

Минобрнауки России
Федеральное государственное бюджетное
учреждение науки
Федеральный исследовательский центр
«Карельский научный центр
Российской академии наук»
(КарНЦ РАН)

УТВЕРЖДАЮ
Генеральный директор КарНЦ РАН
член-корр. РАН

О.Н. Бахмет

20 22 г.



**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ
«АНАЛИЗ СТАЦИОНАРНОСТИ
КОММУНИКАЦИОННЫХ СИСТЕМ»**

**НАУЧНАЯ СПЕЦИАЛЬНОСТЬ
1.2.2. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ,
ЧИСЛЕННЫЕ МЕТОДЫ И КОМПЛЕКСЫ ПРОГРАММ**

г. Петрозаводск
2022

Разработчик: Морозов Евсей Викторович, главный научный сотрудник ИПМИ КарНЦ
РАН, доктор физико-математических наук, профессор

1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения программы аспирантуры

Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины:

Формулировка компетенции	Планируемые результаты обучения (индикаторы достижения компетенции)
<p>Владение методологией теоретических и экспериментальных исследований в области профессиональной деятельности</p>	<p>Знать: основные понятия, модели, законы, алгоритмы и теоретические положения из курса «Анализ стационарности коммуникационных систем», основные аспекты анализа стационарности, классификации систем и сетей. основные методы принятия решений, основные методы анализа стационарности систем.</p> <p>Уметь: применять полученную теоретическую базу для решения конкретных практических задач грамотно использовать методы анализа стационарности в научных исследованиях, решать конкретные практические задачи.</p> <p>Владеть: основными методами научных исследований, навыками проведения лабораторного эксперимента, основными методами статистической обработки экспериментальных данных и их вероятностного анализа с помощью современных программных комплексов.</p>
<p>Способность к разработке новых математических методов и алгоритмов проверки адекватности математических моделей объектов на основе данных натурного эксперимента</p>	<p>Знать: основные понятия, модели, законы, алгоритмы и теоретические положения из курса «Анализ стационарности коммуникационных систем», основные аспекты математического моделирования и анализа стационарности коммуникационных систем, классификацию коммуникационных моделей систем и сетей, основные методы принятия решений, основные принципы вероятностного моделирования и анализа стационарности.</p> <p>Уметь: применять полученную теоретическую базу для постановки и решения новых практических задач, грамотно использовать анализ стационарности в научных исследованиях.</p> <p>Владеть: организационными, коммуникативными навыками, позволяющими осуществлять работу в российских и международных исследовательских коллективах, навыками проведения лабораторного эксперимента, основными методами статистической обработки экспериментальных данных и их вероятностного анализа в</p>

	стационарных системах с помощью современных программных комплексов.
Способность к разработке новых вероятностных методов и алгоритмов интерпретации натурального эксперимента на основе математической модели	<p>Знать: основные понятия, модели, законы, алгоритмы и теоретические положения из курса «Анализ стационарности коммуникационных систем», основные аспекты вероятностного анализа, классификации моделей коммуникационных сетей, основные методы принятия решений, основные принципы анализа стационарности.</p> <p>Уметь: применять полученную теоретическую базу для постановки и решения новых практических задач, грамотно использовать анализ стационарности в научных исследованиях.</p> <p>Владеть: основными методами научных исследований навыками проведения лабораторного эксперимента статистической обработки экспериментальных данных и навыками анализа стационарности с помощью.</p>
Способность к критическому анализу и оценке современных научных достижений, генерированию новых идей при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях	<p>Знать: основные понятия, модели, законы, алгоритмы и теоретические положения из курса «Анализ стационарности коммуникационных систем», основные аспекты вероятностного анализа, классификации моделей коммуникационных систем, основные методы принятия решений, основные принципы математического моделирования, основные аспекты анализа стационарности, классификации моделей коммуникационных систем, основные методы принятия решений.</p> <p>Уметь: применять полученную теоретическую базу для решения конкретных практических задач, грамотно использовать модели коммуникационных систем в научных исследованиях.</p> <p>Владеть: основными методами научных исследований навыками проведения лабораторного эксперимент, статистическими навыками обработки экспериментальных данных с помощью современных программных комплексов.</p>
Готовность участвовать в работе российских и международных исследовательских коллективов по	<p>Знать: основные понятия, модели, законы, алгоритмы и теоретические положения из курса «Анализ стационарности коммуникационных систем», основные аспекты анализа стационарности, классификации моделей коммуникационных систем, основные методы</p>

<p>решению научных и научно-образовательных задач</p>	<p>принятия решений, основные принципы математического моделирования, основные аспекты анализа стационарности, классификации моделей коммуникационных систем, основные методы принятия решений. Уметь: применять полученную теоретическую базу для решения конкретных практических задач, грамотно использовать математические модели коммуникационных систем в научных исследованиях. Владеть: основными методами научных исследований, навыками проведения лабораторного эксперимента, основными методами обработки экспериментальных данных и их вероятностного анализа с помощью современных программных комплексов.</p>
<p>Способность планировать и решать задачи собственного профессионального и личностного развития</p>	<p>Знать: основные понятия, модели, законы, алгоритмы и теоретические положения из курса «Анализ стационарности коммуникационных систем», основные аспекты анализа стационарности, классификации моделей коммуникационных систем, основные методы принятия решений, основные принципы математического моделирования, основные аспекты вероятностного анализа, классификации моделей коммуникационных систем, основные методы принятия решений. Уметь: применять полученную теоретическую базу для решения конкретных практических задач, грамотно использовать методы анализа стационарности в научных исследованиях. Владеть: основными методами научных исследований, навыками проведения лабораторного эксперимента, основными методами обработки экспериментальных данных и их вероятностного анализа с помощью современных программных комплексов.</p>

2. Место дисциплины в структуре программы аспирантуры и язык преподавания

Дисциплина «Анализ стационарности коммуникационных систем» входит в образовательный компонент учебного плана программы аспирантуры по научной

специальности 1.2.2 Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ и является дисциплиной по выбору. Согласно учебному плану, дисциплина проводится в 3-м и 4-м семестрах.

Изучение дисциплины опирается на знания, умения и навыки, приобретенные при освоении образовательной программы предыдущего уровня.

Язык преподавания – русский.

3. Виды учебной работы и тематическое содержание дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 2 зачетных единиц или 72 академических часа.

3.1. Виды учебной работы

Виды учебной работы	Объем в академических часах
Общая трудоемкость дисциплины по учебному плану	72
В том числе:	
Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем). Всего	54
В том числе:	
Лекции (Л)	36
Практические занятия (Пр)	18
Лабораторные занятия (Лаб)	0
Вид промежуточной аттестации	зачет
Самостоятельная работа обучающихся (СР) (всего)	18
В том числе:	
Самостоятельное изучение разделов дисциплины, подготовка к занятиям	9
Подготовка к промежуточной аттестации	9

3.2. Краткое содержание дисциплины по разделам и видам учебной работы

п/п	Раздел дисциплины (тематический модуль)	Трудоемкость по видам учебных занятий (в академических часах)	Оценочное средств во

		Всего	Лекции	Практические занятия	Лабораторные занятия	Самостоятельная работа обучающихся	
Семестры № 3, 4							
1	Основные результаты и методы теории вероятностей	8	4	2		3	собеседование
2	Основные классы случайных процессов и их применение в теории массового обслуживания	12	6	4		2	собеседование
3	Имитационное моделирование динамики коммуникационных систем	12	6	2		2	собеседование
4	Классическая регенерация и регенерация по Харрису	16	8	3		3	собеседование
5	Жидкостной анализ стационарности	12	6	3		4	собеседование
6	Регенеративный анализ стационарности	12	6	4		4	собеседование
Вид промежуточной аттестации в семестре: зачет							
Итого:		72	36	18		18	

3.3. Содержание аудиторных занятий

Содержание лекционных занятий

№ раздела	№ лекции	Основное содержание	Количество часов	В т.ч. с использованием ДОТ (*)
Семестры № 3, 4				
1	1	Основные результаты теории вероятностей	2	0
1	2	Основные методы теории вероятностей	2	0
2	3	Основные классы случайных процессов и их применение в теории массового обслуживания.	2	0
2	4	Определения и основные свойства процессов восстановления, Марковских процессов.	2	0
2	5	Определения и основные свойства регенерирующих процессов и связанных с ними процессов, а также их применение для описания систем массового обслуживания.	2	0
3	6	Имитационное моделирование динамики коммуникационных систем.	2	0
3	7,8	Моделирования основных стохастических моделей,	4	0

		описывающих динамику коммуникационных систем.		
4	9,10	Понятие регенерации по Харрису, свойства регенерации по Харрису и ее применение в анализе процессов обслуживания.	4	0
4	11,12	Примеры процессов обслуживания, возвратных по Харрису.	4	0
5	13	Жидкостной подход к анализу стационарности коммуникационных систем.	2	0
5	14	Стационарность процесса в исходной системе и устойчивость ее жидкостного аналога.	2	0
5	15	Метод построения детерминированной жидкостной модели на примере сети с несколькими классами заявок.	2	0
6	16, 17	Регенеративный анализ стационарности.	4	
6	18	Применение регенеративного метода для анализа ряда систем обслуживания.	2	
Итого:			36	0

Содержание практических занятий

№ раздела	№ занятия	Основное содержание	Количество часов	В т.ч. с использованием ДОТ (*)
Семестры № 3, 4				
1	1	Основные результаты и методы теории вероятностей	2	0
2	2	Основные классы случайных процессов и их применение в теории массового обслуживания. Определения и основные свойства процессов восстановления, Марковских процессов.	2	0
2	3	Определения и основные свойства регенерирующих процессов и связанных с ними процессов, а также их применение для описания систем массового обслуживания.	2	
3	3	Имитационное моделирование динамики коммуникационных систем.	1	
3	4	Моделирования основных стохастических моделей, описывающих динамику коммуникационных систем.	1	0
4	5	Понятие регенерации по Харрису, свойства регенерации по Харрису и ее применение в анализе процессов обслуживания.	2	0
4	6	Примеры процессов обслуживания, возвратных по Харрису	1	0
5	7	Жидкостной подход к анализу стационарности коммуникационных систем. Стационарность процесса в исходной системе и устойчивость ее жидкостного аналога.	2	0
5	8	Метод построения детерминированной жидкостной модели на примере сети с несколькими классами заявок.	1	0
6	8	Регенеративный анализ стационарности.	2	0
6	9	Применение регенеративного метода для анализа ряда систем обслуживания.	2	0
Итого:			18	0

3.4. Организация самостоятельной работы обучающегося

№ раздела	Основное содержание	Количество часов	В т.ч. с использованием ДОТ (*)
Семестры № 3, 4			
1	Основные результаты и методы теории вероятностей. Проработка конспектов лекций и вопросов, вынесенных на самостоятельное изучение по основной и дополнительной литературе, подготовка к семинарским занятиям.	1	0
2	Основные классы случайных процессов и их применение в теории массового обслуживания. Проработка конспектов лекций и вопросов, вынесенных на самостоятельное изучение по основной и дополнительной литературе, подготовка к семинарским занятиям.	1	0
3	Имитационное моделирование динамики коммуникационных систем. Проработка конспектов лекций и вопросов, вынесенных на самостоятельное изучение по основной и дополнительной литературе, подготовка к семинарским занятиям.	1	0
4	Классическая регенерация и регенерация по Харрису. Проработка конспектов лекций и вопросов, вынесенных на самостоятельное изучение по основной и дополнительной литературе, подготовка к семинарским занятиям.	2	
5	Жидкостной анализ стационарности. Проработка конспектов лекций и вопросов, вынесенных на самостоятельное изучение по основной и дополнительной литературе, подготовка к семинарским занятиям.	2	
6	Регенеративный анализ стационарности. Проработка конспектов лекций и вопросов, вынесенных на самостоятельное изучение по основной и дополнительной литературе, подготовка к семинарским занятиям.	2	
1-6	Подготовка к зачёту по курсу.	9	
Итого:		18	0

4. Образовательные технологии по дисциплине

Лекции, практические занятия, зачет. В течение семестра на практических занятиях проводятся собеседования по темам соответствующих лекций. Внеаудиторная работа обучающихся сопровождается рекомендацией литературы для самостоятельного изучения.

5. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине

5.1. Текущий контроль осуществляется преподавателем дисциплины при проведении занятий в форме: собеседования на практических занятиях.

Оценочные средства для текущего контроля.

Темы собеседований.

Тема №1 Основные результаты и методы теории вероятностей.

Напоминаются основные факты основного курса теории вероятностей и математической статистики.

Темы №2 Основные классы случайных процессов и их применение в теории массового обслуживания.

Обсуждаются определения и основные свойства процессов восстановления, марковских процессов, регенерирующих процессов и связанных с ними процессов, а также их применение для описания систем массового обслуживания.

Тема №3 Имитационное моделирование динамики коммуникационных систем.

Рассматривается вопрос моделирования основных стохастических моделей, описывающих динамику коммуникационных систем.

Тема №4 Классическая регенерация и регенерация по Харрису.

Вводится понятие регенерации по Харрису, обобщающей классическую регенерацию для цепей Маркова. Обсуждаются свойства регенерации по Харрису и ее применение в анализе процессов обслуживания. Изучаются конкретные примеры процессов обслуживания, возвратных по Харрису.

Тема №5 Жидкостной анализ стационарности.

Изучается жидкостной подход к анализу стационарности коммуникационных систем. Дается метод построения детерминированной жидкостной модели на примере сети с несколькими классами заявок. Показано как вывести стационарность процесса в исходной системе из устойчивости ее жидкостного аналога.

Тема №6 Регенеративный анализ стационарности.

Рассматривается регенеративный метод анализа стационарности, основанный на изучении поведения незавершенного времени восстановления, порожденного регенерациями процесса обслуживания. Подробно обсуждается применение этого метода для анализа ряда конкретных одноканальных и многоканальных систем обслуживания.

5.2. Промежуточная аттестация проводится в виде: зачет.

Подробно средства оценивания для проведения промежуточной аттестации обучающихся приведены в Фонде оценочных средств по данной дисциплине.

Вопросы к зачету.

1. Теорема Колмогорова и существование процесса, примеры.
2. Определение случайного процесса, пространство непрерывных траекторий и без разрывов 2-го рода.
3. Слабая сходимости распределений (непрерывность, контрпример).
4. Дискретные марковские цепи, основные определения и факты.
5. Марковский процесс в непрерывном времени, времена пребывания, Пуассоновский процесс, уравнения Колмогорова.
6. Замкнутая экспоненциальная сеть, стационарное решение, проблема нормализующей константы.
7. Регенерирующие процессы, основные свойства, примеры (формула Литтла, формула Поллачека-Хинчина), распределение стационарного времени восстановления, свойство PASTA.
8. Моделирование процесса, описывающего динамику систем обслуживания.
9. Понятие момента регенерации в классической форме.
10. Понятие момента регенерации по Харрису.

11. Построение предельной жидкостной модели при жидкостном анализе стандартной многоканальной системы с прямой дисциплиной обслуживания.
12. Связь между поведением незавершенного времени восстановления, порожденного регенерациями процесса обслуживания системы, и существованием стационарного режима.

6. Методические рекомендации обучающимся по дисциплине, в том числе для самостоятельной работы

Самостоятельная работа включает следующие виды работ:

- работа с лекционным материалом, предусматривающая проработку конспекта лекций и учебной литературы;
- чтение статей, рекомендованных преподавателем, по темам для самостоятельного изучения;
- подготовка к зачету.

Рекомендации обучающимся при освоении лекционного материала:

- конспектирование основного содержания лекций;
- для лучшего усвоения материала после лекции рекомендуется прочесть конспект и соответствующий параграф или главу учебника.

7. Методические рекомендации преподавателям по дисциплине

Участие в беседах на семинарских занятиях оцениваются по системе: зачтено, незачтено. Зачет оценивается по системе: зачтено, незачтено.

Самостоятельная работа обучающихся должна быть направлена на решение следующих задач:

- развитие навыков работы с разноплановыми источниками;
- осуществление эффективного поиска информации;
- развитие навыков самостоятельной работы с периодическими источниками, в том числе, на иностранном языке.

8. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

Дисциплина полностью обеспечена учебной литературой, представленной в печатном или электронном виде. Для осуществления образовательной деятельности по дисциплине рекомендуется следующая основная и дополнительная литература.

8.1. Основная литература:

1. Морозов Е.В. Coupling and stochastic monotonicity of queueing process : монография / Е.В. Морозов; М-во образования и науки Рос. Федерации, Федер. гос. бюджет. образоват. учреждение высш. проф. образования Петрозав. гос. ун-т. - Петрозаводск : Изд-во ПетрГУ, 2013. - 71 с. - текст на англ. яз.
<http://elibrary.karelia.ru/book.shtml?id=18142#t20c>
2. Морозов, Е. В. Теория вероятностей : учеб. пособие / Е. В. Морозов ; Петрозав. гос. ун-т, Ч. 1. - Петрозаводск : Издательство ПетрГУ, 2005. - 66 с.
3. Морозов, Е. В. Теория вероятностей : учебное пособие / Е. В. Морозов ; Петрозаводский государственный университет. - Петрозаводск : Издательство ПетрГУ, 2009. - Ч. II. - 54 с.

4. Лукашенко О.В. Введение в гауссовские системы обслуживания : монография / О.В. Лукашенко, Е.В. Морозов; М-во образования и науки Рос. Федерации, Федер. гос. бюджет.образоват. учреждение высш. проф. образования Петрозав. гос. ун-т. - Петрозаводск : Изд-во ПетрГУ, 2013. - 79 с.
<http://elibrary.karelia.ru/book.shtml?id=18026#t20c>
5. Некрасова Р.С. Моделирование случайных величин : учебно-методическое пособие для студентов математического факультета / Р.С. Некрасова, О.В. Лукашенко, И.В. Пешкова; М-во образования и науки Рос. Федерации, Федер. гос. бюджет.образоват. учреждение высш. проф. образования Петрозав. гос. ун-т. - Петрозаводск : Изд-во ПетрГУ, 2013. - 13 с.
<http://elibrary.karelia.ru/book.shtml?id=17560#t20c>
6. Пешкова И. В. Теория вероятностей, математическая статистика. Стохастическое моделирование : практические примеры : учебное пособие для обучающихся по направлениям подготовки бакалавриата «Менеджмент», «Экономика» / И. В. Пешкова, Е. В. Морозов, А. С. Румянцев. ; М-во образования и науки Рос. Федерации, Федер. гос. бюджет.образоват. учреждение высш. образования Петрозав. гос. ун-т. – Петрозаводск : Изд-во ПетрГУ, 2017. – 56 с.
<http://elibrary.karelia.ru/book.shtml?id=29319#t20c>
7. Румянцев А.С. Распределения с тяжелыми хвостами и их приложения : монография / А.С. Румянцев, Е.В. Морозов; М-во образования и науки Рос. Федерации, Федер. гос. бюджет.образоват. учреждение высш. проф. образования Петрозав. гос. ун-т. - Петрозаводск : Изд-во ПетрГУ, 2013. - 67 с.
<http://elibrary.karelia.ru/book.shtml?id=18160#t20c>

8.2 Дополнительная литература:

1. Боровков, А. А. Математическая статистика : учебник / А. А. Боровков. - 3-е изд., испр. - М. :Физматлит, 2007. - 703 с.
2. Боровков, А. А. (Институт математики им. С. Л. Соболева СО РАН). Вероятности больших отклонений для сумм независимых случайных векторов на границе и вне крамеровской зоны / А. А. Боровков, А. А. Могульский, Часть II // Теория вероятностей и ее применения. - 2008. - Т. 53, вып. 4. - С. 641-664.
3. Боровков, А. А. (Институт математики им. С. Л. Соболева СО РАН). Интегрально-локальные и локальные теоремы о нормальных и больших отклонениях сумм разнораспределенных случайных величин в схеме серий / А. А. Боровков // Теория вероятностей и ее применения. - 2009. - Т. 54, вып. 4. - С. 625-644.
4. Боровков, А. А. (Институт математики им. С. Л. Соболева СО РАН, г. Новосибирск). Принципы больших отклонений для траекторий случайных блужданий [Текст] / А. А. Боровков, А. А. Могульский, I // Теория вероятностей и ее применения. - 2011. - Т. 56, вып. 4. - С. 627-655.
5. Боровков, А. А. Принципы больших отклонений для траекторий случайных блужданий [Текст] / А. А. Боровков, А. А. Могульский, II // Теория вероятностей и ее применения. - 2012. - Т. 57, вып. 1. - С. 3-34
6. Боровков, А. А. Принципы умеренно больших отклонений для траектории случайных блужданий и процессов с независимыми приращениями / А. А. Боровков, А. А. Могульский [Текст] // Теория вероятностей и ее применения. - 2013. - Т. 58, вып. 4. - С. 648-671.
7. Боровков, А. А. (Институт математики им. С. Л. Соболева СО РАН, Новосибирск, Россия). Принципы больших отклонений для траекторий случайных блужданий, III / А. А. Боровков, А. А. Могульский [Текст] // Теория вероятностей и ее применения. - 2013. - Т. 58, вып. 1. - С. 37-52.

8.3. Программное обеспечение и Интернет-ресурсы

Обучающиеся и преподаватели КарНЦ РАН имеют доступ к ряду электронных библиотечных систем, к которым подключена Научная библиотека КарНЦ РАН. Для электронных ресурсов используется лицензионное программное обеспечение.

Для поиска учебной и научной литературы аспиранты используют следующие ЭБС:

- Электронная библиотека Республики Карелия <http://elibrary.karelia.ru/>
- Электронная библиотечная система «Университетская библиотека онлайн» <http://biblioclub.ru/>
- другие базы данных размещены на сайте Научной библиотеки КарНЦ РАН в разделах «Электронные научные ресурсы» и «Электронные библиотеки»
<http://library.krc.karelia.ru/section.php?plang=r&id=894>,
<http://library.krc.karelia.ru/section.php?plang=r&id=499>.

Интернет-ресурсы	
www.garant.ru	Базы данных, информационно-справочные и поисковые системы
http://biblioclub.ru	Университетская библиотека Online
http://www.elibrary.ru	Электронная библиотека
http://ndce.edu.ru	Каталог учебников, электронных ресурсов для высшего образования
http://edu.ru	Федеральный портал «Российское образование»
http://windows.edu.ru	Портал «Единое окно доступа к образовательным ресурсам»
http://school.edu.ru	Российский общеобразовательный портал
http://webofknowledge.com	Библиографическая и реферативная база данных WebofScience
http://www.scopus.com/	Библиографическая и реферативная база данных Scopus

9. Материально-техническое обеспечение дисциплины

Материально-техническая база КарНЦ РАН обеспечивает проведение всех видов дисциплинарной и междисциплинарной подготовки, практической и научно-исследовательской работы обучающихся, предусмотренных учебным планом и соответствует действующим санитарным и противопожарным правилам и нормам.

Минимально-необходимый перечень для информационно-технического и материально-технического обеспечения дисциплины:

- аудитория для проведения лекционных и практических занятий, оснащенная рабочими местами для обучающихся и преподавателя, доской, мультимедийным оборудованием;
- библиотека с читальным залом и залом для самостоятельной работы обучающегося, оснащенное компьютером с выходом в Интернет, книжный фонд которой составляет специализированная научная, учебная и методическая литература, журналы (в печатном или электронном виде).