

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Новгородский государственный университет имени Ярослава Мудрого»
Институт электронных и информационных систем
Кафедра прикладной математики и информатики



С.И.Эминов

2019 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА
учебной дисциплины
ТЕОРИЯ И МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМ МАССОВОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ

по направлению подготовки
01.04.02 Прикладная математика и информатика
Направленность (профиль) Прикладной анализ данных

СОГЛАСОВАНО
Начальник отдела обеспечения
деятельности ИЭИС

 П.В.Лысухо

«05» апреля 2019 г.

Разработал
Заведующий кафедрой ПМИ

 А.В.Колногоров

«18» февраля 2019 г.

Принято на заседании кафедры
Протокол №7 от «27» февраля 2019г.

Заведующий кафедрой ПМИ
 А.В.Колногоров

«27» февраля 2019 г.

1 Цели и задачи освоения учебной дисциплины

Цель освоения учебной дисциплины: формирование в рамках компетентностного подхода системы знаний по теории и моделированию систем массового обслуживания, умений и навыков решения фундаментальных и прикладных задач методами, используемыми в рассматриваемых разделах прикладной математики

Задачи:

- а) формирование системы знаний в области применения аппарата цепей Маркова с дискретным и непрерывным временем и имитационного моделирования при изучении систем массового обслуживания;
- б) формирование у обучающихся умений вычислительного характера, на которых базируется решение типовых заданий учебной дисциплины;
- в) стимулирование студентов к самостоятельной деятельности по освоению УМ и формированию необходимых компетенций;

2 Место учебной дисциплины в структуре ОПОП

Учебная дисциплина относится к обязательной части учебного плана основной профессиональной образовательной программы направления подготовки 01.04.02 Прикладная математика и информатика и профилю Прикладной анализ данных (далее – ОПОП). В качестве входных требований выступают сформированные ранее компетенции обучающихся, приобретенные ими в рамках следующих дисциплин (модулей, практик): Алгебра и геометрия, Дифференциальные уравнения, Теория алгоритмов, Теория вероятностей, Теория вероятностей и математическая статистика, Математическое моделирование, относящихся к основной профессиональной образовательной программе бакалавриата направления подготовки 01.03.02 Прикладная математика и информатика.. Освоение учебной дисциплины является компетентностным ресурсом для дальнейшего изучения следующих дисциплин (модулей, практик): Практика учебная: практика проектно-технологическая.

3 Требования к результатам освоения учебной дисциплины

Перечень компетенций, которые формируются в процессе освоения учебной дисциплины:

Универсальные компетенции:

УК-1 Способен осуществлять критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, вырабатывать стратегию действий

Общепрофессиональные компетенции:

ОПК-3 Способен разрабатывать математические модели и проводить их анализ при решении задач в области профессиональной деятельности

Таблица 1 — Результаты освоения учебной дисциплины:

Код и наименование компетенции	Результаты освоения учебной дисциплины (индикаторы достижения компетенций)		
УК-1 Способен осуществлять критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, вырабатывать стратегию действий	УК-1.1 Анализирует проблемную ситуацию как систему, выявляя ее составляющие и связи между ними;	УК-1.2 Осуществляет поиск вариантов решения поставленной проблемной ситуации на основе доступных	УК-1.3 Разрабатывает и содержательно аргументирует стратегию решения проблемной ситуации на

		источников информации	основе системного подхода
ОПК-3 Способен разрабатывать математические модели и проводить их анализ при решении задач в области профессиональной деятельности	ОПК-3.1 Знает математические и имитационные модели, используемые при решении задач в области профессиональной деятельности;	ОПК-3.2 Умеет разрабатывать и применять математические и имитационные модели при решении задач прикладного анализа данных;	ОПК-3.3 Владеет навыками математического и имитационного моделирования

4 Структура и содержание учебной дисциплины

4.1 Трудоемкость учебной дисциплины

4.1.1 Трудоемкость учебной дисциплины для очной формы обучения:

Таблица 2 — Трудоемкость учебной дисциплины для очной формы обучения

Части учебной дисциплины	Всего	Распределение по семестрам
		2 семестр
1. Трудоемкость учебной дисциплины в зачетных единицах (ЗЕТ)	3	3
2. Контактная аудиторная работа в академических часах (АЧ)	27	27
3. Курсовая работа/курсовой проект (АЧ) <i>(при наличии)</i>		
4. Внеаудиторная СРС в академических часах (АЧ)	81	81
5. Промежуточная аттестация (зачет; дифференцированный зачет; экзамен) (АЧ)	зачет	

4.2 Содержание учебной дисциплины

Раздел № 1 Системы массового обслуживания с дискретным временем.

1.1. Общие характеристики систем массового обслуживания. Типовая структура системы массового обслуживания. Поток заявок, время и дисциплина обслуживания, очередь, эффективность системы. Классификация систем.

1.2. Система массового обслуживания как цепь Маркова. Нахождение предельного распределения, если вероятности поступления новых требований и освобождения каналов малы. Одноканальная и m-канальная системы с одинаковой производительностью каналов. Распределение Эрланга.

1.3. Системы с ограниченной и неограниченной очередью. Системы массового обслуживания с различной производительностью каналов. Системы с ограничением времени ожидания в очереди.

Раздел № 2 Системы массового обслуживания с непрерывным временем.

2.1. Система с простым потоком заявок и экспоненциальным временем обслуживания как цепь Маркова с непрерывным временем. Дифференциальные уравнения для системы массового обслуживания.

2.2. Одноканальная и m -канальная системы с одинаковой производительностью каналов. Распределение Эрланга. Системы с конечной и бесконечной очередью. Средняя длина очереди и среднее время ожидания. Условия неограниченного роста длины очереди. Коэффициент нагрузки системы.

2.3. Система с ожиданием и ограниченным потоком требований. Система с ожиданием и с ограниченным временем пребывания в очереди. Система с различной производительностью каналов. Система с бесконечным числом каналов. Численные методы решения дифференциальных уравнений, описывающих систему массового обслуживания.

Раздел № 3 Имитационное моделирование на основе системы GPSS.

3.1. Принципы работы с GPSS. Моделирование систем без очереди и с бесконечной очередью.

3.2. Моделирование многоканальных систем с конечной очередью. Моделирование систем с ограниченным временем ожидания в очереди.

3.3. Моделирование систем с пуассоновским потоком заявок. Моделирование систем с экспоненциальным временем обслуживания. Моделирование систем с разной производительностью каналов.

4.3 Трудоемкость разделов учебной дисциплины и контактной работы

Таблица 3 - Трудоемкость разделов учебной дисциплины

№	Наименование разделов (тем) учебной дисциплины, наличие КП/КР	Контактная работа (в АЧ)				Внеауд. СРС (в АЧ)	Формы текущего контроля
		Аудиторная			В т.ч. СРС		
		ЛЕК	ПЗ	ЛР			
1.	Системы массового обслуживания с дискретным временем.	3	6	-	1	27	Написание контрольной работы № 1
2.	Системы массового обслуживания с непрерывным временем.	3	6	-	2	27	Написание контрольной работы № 2
3.	Имитационное моделирование на основе системы GPSS.	3	6	-	2	27	Написание контрольной работы № 3
	Промежуточная аттестация						зачет
	ИТОГО	9	18	0	5	81	

4.4 Лабораторные работы и курсовые работы/курсовые проекты

4.4.1 Перечень тем лабораторных работ: Лабораторные работы не предусмотрены учебным планом.

4.4.2 Примерные темы курсовых работ/курсовых проектов: Курсовые работы /курсовые проекты не предусмотрены учебным планом.

5 Методические рекомендации по организации освоения учебной дисциплины

Таблица 4 - Методические рекомендации по организации лекций

№	Темы лекционных занятий (форма проведения)	Трудоемкость в АЧ
1.	Общие характеристики систем массового обслуживания (проблемная лекция).	1
2.	Одноканальная и m -канальная системы без очереди. Распределение Эрланга	1

	<i>(лекция-презентация)</i>	
3.	Системы с ограниченной и неограниченной очередью <i>(лекция-презентация)</i>	1
4.	Дифференциальные уравнения для системы массового обслуживания с непрерывным временем <i>(информационная лекция)</i>	1
5.	Система с ожиданием и ограниченным потоком требований <i>(лекция-презентация)</i>	1
6.	Система с ожиданием и с ограниченным временем пребывания в очереди <i>(лекция-презентация)</i>	1
7.	Принципы работы с GPSS <i>(лекция-презентация)</i>	1
8.	Моделирование систем без очереди и с бесконечной очередью	1
9.	Моделирование многоканальных систем с конечной очередью. Моделирование систем с ограниченным временем ожидания в очереди <i>(информационная лекция)</i> .	1
	ИТОГО	9

Таблица 5 - Методические рекомендации по организации практических занятий

№	Темы практических занятий (форма проведения)	Трудоемкость в АЧ
1.	Типовая структура системы массового обслуживания. Поток заявок, время и дисциплина обслуживания, очередь, эффективность системы. Классификация систем <i>(работа в группе)</i>	2
2.	Система массового обслуживания как цепь Маркова. Нахождение предельного распределения, если вероятности поступления новых требований и освобождения каналов малы <i>(работа в группе)</i>	2
3.	Системы с одинаковой и различной производительностью каналов <i>(работа в группе)</i>	2
4.	Система с простым потоком заявок и экспоненциальным временем обслуживания как цепь Маркова с непрерывным временем. Дифференциальные уравнения для системы массового обслуживания <i>(работа в группе)</i>	2
5.	Одноканальная и m -канальная системы с одинаковой производительностью каналов. Распределение Эрланга <i>(работа в группе)</i>	2
6.	Системы с конечной и бесконечной очередью. Средняя длина очереди и среднее время ожидания. Условия неограниченного роста длины очереди. Коэффициент нагрузки системы <i>(работа в группе)</i>	2
7.	Численные методы решения дифференциальных уравнений, описывающих систему массового обслуживания <i>((подготовка и обсуждение сообщения))</i>	2
8.	Принципы работы с GPSS. Моделирование систем без очереди и с бесконечной очередью <i>((подготовка и обсуждение сообщения))</i>	2
9.	Моделирование систем с пуассоновским потоком заявок. Моделирование систем с экспоненциальным временем обслуживания <i>((подготовка и обсуждение сообщения))</i>	2
	ИТОГО	18

6 Фонд оценочных средств учебной дисциплины

Фонд оценочных средств представлен в Приложении А.

7 Условия освоения учебной дисциплины

7.1 Учебно-методическое обеспечение

Учебно-методического обеспечение учебной дисциплины представлено в Приложении Б.

7.2 Материально-техническое обеспечение

Таблица 6 — Материально-техническое обеспечение учебной дисциплины

<i>№</i>	<i>Требование к материально-техническому обеспечению</i>	<i>Наличие материально-технического оборудования и программного обеспечения</i>
1.	Наличие специальной аудитории	Компьютерный класс 3105/2, 3105/5.
2.	Мультимедийное оборудование	Проектор, компьютер, экран, интерактивная доска
3.	Программное обеспечение	Программа «EXCEL»
4.	Аппаратное обеспечение	Кибернетический конструктор ТРИК

Приложение А
(обязательное)
Фонд оценочных средств
учебной дисциплины
Теория и моделирование систем массового обслуживания

1 Структура фонда оценочных средств

Фонд оценочных средств состоит из двух частей:

а) открытая часть - общая информация об оценочных средствах (название оценочных средств, проверяемые компетенции, баллы, количество вариантов заданий, методические рекомендации для применения оценочных средств и пр.), которая представлена в данном документе, а также те вопросы и задания, которые могут быть доступны для обучающегося;

б) закрытая часть - фонд вопросов и заданий, которая не может быть заранее доступна для обучающихся (экзаменационные билеты, вопросы к контрольной работе и пр.) и которая хранится на кафедре.

2 Перечень оценочных средств текущего контроля и форм промежуточной аттестации

Таблица А.1 — Перечень оценочных средств

№	Оценочные средства для текущего контроля	Разделы (темы) учебной дисциплины	Баллы	Проверяемые компетенции
1.	Контрольная работа 1	Системы массового обслуживания с дискретным временем.	40	УК-1
2.	Контрольная работа 2	Системы массового обслуживания с непрерывным временем.	40	УК-1
3.	Контрольная работа 3	Имитационное моделирование на основе системы GPSS.	40	ОПК-3
<i>Промежуточная аттестация</i>				
4.	Зачет		30	УК-1, ОПК-3
	ИТОГО		150	

3 Рекомендации к использованию оценочных средств

Таблица А.2 — Контрольная работа 1.

<i>Критерии оценки</i>	<i>Количество вариантов заданий</i>	<i>Количество заданий в одном варианте</i>
«3» 24-29 баллов. Решено не менее 50% задач. Не совсем точные и полные решения.	10	4
«4» 30-35 баллов. Решено не менее 75% задач. Достаточно точные и полные решения.		
«5» 36-40 баллов. Решено не менее 90% задач. Даны точные и полные решения.		

Пример задания:

В первых трех задачах всех вариантов рассматриваются системы массового обслуживания (СМО) с дискретным временем. Вероятность поступления заявки в каждый момент времени равна α , вероятность освобождения занятого канала β , причем $\alpha \ll 1$ и $\beta \ll 1$. Требуется начертить граф марковской цепи с указанием вероятностей переходов между состояниями, написать систему

для определения предельных вероятностей и ее решение. Четвертая задача – на повторение стандартных распределений теории вероятностей. Параметры зависят от варианта.

1. Рассмотреть СМО с отказами и a каналами. Написать выражения для вероятности отказа, среднего числа занятых каналов.
2. Рассмотреть СМО с b каналами и очередью на c заявки. Написать выражения для вероятности отказа, среднего числа свободных каналов, средней длины очереди.
3. Рассмотреть СМО с d каналами и бесконечной очередью. Написать выражения для среднего числа свободных каналов, средней длины очереди, вероятности того, что система свободна.
4. В партии из n деталей m бракованных. Оценить вероятность того, что в партии из k деталей бракованных S .

Таблица А.3 — Контрольная работа 2.

<i>Критерии оценки</i>	<i>Количество вариантов заданий</i>	<i>Количество заданий в одном варианте</i>
«3» 24-29 баллов. Решено не менее 50% задач. Не совсем точные и полные решения.	10	4
«4» 30-35 баллов. Решено не менее 75% задач. Достаточно точные и полные решения.		
«5» 36-40 баллов. Решено не менее 90% задач. Даны точные и полные решения.		

Пример задания:

В задачах 1-4 рассматриваются системы массового обслуживания (СМО) с непрерывным временем. Поток заявок на обслуживание простейший с плотностью λ , время обслуживания заявки экспоненциально с параметром μ . Требуется начертить граф марковской цепи с указанием плотностей переходных вероятностей, написать систему дифференциальных уравнений для определения вероятностей нахождения системы в различных состояниях и ее стационарное решение. Индивидуальные задания различаются параметрами α , β и λ , μ соответственно. Численные значения параметров даются преподавателем при описании требований к выполнению индивидуального задания.

1. Рассмотреть СМО с отказами и a каналами. Написать выражения для вероятности отказа, среднего числа занятых каналов.
2. Рассмотреть СМО с b каналами и очередью на c заявки. Написать выражения для вероятности отказа, среднего числа свободных каналов, средней длины очереди.
3. Рассмотреть СМО с d каналами и бесконечной очередью. Написать выражения для среднего числа свободных каналов, средней длины очереди, вероятности того, что система свободна.
4. Рассмотреть СМО, описывающую работу a станков и a ремонтников.

Таблица А.4 — Контрольная работа 3.

<i>Критерии оценки</i>	<i>Количество вариантов заданий</i>	<i>Количество заданий в одном варианте</i>
«3» 24-29 баллов. Решено не менее 50% задач. Не совсем точные и полные решения.	10	15
«4» 30-35 баллов. Решено не менее 75% задач. Достаточно точные и полные решения.		
«5» 36-40 баллов. Решено не менее 90% задач. Даны точные и		

полные решения.		
-----------------	--	--

Пример задания:

Знакомство с системой имитационного моделирования GPSS World, подготовкой задания на моделирование, выполнением анализа и обработкой результатов моделирования. Задания различаются по вариантам. Типовые задания следующие:

Задание 1. Для своей модели написать GPSS-программу, в которой

- а) транзакты появляются через интервалы от t_1 до t_2 условных единиц времени, распределенные по равномерному закону. За это время они успевают войти, обслужиться и выйти.

Выполнить анализ результатов, представить имитационную модель графически в виде блок-схемы, подготовить отчет о работе с представлением и объяснением полученных результатов.

Задание 2. Для своей модели написать GPSS-программу, в которой

- а) транзакты появляются через интервалы от t_1 до t_2 условных единиц времени, распределенные по равномерному закону. Обслуживаются и уходят, время обслуживания составляет от τ_1 до τ_2 условных единиц времени. Статистика очереди не ведется.

Выполнить анализ результатов, представить имитационную модель графически в виде блок-схемы, подготовить отчет о работе с представлением и объяснением полученных результатов.

Задание 3. Для своей модели написать GPSS-программу, в которой

- а) транзакты появляются через интервалы от t_1 до t_2 условных единиц времени, распределенные по равномерному закону. Обслуживаются и уходят, время обслуживания составляет от τ_1 до τ_2 условных единиц времени. Статистика очереди не ведется. Моделируется рабочий день (смена).

Выполнить анализ результатов, представить имитационную модель графически в виде блок-схемы, подготовить отчет о работе с представлением и объяснением полученных результатов.

При выполнении заданий рекомендуется ознакомиться с основными командами GPSS, окнами блоков, пошаговым режимом и другими возможностями программы.

Задание 4. Для своей модели написать GPSS-программу, в которой

- а) транзакты появляются через интервалы от t_1 до t_2 условных единиц времени, распределенные по равномерному закону. Обслуживаются и уходят, время обслуживания составляет от τ_1 до τ_2 условных единиц времени. Статистика очереди ведется. Задается количество входящих транзактов.

Выполнить анализ результатов, представить имитационную модель графически в виде блок-схемы, подготовить отчет о работе с представлением и объяснением полученных результатов.

Задание 5. Для Задания 4 выполнить анализ статистических данных об очереди заявок и загрузке обслуживающего устройства при разном соотношении времен генерации и обслуживания заявок (подобрать самостоятельно), построить графики длины очереди. Построить таблицу и гистограмму времен ожидания в очереди. Подготовить отчет о работе с представлением и объяснением полученных результатов.

Задание 6. Для своей модели написать GPSS-программу, в которой

- а) транзакты появляются через интервалы от t_1 до t_2 условных единиц времени, распределенные по равномерному закону. Очереди нет. Транзакты обслуживаются при условии свободного устройства, время обслуживания составляет от τ_1 до τ_2 условных единиц времени. Задается количество входящих транзактов.

Выполнить анализ результатов, представить имитационную модель графически в виде блок-схемы, подготовить отчет о работе с представлением и объяснением полученных результатов.

Задание 7. Для своей модели написать GPSS-программу, в которой

- а) транзакты появляются через интервалы от t_1 до t_2 условных единиц времени, распределенные по равномерному закону. Очередь имеет ограниченную длину (задать самостоятельно, посмотреть несколько значений). Время обслуживания составляет от τ_1 до τ_2 условных единиц времени. Задается количество входящих транзактов.

Выполнить анализ результатов, представить имитационную модель графически в виде блок-схемы, подготовить отчет о работе с представлением и объяснением полученных результатов, результаты представить таблично и графически.

Задание 8. Рассмотреть модели **Задания 6** для случая многоканального обслуживающего устройства. Посмотреть варианты, когда число каналов 2, 3 и 4.

Задание 9. Рассмотреть модели **Задания 7** для случая многоканального обслуживающего устройства. Посмотреть варианты, когда число каналов 2, 3 и 4. Очередь общая.

Задание 10. Рассмотреть модели **Задания 7** для случая многоканального обслуживающего устройства. Посмотреть варианты, когда число каналов 2, 3 и 4. Очереди к каждому каналу разные и имеют свою фиксированную длину.

Задание 11. Рассмотреть модели **Задания 7** для случая, когда входящий поток делится на два с различным временем обслуживания и одинаковым приоритетом.

Задание 12. Рассмотреть модели **Задания 11** для случая многоканального обслуживающего устройства. Посмотреть варианты, когда число каналов 2, 3 и 4. Очередь общая.

Задание 13. Рассмотреть модели **Задания 11** для случая многоканального обслуживающего устройства. Посмотреть варианты, когда число каналов 2, 3 и 4. Очереди к каждому каналу разные и имеют свою фиксированную длину.

Задание 14. Рассмотреть модели **Задания 7** для случая, когда в систему поступают два входящих потока с разными параметрами и приоритетами, каждый из которых затем делится на два с различным временем обслуживания.

Задание 15. Рассмотреть модели **Задания 14** для случая многоканального обслуживающего устройства.

Таблица А.5 — Зачет.

<i>Критерии оценки</i>	<i>Количество вариантов заданий</i>	<i>Количество вопросов</i>
«3» 18-22 балла. Не совсем точные и полные ответы.	14	3
«4» 23-26 балла. Достаточно точные и полные ответы.		
«5» 27-30 балла. Даны точные и полные ответы.		

Пример билета к зачету:

Новгородский государственный университет имени Ярослава Мудрого

Кафедра прикладной математики и информатики

Билет № ____

Учебная дисциплина: Теория и моделирование систем массового обслуживания

Для направления подготовки 01.04.02 Прикладная математика и информатика

1. СМО с дискретным временем с различной производительностью каналов.

2. Смоделировать в GPSS систему с ограниченным временем пребывания в очереди.
3. Задача на повторение стандартных распределений теории вероятностей.

Принято на заседании кафедры «_____» _____ 20__ г. Протокол № _____
Заведующий кафедрой _____ (ФИО)

Все материалы для проведения промежуточного контроля хранятся на кафедре.

Приложение Б
(обязательное)

Карта учебно-методического обеспечения

Учебной дисциплины: Теория и моделирование систем массового обслуживания

Таблица Б.1 – Основная литература

Библиографическое описание издания (автор, наименование, вид, место и год издания, кол. стр.)	Кол. экз. в библ. НовГУ	Наличие в ЭБС
Печатные источники		
1. Вероятностные разделы математики : учеб. для бакалавров техн. направлений / Под общ. ред. Ю.Д.Максимова. - СПб. : Иван Федоров, 2001. - 588с. : ил. - Библиогр.:с.587-588. - ISBN 5-81940-050-X : (в пер.) : 143.00.	13	
2. Моделирование систем массового обслуживания : сб. лаб. работ для студентов спец. 220400 / сост. В. В. Дронов ; Новгород. гос. ун-т им. Ярослава Мудрого. - Новгород, 1996. - 46с. - Библиогр.:с.45. - 835.00.	1	
Электронные ресурсы		
1. Система имитационного моделирования GPSS, GPSS World Student Version	http://gpss.ru/ http://www.minutemansoftware.com/downloads.asp	

Таблица Б.2 – Дополнительная литература

Библиографическое описание издания (автор, наименование, вид, место и год издания, кол. стр.)	Кол. экз. в библ. НовГУ	Наличие в ЭБС
Печатные источники		
1. Вентцель Е. С. Теория вероятностей : учеб. для студентов вузов / Е. С. Вентцель. - 7-е изд., стер. - М. : Высшая школа, 2001. - 575 с. : ил. - Указ.: с. 573-575. - ISBN 5-06-003650-2 : (в пер.) :	50	
Электронные ресурсы		
1. Курс ДО «Теория и моделирование систем массового обслуживания»	moodle.novsu.ru	

Зав. кафедрой

подпись

И.О. Фамилия

« 27 »

февраля

2018 г.

учебной дисциплины: Теория и моделирование систем массового обслуживания

Зав. кафедрой _____

Зав. кафедрой _____

Зав. кафедрой _____

Таблица В.1 — Перечень изменений, внесенных в рабочую программу:

[illegible]