

МИНОБРНАУКИ РОССИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
(ФГБОУ ВО «ВГУ»)

**УТВЕРЖДАЮ**

Заведующий кафедрой  
цифровых технологий



/ Кургалин С.Д.

22.04.2024 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

Б1.В.ДВ.01.02.04 ТЕОРИЯ МАССОВОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ

**1. Код и наименование направления подготовки/специальности:**

02.03.01 Математика и компьютерные науки

**2. Профиль подготовки/специализация:**

математическое и программное обеспечение информационных систем и технологий

**3. Квалификация выпускника: бакалавр**

**4. Форма обучения: очная**

**5. Кафедра, отвечающая за реализацию дисциплины: цифровых технологий**

**6. Составители программы:**

Семенов Михаил Евгеньевич, д.ф.-м.н., профессор

**7. Рекомендована: НМС ФКН (протокол № 5 от 05.03.2024)**

**8. Учебный год: 2026-2027 Семестр: 6**

## 9. Цели и задачи учебной дисциплины

Целью изучения дисциплины является формирование у студентов достаточных теоретических знаний и практических навыков по использованию методов и моделей теории массового обслуживания в профессиональной деятельности, в том и числе, при их программной реализации на компьютерах.

Задачи дисциплины: формирование необходимого минимума специальных теоретических знаний и практических навыков по следующим направлениям: исследование марковских случайных процессов, разработка моделей систем и сетей массового обслуживания при проектировании телекоммуникационных и производственных систем.

## 10. Место учебной дисциплины в структуре ООП

Дисциплина относится к блоку Б1 учебного плана (часть, формируемая участниками образовательных отношений, дисциплины по выбору).

## 11. Планируемые результаты обучения по дисциплине/модулю (знания, умения, навыки), соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями) и индикаторами их достижения:

| Код  | Название компетенции  | Код(ы) | Индикатор(ы)   | Планируемые результаты обучения   |
|------|---|--------|--|---|
| ПК-1 | Способен демонстрировать базовые знания математических и естественных наук, основ программирования и информационных технологий. | ПК-1.1 | Обладает базовыми знаниями, полученными в области математических и (или) естественных наук, программирования и информационных технологий | Знать: назначение теории массового обслуживания в задачах информационного обеспечения, ее основные модели применительно к задачам оптимизации производственной деятельности   |
|      |   | ПК-1.2 | Умеет находить, формулировать и решать стандартные задачи в собственной научно-исследовательской деятельности в математике и информатике | Уметь: проводить анализ трафика информационных потоков, показателей качества функционирования и других параметров телекоммуникационных сетей, использовать методы теории массового обслуживания при решении задач исследования и оптимизации параметров инфокоммуникационных систем |
|      |   | ПК-1.3 | Имеет практический опыт научно-исследовательской деятельности в математике и информатике   | Владеть: способностью применять новые перспективные средства ТМО для обеспечения оптимального функционирования телекоммуникационных сетей и производственных систем.  |

## 12. Объем дисциплины в зачетных единицах/час. — 2/72.

Форма промежуточной аттестации – зачёт с оценкой.

### 13. Трудоемкость по видам учебной работы

| Вид учебной работы     |              | Трудоемкость |              |
|------------------------|--------------|--------------|--------------|
|                        |              | Всего        | По семестрам |
|                        |              |              | 6 сем.       |
| Аудиторные занятия     |              | 32           | 32           |
| в том числе:           | лекции       | 16           | 16           |
|                        | практические |              |              |
|                        | лабораторные | 16           | 16           |
| Самостоятельная работа |              | 40           | 40           |
| Зачёт с оценкой        |              |              |              |
| Итого:                 |              | 72           | 72           |

#### 13.1. Содержание дисциплины

| №п/п                           | Наименование раздела дисциплины                        | Содержание раздела дисциплины  | Реализация раздела дисциплины с помощью онлайн-курса, ЭУМК* |
|--------------------------------|--|--|---|
| <b>1. Лекции</b>               |  |  |   |
| 1.1                            | Введение   | Введение. Понятия, определения, терминология аппарата теории массового обслуживания. Исследование функциональной модели массового обслуживания.        |   |
| 1.2                            | Модели массового обслуживания                          | Классификация моделей массового обслуживания. Анализ алгоритмов дисциплин буферизации и дисциплин обслуживания   |   |
| 1.3                            | Потоки событий   | Виды моделей потоков событий. Анализ функций распределения, числовых характеристик потоков событий. Простейшие потоки событий                          |   |
| 1.4                            | Марковские процессы                                    | Марковские процессы с конечным числом состояний и дискретным временем. Процесс гибели и размножения  |   |
| 1.5                            | Исследование систем массового обслуживания             | Методы исследования СМО с простейшими потоками событий. СМО с отказами. Уравнения Колмогорова. СМО с простейшими потоками: СМО с бесконечной очередью. |   |
| 1.6                            | Полумарковские процессы                                | Полумарковские процессы. СМО с полумарковскими процессами.   |   |
| <b>2. Лабораторные занятия</b> |  |  |   |
| 2.1                            | Системы массового обслуживания с отказами.             | Имитационное моделирование динамики СМО с отказами   |   |
| 2.2                            | Системы массового обслуживания с бесконечной очередью. | Имитационное моделирование СМО с бесконечной очередью  |   |
| 2.3                            | Уравнения Колмогорова.                                 | Предельные вероятности, уравнения Колмогорова  |   |
| 2.4                            |  | Полумарковские СМО: количественная оценка характеристик в рамках имитационного моделирования   |   |

#### 13.2. Темы (разделы) дисциплины и виды занятий

| №п/п | Наименование темы (раздела) дисциплины | Виды занятий (количество часов) |              |              |                        |       |
|------|--|---------------------------------|--------------|--------------|------------------------|-------|
|      |  | Лекции                          | Практические | Лабораторные | Самостоятельная работа | Всего |
| 1    | Введение                               | 2                               |              | 2            | 4                      | 8     |

|   |  |    |  |    |    |    |
|---|--|----|--|----|----|----|
| 2 | Модели массового обслуживания              | 2  |  | 2  | 6  | 10 |
| 3 | Потоки событий                             | 2  |  | 2  | 6  | 10 |
| 4 | Марковские процессы                        | 4  |  | 4  | 10 | 18 |
| 5 | Исследование систем массового обслуживания | 4  |  | 4  | 10 | 18 |
| 6 | Полумарковские процессы                    | 2  |  | 2  | 4  | 8  |
|   | Итого:                                     | 16 |  | 16 | 40 | 72 |

#### 14. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины:

Освоение дисциплины складывается из аудиторной работы (учебной деятельности, выполняемой под руководством преподавателя) и внеаудиторной работы (учебной деятельности, реализуемой обучающимся самостоятельно).

Аудиторная работа состоит из работы на лекциях и выполнения практических (или лабораторных) заданий в объёме, предусмотренном учебным планом. Лекция представляет собой последовательное и систематическое изложение учебного материала, направленное на знакомство обучающихся с основными понятиями и теоретическими положениями изучаемой дисциплины. Лекционные занятия формируют базу для практических (или лабораторных) занятий, на которых полученные теоретические знания применяются для решения конкретных практических задач. Обучающимся для успешного освоения дисциплины рекомендуется вести конспект лекций и практических (лабораторных) занятий.

Самостоятельная работа предполагает углублённое изучение отдельных разделов дисциплины с использованием литературы, рекомендованной преподавателем, а также конспектов лекций, презентационным материалом (при наличии) и конспектов практических (лабораторных) занятий. В качестве плана для самостоятельной работы может быть использован раздел 13.1 настоящей рабочей программы, в котором зафиксированы разделы дисциплины и их содержание. В разделе 13.2 рабочей программы определяется количество часов, отводимое на самостоятельную работу по каждому разделу дисциплины. Большее количество часов на самостоятельную работу отводится на наиболее трудные разделы дисциплины. Для самостоятельного изучения отдельных разделов дисциплины используется перечень литературы и других ресурсов, перечисленных в пунктах 15 и 16 настоящей рабочей программы.

Успешность освоения дисциплины определяется систематичностью и глубиной аудиторной и внеаудиторной работы обучающегося.

При использовании дистанционных образовательных технологий и электронного обучения выполнять все указания преподавателей, вовремя подключаться к online занятиям, ответственно подходить к заданиям для самостоятельной работы.

#### 15. Перечень основной и дополнительной литературы, ресурсов интернет, необходимых для освоения дисциплины

а) основная литература:

| №п/п | Источник  |
|------|---|
| 1    | Рыжиков Ю. И. Логистика и теория очередей [Электронный ресурс]: учебное - Издание 2-е изд., испр. - Лань, 2019. - 456 с. - Режим доступа: <a href="https://e.lanbook.com/book/115494">https://e.lanbook.com/book/115494</a>   |
| 2    | Козырева, Н. И. Основы теории массового обслуживания : учебное пособие / Н. И. Козырева, И. С. Макаров. — Самара : ПГУТИ, 2023. — 93 с. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <a href="https://e.lanbook.com/book/411752">https://e.lanbook.com/book/411752</a> |

б) дополнительная литература:

| №п/п | Источник   |
|------|--|
| 1    | Романенко, В. А. Системы и сети массового обслуживания : учебное пособие / В. А. Романенко. — Самара : Самарский университет, 2021. — 68 с. — ISBN 978-5-7883-1631-4. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <a href="https://e.lanbook.com/book/256895">https://e.lanbook.com/book/256895</a>                                      |
| 2    | Карташевский, В. Г. Задачник по курсу основы теории массового обслуживания : учебное пособие / В. Г. Карташевский, Н. В. Киреева, Л. Р. Чупахина. — 2-е изд., пер. и доп. — Самара : ПГУТИ, 2019. — 141 с. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <a href="https://e.lanbook.com/book/223220">https://e.lanbook.com/book/223220</a> |

в) информационные электронно-образовательные ресурсы (официальные ресурсы интернет)\*:

| №п/п | Ресурс   |
|------|--|
| 1    | ЗНБ ВГУ: <a href="https://lib.vsu.ru/">https://lib.vsu.ru/</a>   |
| 2    | Электронно-библиотечная система "Университетская библиотека online": <a href="http://biblioclub.ru/">http://biblioclub.ru/</a> |
| 3    | Электронно-библиотечная система "Лань": <a href="https://e.lanbook.com/">https://e.lanbook.com/</a>                            |

## 16. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы

| №п/п | Источник  |
|------|---|
| 1    | Рыжиков Ю. И. Логистика и теория очередей [Электронный ресурс]: учебное - Издание 2-е изд., испр. - Лань, 2019. - 456 с. - Режим доступа: <a href="https://e.lanbook.com/book/115494">https://e.lanbook.com/book/115494</a> |

## 17. Образовательные технологии, используемые при реализации учебной дисциплины, включая дистанционные образовательные технологии (ДОТ, электронное обучение (ЭО), смешанное обучение):

При реализации дисциплины могут использоваться технологии электронного обучения и дистанционные образовательные технологии на базе портала [edu.vsu.ru](http://edu.vsu.ru), а также другие доступные ресурсы сети Интернет.

## 18. Материально-техническое обеспечение дисциплины:

Аудитория для лекционных занятий: мультимедиа-проектор, экран для проектора, компьютер с выходом в сеть «Интернет». Специализированная мебель (столы ученические, стулья, доска). Программное обеспечение: LibreOffice v.5-7, программа для просмотра файлов формата pdf, браузер.

Компьютерный класс: специализированная мебель, персональные компьютеры на базе i3-9100-3,6ГГц, мониторы ЖК 19» (30 шт.), мультимедийный проектор, экран.

ПО: ОС Windows v.7, 8, 10, Набор утилит интерпретатор языка CPython, интерпретатор языка Anaconda, IDE PyCharm, редактор Jupiter.

## 19. Оценочные средства для проведения текущей и промежуточной аттестаций

Порядок оценки освоения обучающимися учебного материала определяется содержанием следующих разделов дисциплины:

| № п/п  | Наименование раздела дисциплины (модуля)   | Компетенции | Индикаторы достижения компетенции | Оценочные средства         |
|--|--|-------------|-----------------------------------|----------------------------|
| 1  | Введение                                   | ПК-1        | ПК-1.1, ПК-1.2<br>ПК-1.3          | Лабораторная работа № 1    |
| 2  | Модели массового обслуживания              | ПК-1        | ПК-1.1, ПК-1.2<br>ПК-1.3          | Лабораторная работа № 1    |
| 3  | Потоки событий                             | ПК-1        | ПК-1.1, ПК-1.2<br>ПК-1.3          | Лабораторная работа № 2    |
| 4  | Марковские процессы                        | ПК-1        | ПК-1.1, ПК-1.2<br>ПК-1.3          | Лабораторная работа № 3    |
| 5  | Исследование систем массового обслуживания | ПК-1        | ПК-1.1, ПК-1.2<br>ПК-1.3          | Лабораторная работа № 3    |
| 6  | Полумарковские процессы                    | ПК-1        | ПК-1.1, ПК-1.2<br>ПК-1.3          | Лабораторная работа № 4    |
| Промежуточная аттестация<br>форма контроля – зачёт с оценкой |  |             |                                   | Перечень вопросов к зачёту |

## 20. Типовые оценочные средства и методические материалы, определяющие процедуры оценивания

### 20.1. Текущий контроль успеваемости

Контроль успеваемости по дисциплине осуществляется с помощью лабораторных работ.

#### Перечень лабораторных работ

1. Имитационное моделирование динамики СМО с отказами.
2. Имитационное моделирование СМО с бесконечной очередью.
3. Предельные вероятности, уравнения Колмогорова.
4. Полумарковские СМО: количественная оценка характеристик в рамках имитационного моделирования.

#### Типовое задание для лабораторной работы

##### Лабораторная работа № 1

##### «Имитационное моделирование динамики СМО с отказами»

**Цель работы:** провести имитационное моделирование СМО с отказами, оценить основные характеристики, сравнить с теоретическими значениями.

**Требования к выполнению работы:** выполнение лабораторной работы предусматривает написание программы, реализующей имитационное моделирование СМО с отказами, а также оценку основных характеристик СМО, сравнение с теоретическими значениями.

**Отчёт о работе** проводится в виде собеседования и заключается в демонстрации работы программы, объяснении принципов работы алгоритма и ответов на дополнительные вопросы.

**Критерии оценки:** для получения оценки «зачтено» необходимо показать высокий уровень владения теоретическим материалом, уметь объяснить принцип работы написанной программы, верно ответить на дополнительные вопросы.

**Задание:** написать программу, реализующую имитационное моделирование СМО с отказами, оценить основные характеристики, сравнить с теоретическими значениями. Проверить работу программы на контрольном примере.

## **Лабораторная работа № 2** **«Имитационное моделирование СМО с бесконечной очередью»**

**Цель работы:** провести имитационное моделирование СМО с бесконечной очередью, оценить основные характеристики, сравнить с теоретическими значениями.

**Требования к выполнению работы:** выполнение лабораторной работы предусматривает написание программы, реализующей имитационное моделирование СМО с бесконечной очередью, а также оценку основных характеристик СМО, сравнение с теоретическими значениями.

**Отчёт о работе** проводится в виде собеседования и заключается в демонстрации работы программы, объяснении принципов работы алгоритма и ответов на дополнительные вопросы.

**Критерии оценки:** для получения оценки «зачтено» необходимо показать высокий уровень владения теоретическим материалом, уметь объяснить принцип работы написанной программы, верно ответить на дополнительные вопросы.

**Задание:** написать программу, реализующую имитационное моделирование СМО с бесконечной очередью, оценить основные характеристики, сравнить с теоретическими значениями. Проверить работу программы на контрольном примере.

## **Лабораторная работа № 3** **«Предельные вероятности, уравнения Колмогорова»**

**Цель работы:** провести моделирование СМО во временной области (решить уравнения Колмогорова), сравнить с асимптотические значения решений с предельными вероятностями.

**Требования к выполнению работы:** выполнение лабораторной работы предусматривает написание программы, реализующей моделирование динамики СМО во временной области.

**Отчёт о работе** проводится в виде собеседования и заключается в демонстрации работы программы, объяснении принципов работы алгоритма и ответов на дополнительные вопросы.

**Критерии оценки:** для получения оценки «зачтено» необходимо показать высокий уровень владения теоретическим материалом, уметь объяснить принцип работы написанной программы, верно ответить на дополнительные вопросы.

**Задание:** написать программу, реализующей моделирование динамики СМО во временной области, а также сравнение асимптотических пределов с предельными вероятностями. Проверить работу программы на контрольном примере.

## **Лабораторная работа № 4**

## **«Полумарковские СМО: количественная оценка характеристик в рамках имитационного моделирования»**

**Цель работы:** провести имитационное моделирование полумарковского СМО с бесконечной очередью, оценить основные характеристики, сравнить с теоретическими значениями

**Требования к выполнению работы:** выполнение лабораторной работы предусматривает написание программы, реализующей имитационное моделирование полумарковского СМО с бесконечной очередью, а также оценку основных характеристик СМО, сравнение с теоретическими значениями.

**Отчёт о работе** проводится в виде собеседования и заключается в демонстрации работы программы, объяснении принципов работы алгоритма и ответов на дополнительные вопросы.

**Критерии оценки:** для получения оценки «зачтено» необходимо показать высокий уровень владения теоретическим материалом, уметь объяснить принцип работы написанной программы, верно ответить на дополнительные вопросы.

**Задание:** написать программу, реализующую имитационное моделирование полумарковского СМО с бесконечной очередью, оценить основные характеристики, сравнить с теоретическими значениями. Проверить работу программы на контрольном примере.

### **20.2. Промежуточная аттестация**

Промежуточная аттестация по дисциплине осуществляется с помощью следующих оценочных средств: перечень вопросов к зачёту.

#### **Перечень вопросов к зачёту**

1. Основы теории систем массового обслуживания. Историческая справка. Понятия, определения, терминология.
2. Математические модели потоков событий. Регулярный и случайный потоки. Простейший пуассоновский поток. Свойства простейшего пуассоновского потока
3. Потоки событий, не являющиеся простейшими: нестационарный пуассоновский поток; потоки Эрланга; регулярный поток; поток Пальма. Предельная теорема для суммарного потока.
4. Понятие случайного процесса. Цепь Маркова с конечным числом состояний и дискретным временем. Граф состояний. Матрица переходных вероятностей. Стационарное распределение.
5. Марковские процессы с конечным числом состояний и непрерывным временем. Размеченный граф состояний. Матрица интенсивностей перехода. Система дифференциальных уравнений Колмогорова. Нахождение стационарного распределения
6. Процесс «гибели и размножения» с непрерывным временем и простейшими потоками, его размеченный граф состояний. Условия существования стационарного режима. Нахождение предельного распределения вероятностей в случае конечного числа состояний.
7. Основные понятия и классификация систем массового обслуживания (СМО): по поведению заявки (с отказами, с очередью, смешанного типа); по характеру источника заявок (открытого и замкнутого типа); по дисциплине ожидания и обслуживания.
8. Параметры и характеристика СМО: параметры входящего потока; параметры структуры СМО. Показатели эффективности СМО.
9. Методы исследования СМО с простейшими потоками событий. СМО без потерь.
10. Методы исследования СМО с простейшими потоками событий. СМО с отказами.

11. Методы исследования СМО с простейшими потоками событий. СМО с нетерпеливыми заявками.

12. Методы исследования СМО с простейшими потоками событий. СМО замкнутого типа.

13. Методы исследования сетей массового обслуживания (СeМО) с простейшими потоками событий.

14. Имитационное моделирование систем массового обслуживания.

15. Полумарковские случайные потоки.

16. Полумарковские СМО, оценки основных характеристик.

Для оценивания результатов обучения на зачёте с оценкой используется 4-балльная шкала: «отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно».

| Критерии оценивания компетенций   | Уровень сформированности компетенций | Шкала оценок        |
|---|--------------------------------------|---------------------|
| Дан полный, развёрнутый ответ на поставленный вопрос (вопросы), обучающийся свободно оперирует основными понятиями дисциплины, ориентируется в предметной области. Изложение материала не содержит ошибок, отличается последовательностью, грамотностью, логической стройностью.  | Повышенный уровень                   | Отлично             |
| Дан развёрнутый ответ на поставленный вопрос (вопросы), обучающийся свободно оперирует основными понятиями дисциплины, ориентируется в предметной области. Материал изложен в целом последовательно и грамотно, отсутствуют грубые ошибки, однако имеются отдельные неточности в определениях, вычислениях, доказательствах, изложениях положений теории. | Базовый уровень                      | Хорошо              |
| Ответ на поставленный вопрос (вопросы) содержит изложение только базового теоретического материала, имеются ошибки в определениях, вычислениях, доказательствах, формулировках положений теории. Нарушена логическая последовательность в изложении материала.  | Пороговый уровень                    | Удовлетворительно   |
| Ответ на поставленный вопрос (вопросы) отсутствует, либо содержит грубые ошибки в определениях, вычислениях, доказательствах, формулировках положений теории. Обучающийся не владеет основными понятиями дисциплины. Отсутствует логическая последовательность в изложении материала.   | –                                    | Неудовлетворительно |