

БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ



УТВЕРЖДАЮ

Проректор по учебной работе
и образовательным инновациям

О.Г. Прохоренко

23 октября 2023 г.

Регистрационный № УД – 1379/м.

Queueing systems analysis and optimization

**Учебная программа учреждения высшего образования
по учебной дисциплине для специальности:**

7-06-0533-05 Applied Mathematics and Computer Science

Profiling:

Computer Data Analysis

2023 г.

Учебная программа составлена на основе ОСВО 7-06-0533-05-2023, учебного плана № М53а-5.3-115/уч. от 11.04.2023

СОСТАВИТЕЛИ:

А.Н. Дудин, заведующий НИЛ прикладного вероятностного анализа кафедры теории вероятностей и математической статистики факультета прикладной математики и информатики Белорусского государственного университета, доктор физико-математических наук, профессор

В.В. Мушко, доцент кафедры дискретной математики и алгоритмики факультета прикладной математики и информатики Белорусского государственного университета, кандидат физико-математических наук

РЕЦЕНЗЕНТЫ:

Б.А. Залесский, заведующий лабораторией обработки и распознавания изображений ГНУ «Объединённый институт проблем информатики Национальной академии наук Беларуси», доктор физико-математических наук

РЕКОМЕНДОВАНА К УТВЕРЖДЕНИЮ:

Кафедрой теории вероятностей и математической статистики БГУ (протокол № 1 от 29 августа 2023 года);

Научно-методическим советом БГУ (протокол № 2 от 19 октября 2023 года)

Заведующий кафедрой теории вероятностей и математической статистики

 А.Ю. Харин

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Цели и задачи учебной дисциплины

Цель учебной дисциплины – ознакомление студентов магистратуры с основами теории процессов массового обслуживания и возможностей ее применения для анализа и оптимизации телекоммуникационных сетей, производственных, логистических, транспортных и других систем.

Задачи учебной дисциплины:

1. Изучение основных подходов и методов теории массового обслуживания;
2. Формирование практических умений и навыков применения этой теории для исследования систем с коррелированными потоками.

Место учебной дисциплины в системе подготовки специалиста с углубленным высшим образованием (магистра).

Учебная дисциплина относится к компоненту учреждения образования и входит в модуль «Special methods for analysis in applied problems».

Дисциплина «Queueing systems analysis and optimization» способствует успешному изучению дисциплины «Methods for statistical analysis of complex data» модуля «Specific methods of analysis», прохождению практики и написанию магистерских диссертаций.

Требования к компетенциям

Освоение учебной дисциплины «Queueing systems analysis and optimization» должно обеспечить формирование следующих компетенций:

универсальные компетенции (UC):

UC-1. To be able to apply scientific cognition methods in research activity, to generate and realize innovative ideas.

специализированные компетенции (SC):

SC-4. To choose a relevant queueing system as an adequate model of a real situation to perform its analysis and optimization on parameters.

В результате освоения учебной дисциплины магистрант должен

знать:

- основные понятия теории массового обслуживания и используемую символику;

- основные методы исследования цепей Маркова и методы марковизации немарковских процессов;

- основные системы массового обслуживания, для которых существуют аналитические результаты;

- особенности трафика в современных системах и сетях массового обслуживания и инструментарий для их аналитического моделирования;

- возможности использовать результаты для решения задач оптимизации и оптимального управления;

уметь:

- использовать методы теории массового обслуживания для построения адекватных моделей реальных систем и процессов, поддающихся аналитическому или алгоритмическому исследованию;

- выбирать адекватные методы для исследования построенных моделей;
- эффективно решать задачи выделения основных факторов, влияющих на производительность систем, поиска узких мест и повышения эффективности работы моделируемых систем и сетей;

владеть:

- теоретическими знаниями базовых систем обслуживания и математическими методами их исследования;

- навыками построения моделей и систем и их анализа;

- умениями анализировать возможности оптимизации работы систем за счет варьирования дисциплинами доступа и обслуживания, а также управления тарифами оплаты за обслуживание.

Структура учебной дисциплины

Дисциплина изучается во втором семестре. Всего на изучение учебной дисциплины «Queueing systems analysis and optimization» отведено:

- для очной формы получения углубленного высшего образования – 120 часов, в том числе 40 аудиторных часов, из них: лекции – 20 часов, лабораторные занятия – 20 часов.

Трудоемкость учебной дисциплины составляет 3 зачетные единицы.

Форма промежуточной аттестации – зачет.

TEACHING MATERIAL CONTENTS

Section 1. Methods to study classical queuing systems

Topic 1.1. Mathematical methods to study classical queuing systems

Introduction. Input flow, service time.

Markov random processes. Probability generating function, Laplace and Laplace-Stieltjes transforms.

Single-server Markovian queuing systems. Semi-Markovian queuing systems. Multi-server queues. Priority queues. Multiphase queues.

Section 2. Methods to study queuing systems with correlated arrivals

Topic 2.1. Methods to study queuing systems with correlated arrivals

Batch Markovian arrival process (*BMAP*). Phase-type distribution.

Multidimensional birth-and-death processes.

G/M/1-type Markov chains.

M/G/1-type Markov chains. *M/G/1*-type Markov chains with finite state space.

Asymptotically quasi-Toeplitz discrete-time Markov chains.

Asymptotically quasi-Toeplitz continuous-time Markov chains.

Section 3. Queuing systems with waiting space and correlated arrivals

Topic 3.1. Queuing systems with waiting space and correlated arrivals

BMAP/G/1 queue. *BMAP/PH/N* queue. *BMAP/PH/N/N* queue.

Section 4. Retrial queuing systems with correlated input flows

Topic 4.1. Retrial queuing systems with correlated input flows

BMAP/PH/N retrial system. *BMAP/PH/N* retrial system in the case of a phase distribution of service time and a large number of servers.

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КАРТА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Очная форма получения углубленного высшего образования с применением дистанционных образовательных технологий (ДОТ)

Numbering	Section, topic	In-class hours					Supervised self-study, hours	Knowledge test form
		Lectures	Practical classes	Seminars	Labs	Other		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Mathematical methods to study classical queuing systems	6			2			
1.1	Mathematical methods to study classical queuing systems	6			2			oral test
2	Methods to study queuing systems with correlated arrivals	10			6			
2.1	Methods to study queuing systems with correlated arrivals	10			6			abstract colloquium written report on home practical exercises with their oral defense test № 1 test № 2
3	Queuing systems with waiting space and correlated arrivals	2			6			
3.1	Queuing systems with waiting space and correlated arrivals	2			6			written report on home practical exercises with their oral defense

4	Retrial queuing systems with correlated input flows	2			6			
4.1	Retrial queuing systems with correlated input flows	2			6			written report on home practical exercises with their oral defense test № 3 test № 4
TOTAL		20			20			

ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Principal textbooks

1. Боровков, А. А. Теория вероятностей : учебное пособие для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению подготовки 010100 "Математика" / А. А. Боровков. - Изд. стер. - Москва : URSS : Либроком, 2023. - 652 с.
2. Насыров, Ф. С. Основы теории случайных процессов : учебник для использования в образовательном процессе образовательных организаций, реализующих программы высшего образования по направлениям подготовки бакалавриата "Прикладная математика и информатика" / Ф. С. Насыров. - Старый Оскол : ТНТ, 2022. - 221 с.
3. Гнеденко, Б. В. Курс теории вероятностей : учебник для студ. мат. спец. ун-тов / Б. В. Гнеденко ; [предисл. А. Н. Ширяева] ; МГУ им. М. В. Ломоносова. - Изд. 13-е. - Москва : URSS, 2022. - 448 с.
4. Скакун, В. В. Имитационное моделирование стохастических систем: учебное пособие для студентов учреждений высшего образования по специальностям радиофизики и компьютерных технологий / В. В. Скакун, В. В. Апанасович, О. М. Тихоненко. - Минск: РИВШ, 2022. - 167 с.

Optional textbooks

1. Бочаров П.П., Печинкин А.В. Теория массового обслуживания. — М.: Изд-во РУДН, 1995. — 529 с.
2. Вишневский В.М., Дудин А.Н., Клименок В.И. Стохастические системы с коррелированными потоками: Теория и применение в телекоммуникационных сетях. — М.: Техносфера, 2018. — 564 с.
3. Дудин А.Н., Клименок В.И. Системы массового обслуживания с коррелированными потоками. — Мн.: БГУ, 2000. — 175 с.
4. Дудин А.Н., Медведев Г.А., Меленец Ю.В. Практикум на ЭВМ по теории массового обслуживания. — Мн.: Университетское, 2000. — 109 с.
5. Chakravarthy S. Introduction to Matrix Analytic Methods in Queues 1: Analytical and Simulation Approach — Basics. — London, Wiley-ISTE, 2022. — 368 p.
6. Chakravarthy S. Introduction to Matrix Analytic Methods in Queues 2: Analytical and Simulation Approach — Queues and Simulation. — London, Wiley-ISTE, 2022. — 448 p.
7. Dudin A.N., Klimenok V.I., Vishnevsky V.M. The Theory of Queuing Systems with Correlated Flows. — Springer, 2020. — 432 p.

8. Stewart W.J. Probability, Markov Chains, Queues, and Simulation. The Mathematical Basis of Performance Modeling. — Princeton University Press, 2009. — 766 p.

Перечень рекомендуемых средств диагностики и методика формирования итоговой отметки

Объектом диагностики компетенций магистрантов являются знания, умения, полученные ими в результате изучения учебной дисциплины. Выявление учебных достижений магистрантов осуществляется с помощью мероприятий текущего контроля и промежуточной аттестации.

Для диагностики компетенций используются следующие формы:

1. Устная форма: опрос;
2. Письменная форма: коллоквиум, контрольные работы;
3. Устно-письменная форма: письменные отчеты по домашним практическим упражнениям с их устной защитой, реферат.

Формой промежуточной аттестации по дисциплине «Queueing systems analysis and optimization» учебным планом предусмотрен **зачет**.

При формировании итоговой отметки используется рейтинговая система оценки знаний магистранта, дающая возможность проследить и оценить динамику процесса достижения целей обучения.

Рейтинговая система предусматривает использование весовых коэффициентов в ходе проведения контрольных мероприятий текущей аттестации.

Примерные весовые коэффициенты, определяющие вклад текущей аттестации в отметку при прохождении промежуточной аттестации:

Формирование отметки за текущую аттестацию:

- подготовка реферата – 15 %;
- коллоквиум – 15 %;
- выполнение контрольных работ – 35 %;
- подготовка письменных отчетов по домашним практическим упражнениям – 35 %.

Итоговая отметка по дисциплине рассчитывается на основе отметки текущей аттестации (рейтинговой системы оценки знаний) и отметки на зачете с учетом их весовых коэффициентов. Вес отметки по текущей аттестации составляет 40 %, отметки на зачете – 60 %.

Sample list of topics for labs

Class № 1. Single-server Markovian queuing systems. Multi-server queues.

Class № 2. Batch Markovian arrival process (*BMAP*). Phase-type distribution.

Class № 3. Multidimensional birth-and-death processes. *G/M/1*-type Markov chains. *M/G/1*-type Markov chains.

Class № 4. Asymptotically quasi-Toeplitz discrete-time Markov chains. Asymptotically quasi-Toeplitz continuous-time Markov chains.

Class № 5. *BMAP/G/1* queue.

Class № 6. *BMAP/PH/N* queue.

Class № 7. *BMAP/PH/N/N* queue.

Class № 8. *BMAP/PH/N* retrial system.

Class № 9. *BMAP/PH/N* retrial system in the case of a phase distribution of service time and a large number of servers.

Class № 10. *BMAP/PH/N* retrial system in the case of a phase distribution of service time and a large number of servers.

Sample list of test topics

Test № 1. Batch Markovian arrival process (*BMAP*). Phase-type distribution.

Test № 2. Asymptotically quasi-Toeplitz continuous-time Markov chains.

Test № 3. *BMAP/PH/N* retrial system.

Test № 4. *BMAP/PH/N* retrial system in the case of a phase distribution of service time and a large number of servers.

Описание инновационных подходов и методов к преподаванию учебной дисциплины

При организации образовательного процесса используется **практико-ориентированный подход**, который предполагает:

- освоение содержание образования через решения практических задач;
- приобретение навыков эффективного выполнения разных видов профессиональной деятельности;
- ориентацию на генерирование идей, реализацию групповых студенческих проектов, развитие предпринимательской культуры;
- использованию процедур, способов оценивания, фиксирующих сформированность профессиональных компетенций.

Также при организации образовательного процесса **используется метод группового обучения**, который представляет собой форму организации учебно-познавательной деятельности обучающихся, предполагающую функционирование разных типов малых групп, работающих как над общими, так и специфическими учебными заданиями.

Методические рекомендации по организации самостоятельной работы обучающихся

При изучении учебной дисциплины рекомендуется использовать следующие формы самостоятельной работы:

- поиск (подбор) и обзор литературы и электронных источников по индивидуально заданной проблеме дисциплины;
- выполнение домашнего задания;
- работы, предусматривающие решение задач и выполнение упражнений, выдаваемых на лабораторных занятиях;
- изучение материала, вынесенного на самостоятельную проработку;
- подготовка к лабораторным занятиям;
- подготовка к зачету;
- научно-исследовательские работы;
- анализ материалов по заданной теме, проведение расчетов, составление схем и моделей на основе статистических материалов.

Some topics for abstract preparation

1. $BMAP/G/1 \rightarrow \cdot/M/N/0$ queue with a group occupation of servers of the second station.
2. $BMAP/SM/1 \rightarrow \cdot/M/N/0$ queue with a group occupation of servers at the second station.
3. $BMAP/G/1 \rightarrow \cdot/M/N/R$ queue.
4. $BMAP/G/1 \rightarrow \cdot/M/N/0$ retrial queue with a group occupation of servers at the second station.
5. Tandem of multi-server queues without buffers.
6. Tandem of multi-server queues with cross-traffic and no buffers.
7. Tandem of single-server queues with finite buffers and cross-traffic.

Sample list of questions for the examination

1. Queuing system components. Kendall notation. Input flow, service time.
2. Markov random processes.
3. Probability generating function, Laplace and Laplace-Stieltjes transforms.
4. Single-server Markovian queuing systems.
5. Semi-Markovian queuing systems. Method of embedded Markov chains.
6. Semi-Markovian queuing systems. Method of supplementary variables.
7. Semi-Markovian queuing systems. Method of supplementary events.
8. Multi-server queues.
9. Priority queues.
10. Multiphase queues.
11. Batch Markovian arrival process.
12. Phase-type distribution.
13. Multidimensional birth-and-death processes.

14. *MAP/PH/1* queue.
15. *G/M/1*-Type Markov chains.
16. *M/G/1*-Type Markov chains.
17. Asymptotically quasi-Toeplitz discrete-time Markov chains.
18. Asymptotically quasi-Toeplitz continuous-time Markov chains.
19. *BMAP/PH/N* queue.
20. *BMAP/PH/N/N* queue.
21. *BMAP/PH/N* retrial system. Case of impatient customers.
22. *BMAP/PH/N* retrial system in the case of a phase distribution of service time and a large number of servers.

ПРОТОКОЛ СОГЛАСОВАНИЯ УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЫ УО

Название учебной дисциплины, с которой требуется согласование	Название кафедры	Предложения об изменениях в содержании учебной программы учреждения высшего образования по учебной дисциплине	Решение, принятое кафедрой, разработавшей учебную программу (с указанием даты и номера протокола)
Methods for statistical analysis of complex data	Кафедра теории вероятностей и математической статистики	нет	Оставить содержание учебной дисциплины без изменения (протокол № 1 от 29 августа 2023 г.)

**ДОПОЛНЕНИЯ И ИЗМЕНЕНИЯ К УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЕ ПО
ИЗУЧАЕМОЙ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЕ**

на ____ / ____ учебный год

№ п/п	Дополнения и изменения	Основание

Учебная программа пересмотрена и одобрена на заседании кафедры
_____ (протокол № ____ от _____ 202__ г.)

Заведующий кафедрой

УТВЕРЖДАЮ
Декан факультета

(ученая степень, ученое звание)

(подпись)

(И.О.Фамилия)