

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Владимирский государственный университет  
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»  
(ВлГУ)

УТВЕРЖДАЮ

Проректор  
по образовательной деятельности

А.А.Панфилов

« 26 » 08 2019 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ  
«ТЕОРИЯ МАССОВОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ»**

Направление подготовки – 02.04.01 Математика и компьютерные науки

Профиль/программа подготовки – Математические методы в экономике и финансах

Уровень высшего образования – магистратура

Форма обучения – очная

Семестр	Трудоемкость зач. ед./ час.	Лекции, час.	Практич. занятия, час.	Лаборат. работы, час.	СРС, час.	Форма промежуточной аттестации (экзамен/зачет/зачет с оценкой)
3	3 / 108	18	-	18	72	Зачет
Итого	3 / 108	18	-	18	72	Зачет

Владимир 2019 г.

## 1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Целью изучения курса «Теория массового обслуживания» является формирование у студентов фундаментальных теоретических знаний и практических навыков моделирования с помощью ЭВМ систем массового обслуживания (СМО) и анализа операционных характеристик СМО, а также обучение студентов современным программным средствам для проектирования и разработки моделей систем массового обслуживания. В ходе изучения курса у студента должно формироваться представление о методах анализа систем массового обслуживания, создания их моделей, анализа полученных характеристик СМО по результатам использования модели.

В ходе достижения цели решаются следующие задачи:

- изучение и освоение основных теоретических методов и приёмов исследования систем массового обслуживания (СМО);
- обучение теории и практике моделирования СМО и определения их операционных характеристик;
- дальнейшее развитие логического и алгоритмического мышления;
- освоение принципов работы с современными средствами, предназначенными для проектирования моделей СМО;
- выработка умения самостоятельного решения задач по выбору метода и средства проектирования модели СМО, методов тестирования и определения качественных характеристик полученной модели;
- получение навыков в построении моделей СМО, в алгоритмизации задач, программировании и отладке программ, а также тестировании создаваемых программных модулей проектируемой модели СМО.

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП ВО

Дисциплина «Теория массового обслуживания» относится к вариативной части профессионального цикла для направления 02.04.01 «Математика и компьютерные науки» (магистратура). Логически и содержательно связана с другими дисциплинами профессионального и общенаучного циклов. Дисциплина «Теория массового обслуживания» рассматривает теоретические и практические вопросы проектирования и моделирования систем массового обслуживания. Дисциплина является прикладной дисциплиной, производной знаний, полученных от изучения базовых курсов «Теория вероятностей», «Математическая статистика», «Информатика» и экономико-математических дисциплин «Эконометрика», «Исследование операций» и др. и включает в себя чрезвычайно широкий спектр методов и задач, связанных с необходимостью моделирования технических систем и экономических процессов протекающих в системах массового обслуживания, классификации способов представления моделей систем, формализации объектов, процессов, явлений и реализации их моделей с использованием компьютерной техники.

Задачей курса является обучение студентов современным методам и средствам моделирования систем массового обслуживания, основанных на использовании передового математического аппарата и доступных средств разработки моделей систем массового обслуживания и наработка у студентов навыков их практического применения.

Для успешного изучения курса студенту необходимы знания основ теории вероятности, математической статистики, экономической теории, алгоритмизации и программирования, а также современных информационных технологий и теории информационных систем. Знания и навыки, получаемые студентами в результате изучения дисциплины, необходимы для подготовки к изучению следующих дисциплин: «Имитационное моделирование», «Математическое моделирование экономических процессов», «Теория оптимального управления экономическими системами», а также для дисциплин, связанных с моделированием систем. Данная программа построена в соответствии с требованиями Государственного образовательного стандарта и отражает основные разделы дисциплины.

### 3. ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения ОПОП

Код формируемых компетенций	Уровень освоения компетенции	Планируемые результаты обучения по дисциплине характеризующие этапы формирования компетенций (показатели освоения компетенции)
1	2	3
<b>УК-1.</b> Способен осуществлять критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, вырабатывать стратегию действий	Частичное	<p><b>Знать:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>основные понятия и методы теории массового обслуживания;</li> <li>методы определения характеристик систем и сетей массового обслуживания;</li> </ul> <p><b>Уметь:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>анализировать полученное решение.</li> </ul> <p><b>Владеть:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>навыками составления математических моделей систем массового обслуживания;</li> <li>навыками использования анализа систем массового обслуживания в профессиональной практической деятельности.</li> </ul>
<b>ПК-3.</b> Способен проводить методические и экспертные работы в области математики и информатики	Частичное	<p><b>Знать:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>возможности, ограничения и сферу применения различных типов моделей, используемых при анализе систем массового обслуживания (СМО).</li> </ul> <p><b>Уметь:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>идентифицировать проблему и выбрать соответствующую модель и программное обеспечение, грамотно интерпретировать результаты моделирования, выбирать рациональные варианты действий в практических задачах принятия решений с использованием методов и моделей теории массового обслуживания;</li> <li>реализовать методы теории массового обслуживания.</li> </ul> <p><b>Владеть:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>навыками использования возможностей информационных технологий для построения и анализа эффективных решений в области СМО.</li> </ul>

### 4. ОБЪЕМ И СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

Трудоемкость дисциплины составляет 3 зачетных единицы, 108 часов.

№ п/п	Наименование тем и/или разделов/тем дисциплины	Семестр	Неделя семестра	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу студентов и трудоемкость (в часах)				Объем учебной работы, с применением интерактивных методов (в часах / %)	Формы текущего контроля успеваемости, форма промежуточной аттестации (по семестрам)
				Лекции	Практические занятия	Лабораторные работы	СРС		
1	Предмет, цель и задачи теории массового обслуживания.	3	1-2	2		2	8	2/50%	
2	Дискретный марковский случайный процесс (СП).	3	3-4	2		2	8	2/50%	

3	Дискретный СП с дискретным временем.	3	5-6	2	2	8	2/50%	Рейтинг-контроль 1.
4	Дискретный марковский случайный процесс с непрерывным временем.	3	7-8	2	2	8	2/50%	
5	Предельные вероятности.	3	9-10	2	2	8	2/50%	
6	Структура и классификация систем массового обслуживания.	3	11-12	2	2	8	2/50%	Рейтинг-контроль 2.
7	Многоканальная СМО с отказами.	3	13-14	2	2	8	2/50%	
8	Многоканальная СМО с ожиданием. Многоканальная СМО с ожиданием и ограничением на длину очереди.	3	15-16	2	2	8	2/50%	
9	Многоканальная СМО без ограничения на длину очереди, но с ограничением на время ожидания.	3	17-18	2	2	8	2/50%	Рейтинг-контроль 3.
Всего за 3 семестр:				18	18	72	18/50%	<b>Зачет</b>
Итого по дисциплине				18	18	72	18/50%	<b>Зачет</b>

### Содержание лекционных занятий по дисциплине

#### **Тема 1. Предмет, цель и задачи теории массового обслуживания.**

Общая характеристика систем массового обслуживания (СМО). Примеры реализации СМО в различных финансово-экономических, логистических, компьютерных и других сферах. Одноканальные, многоканальные СМО. Основные элементы СМО.

#### **Тема 2. Дискретный марковский случайный процесс (СП).**

Случайные величины и процессы. Свойство марковости и марковский случайный процесс. Графы состояний системы. Элементы графов состояний системы. Реализация случайного процесса. Матрица состояний системы.

#### **Тема 3. Дискретный СП с дискретным временем.**

Дискретный СП с дискретным временем. Марковская цепь. Переходные вероятности и матрица переходных вероятностей. Размеченный граф состояний системы.

#### **Тема 4. Дискретный марковский случайный процесс с непрерывным временем.**

Дискретный марковский процесс с непрерывным временем. Плотности вероятностей перехода. Размеченный граф состояний системы.

#### **Тема 5. Предельные вероятности.**

Предельный стационарный режим. Предельная вероятность состояний системы. Понятие регулярности марковской цепи.

#### **Тема 6. Структура и классификация систем массового обслуживания.**

Марковские СМО. Дисциплина обслуживания СМО. Возможные ограничения работы СМО. Классификация СМО.

#### **Тема 7. Многоканальная СМО с отказами.**

Определение входящего и выходящего потоков СМО. Построение размеченного графа состояний СМО с отказами. Параметры многоканальной СМО с отказами, предельные характеристики эффективности функционирования. Пример вычисления значений характеристик СМО, решение задач.

**Тема 8. Многоканальная СМО с ожиданием. Многоканальная СМО с ожиданием и ограничением на длину очереди.**

Определение места очереди в работе СМО. Рассмотрение размеченного графа состояний СМО с ожиданием и ограничением на длину очереди. Ввод показателя загрузки одного канала и его место в работе всей системы. Вывод параметров и предельных характеристик эффективности функционирования СМО. Решение задач с очередями. Рассмотрение существования СМО с

бесконечным количеством состояний. Построение графа состояний СМО с ожиданием. Взаимосвязь показателя нагрузки и стационарного режима работы системы, особенности достижения стационарного режима. Параметры многоканальной СМО с ожиданием, описание предельных характеристик эффективности функционирования. Решение задач работы СМО с ожиданием и без ограничений.

**Тема 9. Многоканальная СМО без ограничения на длину очереди, но с ограничением на время ожидания.**

Размеченный граф состояний, параметры, предельные характеристики эффективности функционирования, особенности достижения стационарного режима.

### Содержание лабораторных занятий по дисциплине

Лабораторные занятия являются одним из важнейших видов учебных занятий. Они способствуют максимально эффективному закреплению изучаемого материала на основе углубленной самостоятельной работы студентов в процессе подготовки к лабораторным занятиям.

В процессе выполнения лабораторных работ студенты активно используют ресурсы супер-ЭВМ «СКИФ-Мономах» для получения практических навыков программной реализации рассматриваемых моделей.

В программе курса предусмотрены лабораторные работы (ЛР).

**Лабораторная работа № 1.** Определение характеристик случайной функции из опыта.

Над случайной величиной  $X(t)$  произведено  $n$  независимых опытов и в результате получено  $n$  реализаций случайной функции. Требуется найти оценки для характеристик случайных функции: ее математического ожидания  $m_x(t)$ , дисперсии  $D_x(t)$ , и корреляционной функции  $K_x(t_k, t_l)$ .

**Лабораторная работа № 2.** Преобразование стационарной случайной функции стационарной линейной системой.

Пусть на вход линейной системы  $L$  поступает стационарная функция  $X(t)$ ; реакция системы есть случайная функция  $Y(t)$ . Известны характеристики случайной функции  $X(t)$ : математическое ожидание  $m_x$  и корреляционная функция  $k_x(\tau)$ . Требуется определить характеристики случайной функции  $Y(t)$  на выходе линейной системы.

**Лабораторная работа № 3.** Марковский процесс с дискретными состояниями и дискретным временем.

Построить матрицу переходов для стохастической маршрутизации в сетях с коммутацией пакетов. Проверить матрицу на стохастичность и цепь Маркова на эргодичность.

**Лабораторная работа № 4.** Исследование СМО с отказами.

Исследовать систему массового обслуживания с отказами и ее характеристики качества.

**Лабораторная работа № 5.** Моделирование реального процесса обслуживания СМО с отказами.

Сравнить значения характеристик качества СМО с явными потерями, полученными в результате моделирования и рассчитанными по первой формуле Эрланга.

**Лабораторная работа № 6.** Исследование  $N$ -канальной СМО с ожиданием.

Изучить систему массового обслуживания с ожиданием и ее характеристики.

**Лабораторная работа № 7.** Моделирование реального процесса обслуживания СМО с неограниченной очередью.

Сравнить значения характеристик качества СМО с неограниченной очередью, полученные в результате моделирования и теоретического расчета.

**Лабораторная работа № 8.** Система массового обслуживания  $G/G/1$ . Исследование зависимостей параметров от типа функций распределения управляющих последовательностей.

Моделирование поведения системы массового обслуживания. Сравнение аналитических и статистических оценок стационарных характеристик для различных видов управляющих последовательностей.

**Лабораторная работа № 9.** Система массового обслуживания  $M/G/1$ . Формула Хинчина – Поллачека.

Проверить корректность формулы Поллачека – Хинчина на примере систем типа  $M/M/1$  и  $M/D/1$ .

## 5. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

В преподавании дисциплины «Теория массового обслуживания» используются разнообразные образовательные технологии как традиционные, так и с применением активных и интерактивных методов обучения.

Активные и интерактивные методы обучения:

1. Лекционно-семинарская система обучения (традиционные лекционные занятия) (темы 1-5);
2. Применение мультимедиа технологий (проведение лекционных занятий с применением компьютерных презентаций) (темы 6-9);
3. Информационно-коммуникационные технологии (применение информационных технологий для мониторинга текущей успеваемости студентов и контроля знаний).

## 6. ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ УСПЕВАЕМОСТИ, ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ПО ИТОГАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ И УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТОВ

В рамках документа «Положение о рейтинговой системе комплексной оценки знаний студентов» разработан регламент проведения и оценивания контрольных действий. Процедура оценивания знаний, умений, навыков по дисциплине включает учёт успешности выполнения ряда мероприятий: текущего контроля (контрольных работ, рейтинг-контролей); самостоятельной работы (типовых расчетов, курсовых работ и др.) и промежуточной аттестации (зачёта, зачета с оценкой или экзамена).

### Текущий контроль успеваемости

#### Рейтинг-контроль 1.

1. Что понимается под системами массового обслуживания (СМО) и для чего они предназначены?
2. В чем стоит цель, предмет задачи теории СМО?
3. Что понимается под характеристикой эффективности работы СМО?
4. Какой процесс называется случайным? Приведите примеры.
5. Какой СП называется марковским?
6. Что представляет собой граф состояний системы?
7. Какие СП называются дискретными?
8. Какие СП называются непрерывными?
9. Дайте определение СП с дискретным и непрерывным временем.
10. Что называется Марковской цепью?
11. Что собой представляют вероятности состояний?
12. Какая Марковская цепь называется однородной (неоднородной)?

#### Рейтинг-контроль 2.

1. Дайте определение вероятностей состояний системы, в которой протекает Марковский случайный процесс с непрерывным временем.
2. Что называется плотностью вероятности перехода системы из состояния в состояние?
3. Дайте определение однородного и неоднородного Марковского дискретного процесса с непрерывным временем.
4. Определите размеченный граф состояний системы, в которой протекает Марковский случайный процесс с непрерывным временем.
5. На какие классы делятся СМО в зависимости от:
  - а. характера потоков;
  - б. числа каналов;
  - в. дисциплины обслуживания;
  - г. ограничения потока заявок;
  - д. количества этапов обслуживания.
6. Как выглядит размеченный граф для многоканальной СМО с отказами?
7. Перечислите основные предельные характеристики эффективности функционирования n-канальной СМО с отказами.
8. Нарисуйте размеченный граф состояний для n-канальной СМО с числом мест в очереди равным

т.

9. Нарисуйте размеченный граф состояний для  $n$ -канальной СМО с ожиданием.

### Рейтинг - контроль 3.

1. Нарисуйте размеченный граф состояний для  $n$ -канальной СМО с ограничением на время ожидания.
2. Нарисуйте размеченный граф состояний для замкнутой  $n$ -канальной СМО.
3. Сформулируйте условие существования финальных вероятностей замкнутой  $n$ -канальной СМО.
4. Нарисуйте размеченный граф состояний для  $n$ -канальной СМО с отказами и взаимопомощью между каналами типа «все как один».
5. Нарисуйте размеченный граф состояний для  $n$ -канальной СМО с ожиданием, ограничением на длину очереди и взаимопомощью между каналами типа «все как один».
6. СМО какого типа имеет такой же граф состояний?
7. Нарисуйте размеченный граф состояний для  $n$ -канальной СМО с ожиданием и взаимопомощью между каналами типа «все как один».
8. СМО какого типа имеет такой же граф состояний?
9. Нарисуйте размеченный граф состояний для  $n$ -канальной СМО с отказами и
10. «равномерной» взаимопомощью между каналами.
11. СМО какого типа имеет такой же граф состояний?
12. Нарисуйте размеченный граф состояний для  $n$ -канальной СМО с ожиданием, ограничением на длину очереди и «равномерной» взаимопомощью между каналами.
13. СМО какого типа имеет такой же граф состояний?
14. Нарисуйте размеченный граф состояний для  $n$ -канальной СМО с ожиданием и «равномерной» взаимопомощью между каналами.
15. СМО какого типа имеет такой же граф состояний?

Для самостоятельного изучения студентам отводится 7 тем дисциплины «Теория массового обслуживания». Студенты должны самостоятельно найти и изучить материал согласно представленных тем и после защитить отработанный материал в виде представления доклада и ответов на сопутствующие выступлению (или письменной сдаче) вопросы.

- Тема 1. Замкнутая многоканальная СМО.
- Тема 2. Многоканальная СМО с отказами и с взаимопомощью между каналами типа «все как один».
- Тема 3. Многоканальная СМО с ожиданием, ограничением на длину очереди и с взаимопомощью между каналами типа «все как один».
- Тема 4. Многоканальная СМО с ожиданием и взаимопомощью между каналами типа «все как один».
- Тема 5. Многоканальная СМО с отказами и «равномерной» взаимопомощью между каналами.
- Тема 6. Многоканальная СМО с ожиданием, ограничением на длину очереди и «равномерной».
- Тема 7. Многоканальная СМО с ожиданием и «равномерной» взаимопомощью между каналами.

### Контрольные вопросы для оценки качества освоения учебной дисциплины (вопросы к зачету).

#### Тема 1. Предмет, цель и задачи теории массового обслуживания.

1. Что понимается под системами массового обслуживания (СМО) и для чего они предназначены?
2. В чем состоит цель, предмет задачи теории СМО?
3. Какие блоки включает схема СМО?
4. Что понимается под характеристикой эффективности работы СМО?
5. Случайный процесс какого типа протекает в СМО?

#### Тема 2. Дискретный марковский случайный процесс (СП)

1. Какой процесс называется случайным? Приведите примеры.
2. Какой СП называется марковским?

3. Что представляет собой граф состояний системы?
4. Какие СП называются дискретными?
5. Какие СП называются непрерывными?
6. Дайте определение состояния без выхода, без входа.
7. Какая система называется эргодической?

### **Тема 3. Дискретный СП с дискретным временем**

1. Дайте определение СП с дискретным и непрерывным временем.
2. Что называется Марковской цепью?
3. Что собой представляют вероятности состояний?
4. Какая Марковская цепь называется однородной (неоднородной)?

### **Тема 4. Дискретный Марковский случайный процесс с непрерывным временем**

1. Дайте определение вероятностей состояний системы, в которой протекает Марковский случайный процесс с непрерывным временем.
2. Что называется плотностью вероятности перехода системы из состояния в состояние?
3. Дайте определение однородного и неоднородного Марковского дискретного процесса с непрерывным временем.
4. Определите размеченный граф состояний системы, в которой протекает Марковский случайный процесс с непрерывным временем.

### **Тема 5. Предельные вероятности.**

1. Какова физическая интерпретация предельных вероятностей состояний дискретной Марковской системы с непрерывным временем?
2. Как составляется система линейных алгебраических уравнений с неизвестными предельными вероятностями по размеченному графу состояний системы?
3. Как составляется система линейных алгебраических уравнений с неизвестными предельными вероятностями по матрице плотностей вероятностей перехода?

### **Тема 6. Структура и классификация систем массового обслуживания**

На какие классы делятся СМО в зависимости от:

- а. характера потоков;
- б. числа каналов;
- в. дисциплины обслуживания;
- г. ограничения потока заявок;
- д. количества этапов обслуживания.

### **Тема 7. Многоканальная СМО с отказами**

1. Кто впервые занимался исследованием многоканальных СМО с отказами?
2. Как называется модель случайного процесса, протекающего в многоканальной СМО с отказами?
3. Что понимается под «потоком обслуживаний» заявок?
4. Как выглядит размеченный граф для многоканальной СМО с отказами?
5. Какие вероятности состояний СМО называются предельными и какой режим функционирования они характеризуют?
6. Что представляет собой приведенная интенсивности входящего потока и какова единица измерения этого показателя?
7. Перечислите основные предельные характеристики эффективности функционирования  $n$ -канальной СМО с отказами.

### **Тема 8. Многоканальная СМО с ожиданием и ограничением на длину очереди**

1. Чему равно число состояний  $n$ -канальной СМО с числом мест в очереди равным  $m$ ?
2. Нарисуйте размеченный граф состояний для  $n$ -канальной СМО с числом мест в очереди равным  $m$ .
3. С вероятностью какого состояния совпадает вероятность отказа?
4. Сформулируйте условие существования финальных вероятностей для  $n$ -канальной СМО с числом мест в очереди равным  $m$ .

### **Тема 9. Многоканальная СМО с ожиданием**

1. Чему равно число состояний  $n$ -канальной СМО с ожиданием?
2. Нарисуйте размеченный граф состояний для  $n$ -канальной СМО с ожиданием.
3. Сформулируйте условие существования финальных вероятностей для  $n$ -канальной СМО с



ожиданием.

4. Чему равны абсолютная и относительная пропускные способности  $n$ -канальной СМО с ожиданием?
5. С какими характеристиками эффективности  $n$ -канальной СМО с ожиданием совпадает среднее число занятых каналов данной системы?
6. Как связаны между собой временные характеристики «среднее время обслуживания одной заявки, относящееся ко всем заявкам» и «среднее время обслуживания одной заявки, относящееся только к обслуженным заявкам» для  $n$ -канальной СМО с ожиданием?

**Тема 10. Многоканальная СМО без ограничения на длину очереди, но с ограничением на время ожидания.**

1. Чему равно число состояний для  $n$ -канальной СМО с ограничением на время ожидания?
2. Нарисуйте размеченный граф состояний для  $n$ -канальной СМО с ограничением на время ожидания.
3. Сформулируйте условие существования финальных вероятностей для  $n$ -канальной СМО с ограничением на время ожидания.
4. Какой поток действует на  $n$ -канальную СМО с ограничением на время ожидания в состоянии очереди?
5. Что показывает приведенная интенсивность потока уходов?
6. Чему равны вероятности принятия в систему и отказа для  $n$ -канальной СМО с ограничением на время ожидания?

**Тема 11. Замкнутая многоканальная СМО**

1. Кто впервые дал полный анализ замкнутых систем?
2. Чему равно число состояний замкнутой  $n$ -канальной СМО?
3. Нарисуйте размеченный граф состояний для замкнутой  $n$ -канальной СМО.
4. Сформулируйте условие существования финальных вероятностей замкнутой  $n$ -канальной СМО.
5. Перечислите отличия замкнутых СМО от разомкнутых.
6. В каком случае интенсивность входящего потока заявок существенно зависит от состояний замкнутой  $n$ -канальной СМО?
7. Что понимается под активным и пассивным состояниями источника заявок?
8. Справедливы ли формулы Литтла для систем Энгсета?

**Тема 12. Многоканальная СМО с отказами и с взаимопомощью между каналами типа «все как один»**

1. Нарисуйте размеченный граф состояний для  $n$ -канальной СМО с отказами и взаимопомощью между каналами типа «все как один».
2. Как влияет взаимопомощь между каналами по типу «все как один» на характеристики эффективности для  $n$ -канальной СМО с отказами?

**Тема 13. Многоканальная СМО с ожиданием, ограничением на длину очереди и с взаимопомощью между каналами типа «все как один»**

1. Нарисуйте размеченный граф состояний для  $n$ -канальной СМО с ожиданием, ограничением на длину очереди и взаимопомощью между каналами типа «все как один».
2. СМО какого типа имеет такой же граф состояний?
3. Как влияет взаимопомощь между каналами по типу «все как один» на характеристики эффективности для  $n$ -канальной СМО с ожиданием и ограничением на длину очереди?

**Тема 14. Многоканальная СМО с ожиданием и взаимопомощью между каналами типа «все как один»**

1. Нарисуйте размеченный граф состояний для  $n$ -канальной СМО с ожиданием и взаимопомощью между каналами типа «все как один».
2. СМО какого типа имеет такой же граф состояний?
3. Сформулируйте условие существования финальных вероятностей  $n$ -канальной СМО с ожиданием и взаимопомощью между каналами типа «все как один».
4. Как влияет взаимопомощь между каналами по типу «все как один» на характеристики эффективности для  $n$ -канальной СМО с ожиданием?

**Тема 15. Многоканальная СМО с отказами и «равномерной» взаимопомощью между каналами**

1. Как организована «равномерная» взаимопомощь между каналами?

- Нарисуйте размеченный граф состояний для n-канальной СМО с отказами и «равномерной» взаимопомощью между каналами.
- СМО какого типа имеет такой же граф состояний?
- Как влияет «равномерная» взаимопомощь между каналами на характеристики эффективности для n-канальной СМО с отказами?

**Тема 16. Многоканальная СМО с ожиданием, ограничением на длину очереди и «равномерной» взаимопомощью между каналами**

- Нарисуйте размеченный граф состояний для n-канальной СМО с ожиданием, ограничением на длину очереди и «равномерной» взаимопомощью между каналами.
- СМО какого типа имеет такой же граф состояний?
- Как влияет «равномерная» взаимопомощь между каналами на характеристики эффективности для n-канальной СМО с ожиданием и ограничением на длину очереди?
- Сравните влияние «равномерной» взаимопомощи между каналами с взаимопомощью по типу «все как один» на характеристики эффективности n-канальной СМО с ожиданием и ограничением на длину очереди.

**Тема 17. Многоканальная СМО с ожиданием и «равномерной» взаимопомощью между каналами**

- Нарисуйте размеченный граф состояний для n-канальной СМО с ожиданием и «равномерной» взаимопомощью между каналами.
- СМО какого типа имеет такой же граф состояний?
- Как влияет «равномерная» взаимопомощь между каналами на характеристики эффективности для n-канальной СМО с ожиданием?
- Сравните влияние «равномерной» взаимопомощи между каналами с взаимопомощью по типу «все как один» на характеристики эффективности n-канальной СМО с ожиданием.

Фонд оценочных средств для проведения аттестации уровня сформированности компетенций обучающихся по дисциплине оформляется отдельным документом.

**7. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

**7.1. Книгообеспеченность**

Наименование литературы: автор, название, вид издания, издательство	Год издания	КНИГООБЕСПЕЧЕННОСТЬ	
		Количество экземпляров изданий в библиотеке ВлГУ в соответствии с ФГОС ВО	Наличие в электронной библиотеке ВлГУ
1	2	3	4
Основная литература			
1. Теория систем массового обслуживания [Электронный ресурс]: учебное пособие/ — Электрон. текстовые данные.— Ставрополь: Северо-Кавказский федеральный университет, 2017.— 134 с.	2017		<a href="http://www.iprbookshop.ru/75605.html">http://www.iprbookshop.ru/75605.html</a>
2. Самусевич Г.А. Основы теории массового обслуживания [Электронный ресурс]: практикум/ Самусевич Г.А.— Электрон. текстовые данные.— Екатеринбург: Уральский федеральный университет, ЭБС АСВ, 2014.— 44 с.	2014		<a href="http://www.iprbookshop.ru/68270.html">http://www.iprbookshop.ru/68270.html</a>
3. Основы теории массового обслуживания для экономистов: Учебник/Г.А.Соколов - М.: НИЦ ИНФРА-М, 2015. - 128 с.: 60x90 1/16. - (Высшее образование: Бакалавриат) (Обложка) ISBN 978-5-16-010055-5	2015		<a href="http://znanium.com/catalog.php?bookinfo=468554">http://znanium.com/catalog.php?bookinfo=468554</a>
Дополнительная литература			
1. Кирьянова Л.В., Теория случайных процессов [Электронный ресурс] / Л.В. Кирьянова, А.Ю. Лемина, Т.А. Мацевич - М. : Издательство МИСИ	2017		<a href="http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785726415840.html">http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785726415840.html</a>

- МГСУ, 2017. - 98 с. - ISBN 978-5-7264-1584-0			
2. Теория случайных процессов для экономистов [Электронный ресурс] / Соколов Г.А. - М. : ФИЗМАТЛИТ, 2010. - 208 с. - ISBN 978-5-9221-1100-3.	2010		<a href="http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785922111003.html">http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785922111003.html</a>

## 7.2. Периодические издания

1. Успехи математических наук, Журнал РАН (корпус 3, ауд. 414) (1 шт)
2. Автоматика и телемеханика, Журнал РАН (корпус 3, ауд. 414) (1 шт)

## 7.3. Интернет-ресурсы

1. <http://lib.mexmat.ru>
2. <http://www.mathnet.ru/>
3. <http://exponenta.ru/>
4. <http://www.edu.ru/>
5. <http://www.scilab.org>
6. <http://allmath.com/>

## 8. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Для реализации данной дисциплины имеются специальные помещения для проведения занятий лекционного и практического типа.

- Лекционная аудитория (318-3): 75 посадочных мест, мультимедийный проектор с автоматическим экраном.
- Лаборатория численных методов (405-3): 25 посадочных мест, 13 персональных компьютеров со специализированным программным обеспечением, мультимедийный проектор с экраном.
- Электронные учебные материалы на компакт -дисках.

Перечень используемого лицензионного программного обеспечения:

- Microsoft Excel;
- Maple;
- Scilab;
- MATLAB.

Рабочую программу составил старший преподаватель Рубай Р.В.



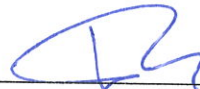
(подпись)

Рецензент (представитель работодателя):  
зам. директора по развитию ООО «Баланс» Кожин А. В.



(подпись)

Программа рассмотрена и одобрена на заседании кафедры ФАиП  
Протокол № 1а от 26.08.2019 года  
Заведующий кафедрой Бурков В. Д.



(подпись)

Рабочая программа рассмотрена и одобрена на заседании учебно-методической комиссии  
направления 02.04.01 Математика и компьютерные науки  
Протокол № 1а от 26.08.2019 года  
Председатель комиссии: заведующий кафедрой Бурков В. Д.



(подпись)

**ЛИСТ ПЕРЕУТВЕРЖДЕНИЯ  
РАБОЧЕЙ ПРОГРАММЫ ДИСЦИПЛИНЫ**

Рабочая программа одобрена на \_\_\_\_\_ учебный год

Протокол заседания кафедры № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_ года

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_

Рабочая программа одобрена на \_\_\_\_\_ учебный год

Протокол заседания кафедры № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_ года

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_

Рабочая программа одобрена на \_\_\_\_\_ учебный год

Протокол заседания кафедры № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_ года

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_

## ЛИСТ РЕГИСТРАЦИИ ИЗМЕНЕНИЙ

в рабочую программу дисциплины «Теория массового обслуживания»  
образовательной программы направления подготовки 02.04.01 Математика и компьютерные науки,  
направленность: Математические методы в экономике и финансах (магистратура).

Номер изменения	Внесены изменения в части/разделы рабочей программы	Исполнитель ФИО	Основание (номер и дата протокола заседания кафедры)
1			
2			

Зав. кафедрой \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_

Подпись

ФИО