + \dots + mP_{N+m}$$

среднее время ожидания в очереди:

$$t_{ож.} = \frac{1}{N\mu} P_N + \frac{2}{N\mu} P_{N+1} + \dots + \frac{m}{N\mu} P_{N+m-1}$$

среднее число занятых каналов:

$$N_з = P_1 + 2P_2 + \dots + NP_N$$

среднее число заявок в системе:

$J = n_0 + N_з$, т.е. среднее число заявок в очереди плюс среднее число занятых каналов;

среднее время пребывания требования в системе:

$t_c = t_{ож} + 1/\mu$, т.е. среднее время ожидания в очереди плюс среднее время обслуживания.

Расчет многоканальных систем без потерь с источником конечного числа требований (замкнутые системы)

Для таких систем вероятности состояний вычисляются по формулам:

$$p_0 = \left[1 + \sum_{j=1}^N a^j C_m^j + \sum_{j=N+1}^m a^j C_m^j \frac{j!}{N!N^{j-N}} \right]^{-1}, \quad a = \frac{\lambda}{\mu}$$

$$C_m^j = \frac{m!}{(m-j)!j!}.$$

$$P_j = P_0 \times \begin{cases} \frac{a^j m!}{(m-j)!j!}, & 1 \leq j \leq N; \\ \frac{a^j m!}{(m-j)!N!N^{j-N}}, & N < j \leq m. \end{cases}$$

вероятность загрузки системы:

$$P_{заг.} = 1 - P_0$$

вероятность отказа в обслуживании:

$P_{отк.} = 0$, т.к. любая заявка будет рано или поздно обслужена

среднее число требований в очереди:

$$n_0 = \sum_{j=N+1}^m (j-N)P_j = \sum_{j=N+1}^m (j-N)C_m^j \frac{a^j j!}{N! N^{j-N}} P_0$$

среднее время ожидания в очереди:

$$t_{ож.} = \frac{J}{\lambda(m-J)} - \frac{1}{\mu}$$

среднее число заявок в системе:

$J = n_0 + N_3$, т.е. среднее число заявок в очереди плюс среднее число занятых каналов;

среднее число занятых каналов:

$$N_3 = N - \sum_{j=0}^{N-1} (N-j)P_j$$

среднее время пребывания требования в системе:

$$t_c = \frac{J}{\lambda(m-J)}$$

При решении задачи необходимо обратить внимание на идентификацию системы, описанной в задаче и графическое изображение ее динамики. Только в этом случае можно правильно выбрать расчетные формулы критериев эффективности.

На заключительном этапе оценивается эффективность работы СМО, выдаются рекомендации (предложения) по улучшению работы СМО.

Расчет вероятностей состояний системы и характеристик СМО методом имитационного моделирования

Для расчета СМО имитационным методом необходимо составить моделирующий алгоритм (блок-схему) и программу имитации.

Приведем последовательность решения задачи на примере одноканальной СМО без потерь с неограниченным потоком заявок на входе. Пусть система массового обслуживания – библиотека, в которой работает один библиотекарь. Задан интервал прихода между читателями (равномерный 2-6). Задан интервал обслуживания (равномерный 3-4). Реализовать моделирование работы библиотеки по обслуживанию 100 читателей. Рассчитать среднее время ожидания в очереди и вероятность простоя библиотекаря.

1 шаг. Выбрать входные, промежуточные и выходные переменные

входные и промежуточные переменные:

Т инт. прих. – интервал между приходом читателей;

Т инт. obs. – интервал обслуживания читателя

Т прих. – момент прихода очередного читателя;

Т нач. obs. – момент начала обслуживания очередного читателя;

Т ок. obs. – момент окончания обслуживания очередного читателя;

выходные переменные:

Т ож. – время ожидания читателя в очереди;

Т простоя – время простоя библиотекаря до прихода очередного читателя;

Т ож.ср. – среднее время ожидания читателя в очереди;

Т простоя – суммарное время простоя библиотекаря;

Р простоя – вероятность простоя библиотекаря.

В табл. 1. и рис. 4 приведены данные ручного моделирования обслуживания первых четырех читателей для иллюстрации принципа моделирования системы. Интервалы прихода читателей и интервалы обслуживания заданы произвольно.

Таблица 1. Имитационное моделирование обслуживания читателей

Номер шага (читателя)	T инт. прихода	T инт. облс.	T прихода	T начала. облс.	T ок. облс.	T ожидания в очереди	T простоя библиот.
1	3	4	3	3	7	0	3
2	5	3	8	8	11	0	1
3	2	4	10	11	15	1	0
4	3	4	13	15	19	2	0
...							
100							

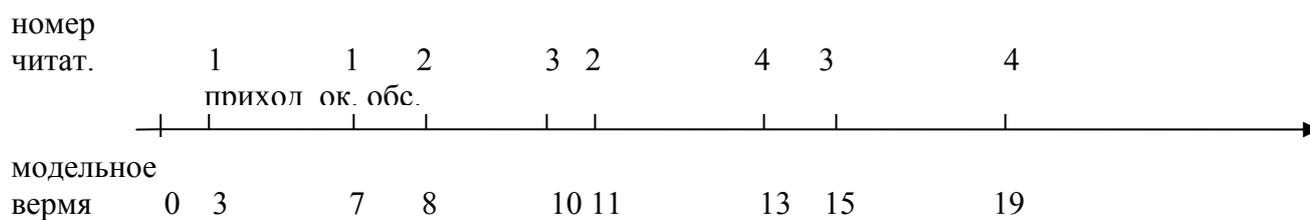


Рис. 4.

2 шаг. Разработка блок-схемы алгоритма имитации СМО (рис. 5)

3 шаг. В соответствии с разработанной блок-схемой составляется программа имитации работы СМО на любом языке программирования с использованием любых программных средств.

4 шаг. Расчет показателей эффективности СМО с помощью разработанной программы имитации.

5 шаг. Анализ полученных результатов, оценка эффективности СМО.

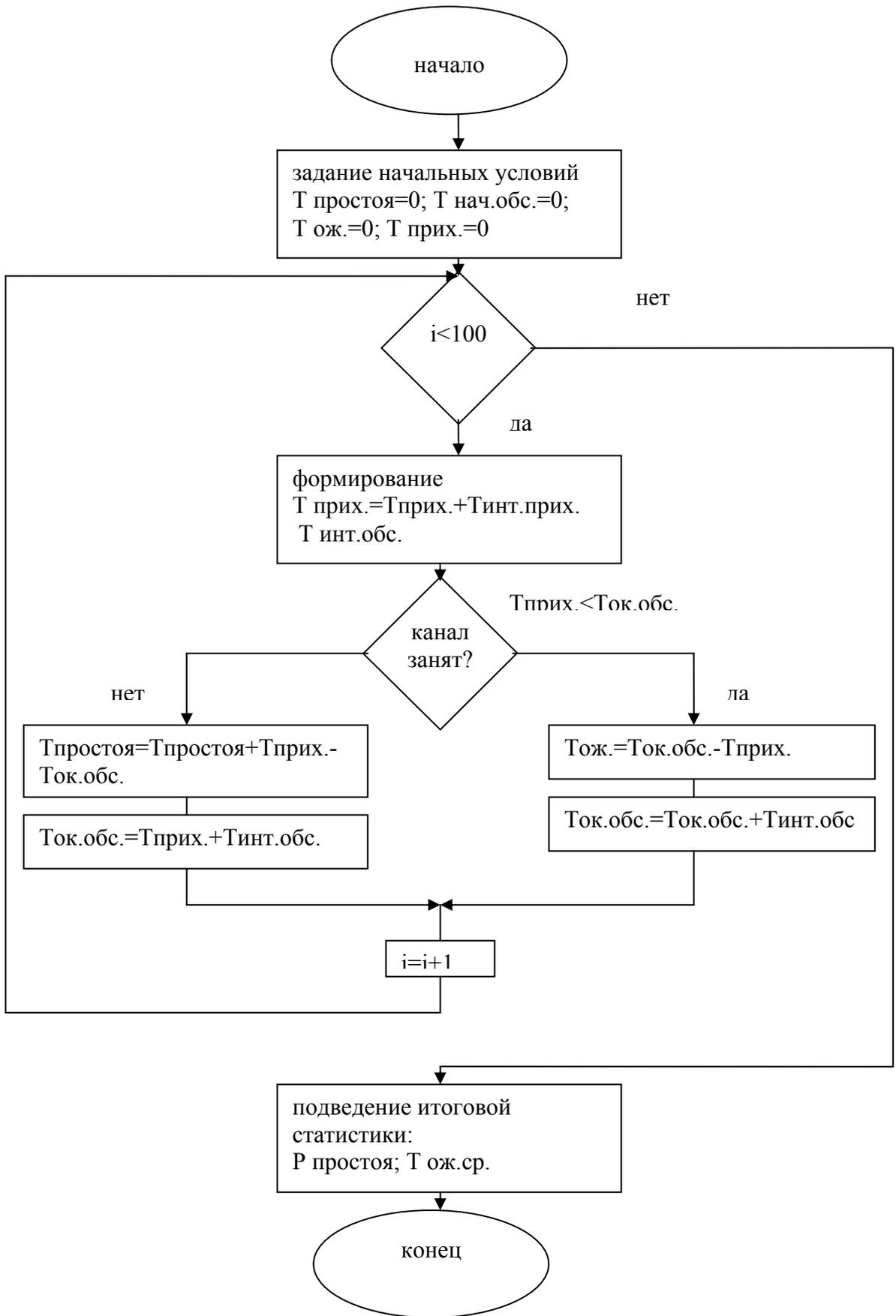


Рис. 5. Блок-схема алгоритма имитации работы СМО

Имитационное моделирование входного потока событий (интервалы прихода читателей) и потока обслуживания (интервалы обслуживания читателей) реализуется на основе использования методов имитации случайных величин (см. 7.2. в файле «Теоретический материал», например, метод обратной функции, метод Неймана).

Самый простой случай, когда интервалы между событиями подчиняются равномерному закону распределения, как в рассмотренном примере. В этом случае разыгрывается случайное число в интервале (0,1) и приводится к заданному интервалу.

Например, задан равномерно распределенный интервал между событиями: 10-20, тогда: $rnd(1)*10+10$, где $rnd(1)$ – функция, генерирующая случайное число в интервале (0,1).

Если интервал между событиями подчиняется экспоненциальному закону распределения, то имитационное моделирование интервалов реализуется с помощью метода обратной функции (см. 7.2., файл «Теоретический материал»).

Обратите внимание, в СМО, заданной в контрольной работе, все интервалы между событиями распределены по экспоненциальному закону, т.е. все потоки, функционирующие в системе, являются Пуассоновскими.

Расчет характеристик СМО имитационным методом

Ниже приведены основные формулы для расчета показателей эффективности СМО на основе использования имитационного метода.

Вероятность простоя системы:

$$P_0 = \frac{t_{np.}}{t_{mod.}}, \text{ где}$$

$t_{np.}$ - суммарное время простоя системы за время моделирования;

$t_{mod.}$ - время моделирования системы.

По аналогии вычисляются вероятности состояний P_1, P_2, \dots, P_n

Среднее число требований в очереди:

$$n_0 = P_{N+1} + 2P_{N+2} + \dots + mP_{N+m}$$

среднее время ожидания в очереди:

$$t_{ож.} = \frac{t_{сум.ож.}}{k}, \text{ где}$$

$t_{сум.ож.}$ - суммарное время ожидания заявок в очереди

k – общее число заявок, прошедших через систему.

среднее число занятых каналов:

$$N_з = P_1 + 2P_2 + \dots + NP_N$$

среднее число заявок в системе:

$J = n_0 + N_з$, т.е. среднее число заявок в очереди плюс среднее число занятых каналов;

среднее время пребывания требования в системе:

$$t_c = \frac{t_{сум.п.}}{k}, \text{ где}$$

$t_{сум.п.}$ - суммарное время пребывания заявок в системе;

k – общее число заявок, прошедших через систему.

Требования к оформлению контрольной работы.

Работа должна содержать следующие пункты

Введение

1. Цель работы, задание
2. Исследование СМО аналитическими методами
- 2.1. Размеченный граф состояний

- 2.2. Определение вероятностей состояний
 - 2.3. Расчет основных показателей эффективности
 3. Имитационное моделирование системы массового обслуживания
 - 3.1. Блок-схема алгоритма имитации
 - 3.2. Листинг программы имитации СМО
 - 3.3. Результаты работы программы имитации
 4. Анализ результатов моделирования
- Выводы
Литература

В пункте «Исследование СМО аналитическими методами» приводятся граф состояний моделируемой СМО, расчет вероятностей состояний на основе уравнений Колмогорова и расчет показателей эффективности СМО.

В пункте «Имитационное моделирование системы массового обслуживания» приводится блок-схема алгоритма имитации СМО, описание программы имитации СМО, результаты работы программы.

В пункте «Анализ результатов моделирования» - выводы по результатам проведенного исследования. Сравнение оценок параметров системы, полученных аналитическими методами и методами имитационного моделирования. Оценка эффективности системы массового обслуживания, предложения по улучшению работы СМО.

В пункте «Выводы» общие выводы по работе в произвольной форме.

3. Лабораторные работы

Лабораторные работы посвящены имитационному моделированию системы массового обслуживания, расчету основных характеристик СМО и анализу эффективности СМО.

Результат лабораторной работы:

- действующая программа имитации работы системы;
- результаты работы программы;
- анализ результатов и выводы по работе.

Вариант 0. Система передачи данных обеспечивает передачу пакетов данных из пункта А в пункт С через транзитный пункт В. В пункт А пакеты поступают в среднем через 10 мс. (закон распределения экспоненциальный). Здесь они буферизируются в накопителе емкостью 20 пакетов и передаются по любой из двух линий равновероятно АВ1— за время 20 мс или АВ2 — за время 20 ± 5 мс. В пункте В они снова буферизируются в накопителе емкостью 25 пакетов и далее передаются по линиям ВС1 (за 25 ± 3 мс) и ВС2 (время передачи распределено по нормальному закону со средним значением 25 мс и имеет стандартное отклонение 3 мс). Причем пакеты из АВ1 поступают в ВС1, а из АВ2— в ВС 2. Чтобы не было переполнения накопителя, в пункте В вводится пороговое значение его емкости —20 пакетов. При достижении очередью порогового значения происходит подключение резервной аппаратуры, и время передачи снижается для линий ВС1 и ВС2 до 15 ± 2 мс.

Смоделировать прохождение через систему передачи данных 5000 пакетов. Определить вероятность подключения резервной аппаратуры, среднее время прохождения одного пакета и характеристики очереди пакетов в пункте В.

Вариант 1. Система обработки информации содержит мультиплексный канал и три компьютера. Сигналы от датчиков поступают на вход канала в среднем через интервалы времени 11 мкс (закон распределения экспоненциальный). В канале они буферизируются и предварительно обрабатываются в течение 10 ± 3 мкс. Затем они поступают на обработку в тот компьютер, где имеется наименьшая по длине входная очередь. Емкости входных накопителей во всех компьютерах рассчитаны на хранение величин 10 сигналов. Время обработки сигнала в любом компьютере распределено по нормальному закону

распределения со средним 33 мкс и СКО=3 мкс. Обеспечить ускорение обработки сигнала в компьютере до 25 мкс при достижении суммарной очереди сигналов значения 25 единиц.

Смоделировать процесс обработки 5000 сигналов, поступающих с датчиков. Определить средние времена задержки сигналов в канале и компьютере, характеристики суммарной очереди сигналов и вероятности переполнения входных накопителей.

Вариант 2. В системе передачи данных осуществляется обмен пакетами данных между пунктами *A* и *B* по дуплексному каналу связи. Пакеты поступают в пункты системы от абонентов с интервалами времени между ними в среднем 10 мс (закон распределения экспоненциальный). Передача пакета занимает 10 ± 2 мс. В пунктах имеются буферные регистры, которые могут хранить два пакета (включая передаваемый). В случае прихода пакета в момент занятости регистров пунктам системы предоставляется выход на спутниковую полудуплексную линию связи, которая осуществляет передачу пакетов данных. Скорость передачи данных по спутниковой линии связи распределена по нормальному закону распределения со средним 10 мс. и СКО=1 мс. При занятости спутниковой линии пакет получает отказ.

Смоделировать обмен информацией в системе передачи данных в течение 10 мин. Определить частоту вызовов спутниковой линии и вероятность ее загрузки, среднее время прохождения пакета через систему, количество пакетов, переданных за время моделирования системы, вероятность загрузки буферных регистров, вероятность отказа передачи пакета.

Вариант 3. Специализированная вычислительная система состоит из трех процессоров и общей оперативной памяти. Задания, поступающие на обработку в среднем через интервалы времени 5 мин (закон распределения экспоненциальный), занимают объем оперативной памяти размером в страницу. После трансляции первым процессором в течение 5 ± 1 мин их объем увеличивается до двух страниц и они поступают в оперативную память. Затем после редактирования во втором процессоре, которое занимает $2,5 \pm 0,5$ мин на страницу, объем возрастает до трех страниц. Отредактированные задания через оперативную память поступают в третий процессор на решение, требующее в среднем 1,5 мин, СКО=0,4 мин (закон распределения нормальный) на страницу, и покидают систему, минуя оперативную память. Выделенный объем оперативной памяти позволяет хранить 100 страниц. В случае нехватки оперативной памяти на любом этапе обработки задание получает отказ.

Смоделировать работу вычислительной системы в течение 500 ч. Определить характеристики занятия оперативной памяти по всем трем этапам обработки задания, вероятность загрузки первого, второго и третьего процессоров, среднее время прохождения задания через систему, вероятность отказа в обслуживании на каждом из этапов обработки.

Вариант 4. На вычислительном центре в обработку принимаются три класса заданий *A*, *B* и *C*. Исходя из наличия оперативной памяти компьютера задания классов *A* и *B* могут решаться одновременно, а задания класса *C* монополизируют ЭВМ. Задания класса *A* поступают в среднем через 20 мин (закон распределения экспоненциальный), класса *B* — через 20 ± 10 мин и класса *C* — через 30 ± 10 мин и требуют для выполнения: класс *A* — 20 ± 5 мин, класс *B* — 21 ± 3 мин и класс *C* — в среднем 28 мин., СКО=2 мин. (закон распределения нормальный). Задачи класса *C* загружаются в ЭВМ, если она полностью свободна. Задачи классов *A* и *B* могут дозагружаться к решаемой задаче. Очереди заданий не ограничены.

Смоделировать работу ЭВМ за 80 ч. Определить вероятность загрузки компьютера, среднее время пребывания в системе заданий классов *A*, *B*, *C*, характеристики очереди заданий классов *A*, *B*, *C*.

Вариант 5. Вычислительная система состоит из трех компьютеров. Задания на обработку поступают в среднем с интервалом 8 мин. (закон распределения экспоненциальный) и две трети заданий обрабатываются только первым компьютером. Одна треть проходит сначала обработку на первом компьютере, затем обработку равновероятно либо на втором, либо на третьем компьютере. Допустимая очередь заданий равна четырем, включая задание, обрабатываемое первым компьютером. Обработка на первом компьютере занимает в среднем 8 мин, СКО=1 мин. (закон распределения нормальный), а на втором и

третьем компьютере — 17 мин. Кроме того, 20% полностью обработанных заданий возвращается для повторной обработки.

Смоделировать работу вычислительной системы в течение 600 ч. Определить загрузку каждого из компьютеров, вероятность отказа в обслуживании вследствие переполнения очереди, характеристики очереди заданий к первому, второму и третьему компьютерам, среднее время пребывания задания в системе, количество обработанных заданий за время моделирования.

Вариант 6. В системе передачи цифровой информации передается речь в цифровом виде. Речевые пакеты передаются через два транзитных канала, буферизуясь в накопителях перед каждым каналом. Допустимая емкость накопителей равна 2. Время передачи пакета по каналу составляет в среднем 5 мс, СКО=0,5 мс. (закон распределения нормальный). Пакеты поступают в среднем через 6 мс. (закон распределения экспоненциальный). Пакеты, передававшиеся более 10 мс, на выходе системы уничтожаются, так как их появление в декодере значительно снизит качество передаваемой речи. Уничтожение более 30% пакетов недопустимо. При достижении такого уровня система за счет ресурсов ускоряет передачу до 4 мс на канал. При снижении уровня до приемлемого происходит отключение ресурсов.

Смоделировать 100 с работы системы. Определить вероятность уничтожения пакетов, вероятность подключения ресурса, среднее время прохождения пакета через систему, среднее количество пакетов в системе передачи цифровой информации.

Вариант 7. Распределенный банк данных системы сбора информации организован на базе компьютеров, соединенных дуплексным каналом связи. Запрос поступает во входной накопитель перед компьютером, емкость накопителя равна 2. В случае если накопитель полон, запрос теряется. Поступающий запрос обрабатывается на первом компьютере и с вероятностью 50% необходимая информация обнаруживается на месте. В противном случае необходима посылка запроса во второй компьютер. Запросы поступают в среднем через 15 с (закон распределения экспоненциальный), первичная обработка запроса занимает в среднем 5 с, СКО=1 с (закон распределения нормальный), выдача ответа требует 8 ± 2 с, передача по каналу связи занимает 3 с. Временные характеристики второго компьютера аналогичны первому.

Смоделировать прохождение 400 запросов. Определить среднее время обслуживания запроса системой, вероятность потери запроса на первом и втором компьютерах, среднее время пребывания запроса в накопителях, среднее количество запросов в накопителях.

Вариант 8. Информационно-поисковая библиографическая система построена на базе двух компьютеров и имеет один терминал для ввода и вывода информации. Первый компьютер обеспечивает поиск литературы по научно-техническим проблемам (вероятность обращения к нему — 0,7), а второй — по медицинским (вероятность обращения к нему — 0,3). Пользователи обращаются к услугам системы в среднем через 5 мин (закон распределения экспоненциальный). Если в очереди к терминалу ожидают 10 пользователей, то вновь прибывшие пользователи получают отказ в обслуживании. Поиск информации на первом компьютере продолжается в среднем 6 мин., СКО=1,5 мин. (закон распределения нормальный), а на втором в среднем 3 мин., СКО=0,5 мин. (закон распределения нормальный). Для установления связи с нужным компьютером и передачи текста запроса пользователи тратят 2 ± 1 мин. Вывод результатов поиска происходит за 1 мин.

Смоделировать процесс работы системы за 80 ч. Определить характеристики очереди к терминалу, вероятность загрузки компьютеров системы, среднее время обработки разных типов запросов системой.

Вариант 9. Вычислительная система состоит из трех компьютеров. С интервалом в среднем 3 мин (закон распределения экспоненциальный) в систему поступают задания, которые с вероятностями $P_1=0,4$, $P_2=P_3=0,3$ адресуются одному из трех компьютеров. Перед каждым компьютером имеется очередь заданий, длина которой не ограничена. После обработки задания на первом компьютере оно с вероятностью $P_{12}=0,3$ поступает в очередь ко второму компьютеру и с вероятностью $P_{13}=0,7$ — в очередь к третьему компьютеру. После обработки на втором или третьем компьютере задание считается выполненным. Продолжительность обработки заданий на разных компьютерах характеризуется

интервалами времени: $T_1 = \text{в среднем } 7 \text{ мин.}$, $СКО = 2 \text{ мин.}$ (закон распределения нормальный), $T_2 = 3 \pm 1 \text{ мин.}$, $T_3 = 5 \pm 2 \text{ мин.}$

Смоделировать процесс обработки 400 заданий. Определить характеристики очереди к каждому компьютеру, вероятность загрузки компьютеров, среднее время прохождения задания через систему по каждому из трех возможных путей.

Методические указания

Предположение что все потоки СМО- пуассоновские является достаточно сильным ограничением, необходимым для того, чтобы применение аналитических методов исследования СМО были бы возможными. В случае, когда эти требования не удовлетворяются, единственным способом исследования СМО становится метод имитационного моделирования. Поэтому овладение этим методом становится важной задачей при изучении данной дисциплины. Решение задачи, варианты которой приведены выше, следует выполнить применением основного принципа имитационного моделирования- «принципа особых состояний δz »

Для выполнения лабораторной работы необходимо следующее:

1. Провести детальный анализ задачи имитационного моделирования системы. Обосновать выбор критериев оценки эффективности работы системы. Решить какие переменные для данной системы будут являться входными и какие- промежуточными (зависимыми).
2. Выбрать для имитационного моделирования системы принцип особых состояний- «принцип δz ». Выбор программных средств осуществить с ориентацией на возможность программной реализации «принципа δz ».
3. Решить вопрос о параметрах системы: описать каждый параметр системы и каждую переменную с указанием символа обозначения, единицы измерения, возможного диапазона изменения.
4. Изобразить структуру системы со всеми взаимосвязями ее элементов и указанием потоков преобразуемой информации в принятых в пункте 3 обозначениях.
5. Обосновать выбор законов распределения всех случайных величин. Определить значения параметров распределения.
6. Вычертить схему динамики процесса функционирования системы, используя принятую терминологию теории систем массового обслуживания.
7. Разработать, описать и привести в отчете блок- схему алгоритма имитации системы.
8. Составить и отладить программу, ее листинг привести в отчете.
9. Результаты оформить в виде таблиц, графиков, диаграмм с их подробным описанием
10. Сделать описание «узких» мест системы, снижающих эффективность ее функционирования.
11. Выдать рекомендации по повышению эффективности работы системы с реализацией конкретных предложений.

4. Примерный перечень вопросов к зачету по курсу «Моделирование систем»

1. Основные определения и понятия теории моделирования.
2. Основные методы моделирования. Классификация видов моделирования.
3. Основные подходы к разработке моделей системы.
4. Математическая модель системы.
5. Имитационное моделирование (ИМ). Области использования и достоинства ИМ. Проблемы ИМ.
6. Основные принципы имитационного моделирования. Принцип Δt и особых состояний δZ .

7. Математические основы имитационного моделирования. Методы генерации случайных чисел: аппаратный, табличный, программный.
8. Способ формирования значений равномерно-распределенной СВ на компьютере.
9. Алгоритмы генерации СЧ: метод серединных квадратов, мультипликативный метод, смешанный метод.
10. Моделирование значений СВ с заданным законом распределения: метод обратной функции, метод Неймана, метод кусочной аппроксимации функции плотности распределения, универсальный метод генерации последовательности значений нормально-распределенной СВ.
11. Имитационное моделирование событий: имитация простого события; имитация сложного события, состоящего из независимых событий; имитация сложного события, состоящего из зависимых событий; имитация полной группы событий.
12. Статистическое моделирование систем. Обработка результатов моделирования: оценка основных числовых характеристик; оценка функциональных характеристик распределения (построение гистограммы); проверка гипотезы о характере распределения выборочных данных (критерий хи-квадрат); определение объема выборки, необходимого для оценки числовых характеристик с заданной точностью.
13. Теоретические основы метода статистического моделирования. Предельные теоремы. Центральная предельная теорема.
14. Применение теории массового обслуживания при моделировании систем. Понятие системы массового обслуживания (СМО), классификация СМО, основные задачи теории СМО.
15. Основные понятия теории СМО. Потоки событий. Математическая модель потока событий. Математическая модель простейшего пуассоновского потока. Свойства простейшего пуассоновского потока: ординарность, отсутствие последействия, стационарность. Потоки Пальма. Потоки Эрланга К-го порядка. Их свойства.
16. Представление СМО в виде размеченного графа состояний.
17. Основные понятия теории СМО. Случайный процесс. Дискретная и непрерывная цепи Маркова.
18. Моделирование СМО, в которых протекают Марковские процессы с дискретным состоянием и непрерывным временем. Нахождение вероятностей состояний системы в момент времени t . Вывод уравнений Колмогорова. Стационарный режим, предельные вероятности. Условия существования стационарного режима. Нахождение предельных вероятностей состояний системы.
19. Процессы «гибели» и «размножения». Основные типы СМО, в которых протекают процессы «гибели» и «размножения». Построение размеченного графа состояний. Расчет основных характеристик СМО.
20. СМО с «взаимопомощью» между каналами.
21. СМО с ошибками в обслуживании заявок.
22. Инструментальные средства моделирования систем. Достоинства и недостатки использования разных классов инструментальных средств.

5. Список литературы

1. Альсова О.К. Моделирование систем (часть 1): Методические указания к лабораторным работам по дисциплине «Моделирование» для студентов III-IV курсов АВТФ. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2006. – 68 с.
2. Альсова О.К. Моделирование систем: учеб. пособие / О.К. Альсова. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2007. – 72 с.
3. Айвазян С.А., Енюков И.С., Мешалкин Л.Д. Прикладная статистика: Основы моделирования и первичная обработка данных. – М.: «Финансы и статистика», 1983. – 471 с.
4. Бусленко Н.П. Моделирование сложных систем. – М.: Наука, 1978. – 399 с.
5. Вентцель Е.С. Исследование операций. – М.: Высшая школа, 2000. – 550 с.
6. Гмурман В.Е. Руководство к решению задач по теории вероятностей и математической статистике. – М.: Высшая школа, 2004. – 404 с.
7. Губарев В.В. Вероятностные модели / Новосиб. электротехн. ин-т. – Новосибирск, 1992. – Ч.1. – 198 с; Ч.2. – 188 с.
8. Губарев В.В. Системный анализ в экспериментальных исследованиях. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2000. – 99 с.
9. Денисов А.А., Колесников Д.Н. Теория больших систем управления: Учеб. пособие для вузов. – Л. Энергоиздат, 1982. – 288 с.
10. Моделирование систем. Практикум: Учеб. пособие для вузов/Б.Я. Советов, С.А. Яковлев. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Высшая школа, 2003. – 295 с.
11. Система программного обеспечения для имитационного моделирования на GPSS/PC. Версия 2. – Калинин: Центрпрограммсистем, 1989. – 200 с.
12. Советов Б.Я., Яковлев С.А. Моделирование систем (3-е изд.). – М.: Высшая школа, 2001. – 420 с.
13. Теория случайных процессов и ее инженерные приложения: Учеб. пособие для вузов/Е.С. Вентцель, Л.А. Овчаров. – 3-е изд. перераб. и доп. – М.: Издательский центр «Академия», 2003. – 432 с.
14. Томашевский В., Жданова Е. Имитационное моделирование в среде GPSS. – М.: Бестселлер, 2003. – 416 с.
15. Хачатурова С.М. Математические методы системного анализа: Учеб. пособие. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2004. – 124 с.
16. Шрайбер Т.Дж. Моделирование на GPSS. – М.: Машиностроение, 1980. – 593 с.
17. <http://www.gpss.ru>. Сайт, посвященный системе моделирования GPSS.

1. Название курса «Моделирование систем»

По курсу 10 ч. лекций

8 ч. л.р.

1 к.р. и зачет

Литература:

- Советов

- Кельтон

- Вентцель

2. Цели курса

Курс посвящен изучению основ теории моделирования и приложению теории моделирования к решению практических задач.

С точки зрения философии, **моделирование** представляет собой один из методов познания мира.

С практической точки зрения **моделирование** (Губарев В.В.) – метод исследования, основанный на замене исследуемого объекта-оригинала его моделью и на работе с ней (вместо объекта).

Соответственно **теория моделирования** – теория замещения объекта-оригинала его моделью и исследования свойств объекта на его модели. Базовые понятия: моделирование, модель, система.

Модель (объекта - оригинала) (от лат. Modus – «мера», «объем», «образ»)– вспомогательный объект, отражающий наиболее существенные для исследования закономерности, суть, свойства, особенности строения и функционирования объекта-оригинала.

Математическая модель – это искусственно созданный объект в виде математических, знаковых формул, который отображает и воспроизводит структуру, свойства, взаимосвязи и отношения между элементами исследуемого объекта. Именно этот класс моделей мы и будем рассматривать и далее говорить о математическом моделировании.

Математическое моделирование (Губарев В.В.) – метод исследования, основанный на замене исследуемого объекта-оригинала его математической моделью и на работе с ней (вместо объекта).

Когда говорят о моделировании, обычно имеют в виду моделирование некоторой системы.

Сейчас нельзя назвать область человеческой деятельности, в которой в той или иной степени не использовались бы методы моделирования. Особенно это относится к сфере управления различными системами, где основными являются процессы принятия решений на основе получаемой информации. Методы моделирования широко применяются при исследовании, проектировании, внедрении АСУ.

Выбор метода моделирования и необходимая детализация проекта зависят от этапа разработки АСУ. На этапах обследования объекта управления (например, промышленного предприятия) и разработки ТЗ на проектирование АСУ модели носят описательный характер и преследуют цель наиболее полно представить в компактной форме информацию об объекте, необходимую разработчику системы.

На этапе разработки технического проекта АСУ моделирование служит для решения задачи проектирования, т.е. выбора оптимального по определенному критерию при заданных ограничениях варианта из множества допустимых (построение оптимизационных моделей).

На этапе внедрения и эксплуатации АСУ строятся модели для проигрывания возможных ситуации для принятия обоснованных и перспективных решений по управлению объектом. Моделирование (имитацию) также широко применяют при обучении и тренировке персонала АСУ. Моделирование носит характер деловых игр.

В курсе речь пойдет о моделировании систем массового обслуживания (понятие охватывает широкий круг систем). СМО – любая система по обслуживанию заявок в

условиях ограничения на ресурсы системы. Примеры: библиотека, вычислительный центр, система передачи данных, информационная система, автоматизированная система управления, аэропорт, производственный участок, АЗС и т.д.

Цель моделирования СМО:

1. Оценить эффективность функционирования системы, т.е. ответить на вопросы: как долго ждут заявки в очереди на обслуживания, справляются ли каналы обслуживания с потоком заявок, время пребывания заявки систем и т.п.
2. Оптимизировать выходные характеристики системы, т.е. подобрать такие параметры системы, при которых система функционирует оптимально.

Исследоваться могут как существующие системы, так и системы, которые только планируется реализовать.

Методы теории моделирования инвариантны к предметной области, т.е. могут применяться для моделирования систем любого типа и широко используются на практике. Например, на этапе проектирования информационно-поисковой системы хорошо бы сначала подумать какой поток заявок, и какого типа будет система обслуживать, какова будет скорость выполнения запросов, скорость передачи по каналам связи и т.п.

Основные методы моделирования.

Развитие методы моделирования получили с развитием вычислительной техники. Исторически первыми были разработаны аналитические методы моделирования и сложился аналитический подход к исследованию систем.

Аналитические методы моделирования

Аналитические методы позволяют получить характеристики системы как некоторые функции параметров ее функционирования. Таким образом, аналитическая модель представляет собой систему уравнений, при решении которой получают параметры, необходимые для оценки системы (время ответа, пропускную способность и т.д.). Пример привести оптимизационной задачи, путь движения автомобиля.

Достоинства: высокая точность

Недостаток: при выводе формул, на которых они основываются и которые используются для расчета интересующих параметров, необходимо принять определенные допущения и упростить модель;

- разработаны для узкого класса моделей.

Смена состояний реальной системы происходит под воздействием множества как внешних, так и внутренних факторов, подавляющее большинство из которых носят стохастический характер. Вследствие этого, а также большой сложности большинства реальных систем, основным недостатком аналитических методов является то, что при выводе формул, на которых они основываются и которые используются для расчета интересующих параметров, необходимо принять определенные допущения. Тем не менее, нередко оказывается, что эти допущения вполне оправданы.

Компьютер используется в качестве вычислителя по аналитическим зависимостям.

Численные методы моделирования – преобразование модели к уравнениям, решение которых возможно методами вычислительной математики. Класс задач значительно шире. Однако численные методы не дают точных решений, но позволяют задать точность решения.

Имитационные методы моделирования

С развитием вычислительной техники широкое применение получили имитационные методы моделирования для анализа систем, преобладающими в которых являются стохастические воздействия.

Суть ИМ заключается в имитации процесса функционирования системы во времени, соблюдением таких же соотношений длительности операций как в системе оригинале. При этом имитируются элементарные явления, составляющие процесс; сохраняется их логическая структура, последовательность протекания во времени. Результатом ИМ является получение оценок характеристик системы.

Пример.

Распределенный банк данных организован на базе трех удаленных друг от друга вычислительных центров *A*, *B* и *C*. Все центры связаны между собой каналами передачи информации, работающими в дуплексном режиме независимо друг от друга. В каждый из центров с интервалом в среднем 50 мин, СКО=15 мин. (закон распределения нормальный) поступают заявки на проведение информационного поиска.

Если компьютер центра, получившего заявку от пользователя, свободен, в течение в среднем 2 мин (закон распределения экспоненциальный) производится ее предварительная обработка, в результате которой формируются запросы для центров *A*, *B* и *C*. В центре, получившем заявку от пользователя, начинается поиск информации по запросу, а на другие центры по соответствующим каналам передаются за 1 мин тексты запросов, после чего там также может начаться поиск информации, который продолжается: в центре *A* — 5 ± 2 мин, в центре *B* — 10 ± 2 мин, в центре *C* — 15 ± 2 мин. Тексты ответов передаются за 2 мин по соответствующим каналам в центр, получивший заявку на поиск. Заявка считается выполненной, если получены ответы от всех трех центров. Каналы при своей работе не используют ресурсы компьютеров центров.

Смоделировать процесс функционирования распределенного банка данных при условии, что всего обслуживается 1000 заявок. Подсчитать число заявок, поступивших и обслуженных в каждом центре, определить вероятность загрузки компьютеров центров, характеристики очереди запросов к компьютерам каждого центра, среднее время обслуживания заявок в каждом центре.

Много проблем: как задать потоки, как стат. обработать результаты и т.д.

Основные темы, изучаемые в рамках курса «Моделирование систем»

Тема 1. Введение. Теория моделирования.

Основные определения и понятия: моделирование, модель, система. Классический и системный подходы к построению модели объекта (системы). Примеры. Классификация видов моделирования *по характеру изучаемых процессов в системе*: детерминированное и стохастическое; статическое и динамическое; дискретное и непрерывное; *по форме представления объекта моделирования*: реальное (натурное, физическое) и мысленное (образное, знаковое). Понятия: математическое моделирование, математическая модель. Основные виды и методы математического моделирования: аналитическое (аналитические и численные методы); имитационное (метод статистического моделирования); комбинированное. Постановка задачи математического моделирования динамической системы. Основные подходы к созданию математической модели системы: непрерывно-детерминированный, дискретно-детерминированный, дискретно-стохастический, непрерывно-стохастический. Примеры. [2, 6, 10, 13]

Тема 2. Введение в имитационное моделирование систем.

Определение; области использования; достоинства и недостатки; примеры задач. Основные проблемы имитационного моделирования: нахождение компромисса между сложностью и точностью модели; оценка качества модели; генерация случайных воздействий.

Основные принципы построения имитационных моделей: принцип Δt и особых состояний δZ . [2, 10, 13]

Тема 3. Математические основы имитационного моделирования. Методы генерации случайных чисел (СЧ): аппаратный, табличный, программный. Требования к генератору СЧ. Особенности формирования равномерно распределенных СЧ на компьютере. Программные методы генерации СЧ: метод серединных квадратов; конгруэнтные процедуры. Их достоинства и недостатки.

Имитационные методы моделирования случайных величин (СВ): метод Неймана; метод обратной функции; приближенный универсальный метод, основанный на кусочной аппроксимации функции плотности распределения вероятностей; приближенный метод генерации нормально распределенной СВ. Достоинства и недостатки методов. Примеры задач.

Имитационное моделирование случайных событий. Имитация простого события; имитация сложного события, состоящего из независимых элементарных событий; имитация сложного события, состоящего из зависимых элементарных событий; имитация полной группы событий. Примеры задач. [2, 10, 13]

Тема 4. Статистическое моделирование систем. Метод статистических испытаний, статистическая обработка результатов моделирования: оценка функциональных характеристик результатов моделирования (выборочных данных); проверка гипотез о согласии теоретического и эмпирического распределения выборочных данных на основе критериев согласия; определение объема выборки, необходимого для оценки числовых характеристик с заданной точностью.

Теоретическая основа метода статистических испытаний. Предельные теоремы теории вероятностей, центральная предельная теорема. [1, 4, 10]

Тема 5. Элементы теории Марковских случайных процессов, применяемые при моделировании систем.

Потоки событий. Математическая модель потока событий. Математическая модель простейшего пуассоновского потока. Свойства простейшего пуассоновского потока: ординарность; стационарность; отсутствие последствия. Потоки с ограниченным последствием. Потоки Пальма. Потоки Эрланга, их свойства и применение.

Понятие случайного процесса. Понятие Марковского случайного процесса.

Марковский случайный процесс с дискретными состояниями и дискретным временем (дискретная цепь Маркова).

Марковский случайный процесс с дискретными состояниями и непрерывным временем (непрерывные цепи Маркова). Модель перехода системы из состояния в состояние (размеченный граф состояний). Нахождение вероятностей состояний системы в момент времени t на основе системы дифференциальных уравнений Колмогорова. Стационарный режим для непрерывной цепи Маркова. Условия существования стационарного режима. Предельные вероятности состояний. Нахождение предельных вероятностей состояний на основе системы линейных уравнений Колмогорова. Примеры.

Марковский случайный процесс «гибели и размножения». Построение размеченного графа состояний. Примеры. [3, 11]

Тема 6. Элементы теории массового обслуживания

Понятие системы массового обслуживания (СМО). Основные задачи теории СМО. Классификация СМО: разомкнутые и замкнутые; по длине очереди; по механизму обслуживания; по приоритету заявок. Примеры.

Типы СМО, в которых протекает Марковский случайный процесс «гибели и размножения»: многоканальные и одноканальные разомкнутые СМО без потерь;

многоканальные и одноканальные разомкнутые СМО с отказами; многоканальные и одноканальные замкнутые СМО без потерь.

Многоканальные и одноканальные разомкнутые СМО без потерь. Построение размеченного графа состояний. Нахождение предельных вероятностей состояний. Расчет основных характеристик СМО. Имитационное моделирование СМО.

Многоканальные и одноканальные разомкнутые СМО с отказами. Построение размеченного графа состояний. Нахождение предельных вероятностей состояний. Расчет основных характеристик СМО. Имитационное моделирование СМО.

Многоканальные и одноканальные замкнутые СМО без потерь. Построение размеченного графа состояний. Нахождение предельных вероятностей состояний. Расчет основных характеристик СМО. Имитационное моделирование СМО.

СМО с «взаимопомощью» между каналами. Построение размеченного графа состояний. Нахождение предельных вероятностей состояний. Расчет основных характеристик СМО. Имитационное моделирование СМО.

СМО с ошибками в обслуживании. Построение размеченного графа состояний. Нахождение предельных вероятностей состояний. Расчет основных характеристик СМО. Имитационное моделирование СМО. [2, 3, 7, 10]

Тема 7. Инструментальные средства моделирования. Обзор программных средств моделирования: языки программирования общего пользования (Pascal, C, C++); пакеты прикладных программ (MathCad, MathLab, SAS, Statistica); языки имитационного моделирования (GPSS, SIMSCRIPT); визуальные средства моделирования (ARENA); программные комплексы, специализирующиеся на моделировании узкого круга систем одной конкретной предметной области. Достоинства и недостатки использования разных программных средств моделирования.

Технология разработки имитационной модели. Основные этапы.

Принципы организации системы моделирования GPSS. Введение в систему моделирования GPSS. Основные объекты языка моделирования GPSS: транзакты; блоки; списки; устройства; очереди; таблицы; функции и переменные. Формат описания блоков и операторов GPSS. Стандартные числовые атрибуты. Примеры простейших программ. [8, 9, 12, 14, 15].

Контрольная работа

Моделирование систем массового обслуживания, описываемых случайным процессом «гибели и размножения»

Цель контрольной работы:

- изучить методы аналитического и имитационного моделирования систем в приложении к решению конкретной задачи;

- сравнить эффективность использования (простота, точность, объем вычислений) имитационных и аналитических методов для расчета показателей эффективности СМО.

Лабораторная работа 2 варианта:

1 вариант. Имитационное моделирование системы

2 вариант. Изучение среды моделирования GPSS.

Литература.

описать 2 файла «инф. письмо 2009» «Теоретический материал»