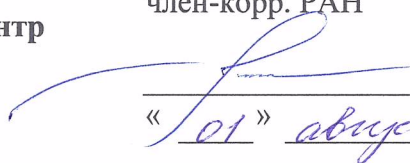


Минобрнауки России  
Федеральное государственное бюджетное  
учреждение науки  
Федеральный исследовательский центр  
«Карельский научный центр  
Российской академии наук»  
(КарНЦ РАН)

**УТВЕРЖДАЮ**

Генеральный директор КарНЦ РАН  
член-корр. РАН

  
О.Н. Бахмет  
« 01 » августа 20 22 г.



**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА СПЕЦИАЛЬНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ  
«МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ,  
ЧИСЛЕННЫЕ МЕТОДЫ И КОМПЛЕКСЫ ПРОГРАММ»**

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

г. Петрозаводск  
2022

Разработчик: Заика Юрий Васильевич, 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)
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><b>Знать:</b> текущее состояние современных научных достижений, фундаментальные основы математического анализа моделей.</p> <p><b>Уметь:</b> генерировать новые идеи при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях.</p> <p><b>Владеть:</b> способностью к анализу и оценке современных научных достижений.</p>
Готовность участвовать в работе российских и международных исследовательских коллективов по решению научных и научно-образовательных задач	<p><b>Знать:</b> текущее состояние современных научных достижений.</p> <p><b>Уметь:</b> вести научно-исследовательскую деятельность.</p> <p><b>Владеть:</b> организационными, коммуникативными навыками, позволяющими осуществлять работу в исследовательских коллективах.</p>
Способность планировать и решать задачи собственного профессионального и личностного развития	<p><b>Знать:</b> текущее состояние современных научных достижений.</p> <p><b>Уметь:</b> принимать мотивированное решение.</p> <p><b>Владеть:</b> навыками принятия решений и способностью нести ответственность за принятые решения.</p>
Владение методологией теоретических и экспериментальных исследований в области профессиональной деятельности	<p><b>Знать:</b> текущее состояние современных научных достижений, методику проведения вычислительных экспериментов и составления математических моделей.</p> <p><b>Уметь:</b> проводить вычислительные эксперименты, разрабатывать математические модели, численные методы, использовать программные среды для математического моделирования.</p> <p><b>Владеть:</b> навыками обработки информации и анализа полученных данных, основными методами научных исследований, навыками проведения вычислительного эксперимента.</p>

<p>Владение методами проведения патентных исследований, лицензирования и защиты авторских прав при создании инновационных продуктов в области профессиональной деятельности</p>	<p><b>Знать:</b> текущее состояние современных научных достижений, основы законодательства в области интеллектуальной собственности.</p> <p><b>Уметь:</b> применять полученные теоретические знания для решения конкретных практических задач, эффективно использовать математические модели в научных исследованиях.</p> <p><b>Владеть:</b> способностью к критическому анализу и оценке современных научных достижений.</p>
<p>Способность к разработке новых математических методов моделирования объектов и явлений</p>	<p><b>Знать:</b> современные научные достижения в области математического моделирования, методику проведения вычислительных экспериментов.</p> <p><b>Уметь:</b> проводить вычислительные эксперименты, разрабатывать математические модели, алгоритмы и численные методы, использовать программные среды для математического моделирования.</p> <p><b>Владеть:</b> навыками обработки информации и математического анализа полученных данных.</p>
<p>Готовность к реализации математического обеспечения в виде комплексов проблемно-ориентированных программ для проведения вычислительного эксперимента</p>	<p><b>Знать:</b> текущее положение современных научных достижений, методику проведения вычислительных экспериментов, современную методологию программирования.</p> <p><b>Уметь:</b> проводить вычислительные эксперименты, разрабатывать математические модели, алгоритмы и численные методы, использовать программные комплексы для математического моделирования.</p> <p><b>Владеть:</b> навыками обработки информации и математического анализа полученных данных.</p>

## 2. Место дисциплины в структуре программы аспирантуры и язык преподавания

Дисциплина «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ» входит в образовательный компонент учебного плана программы аспирантуры по научной специальности 1.2.2. Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ.

Согласно учебному плану дисциплина изучается в 5-м и 6-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 4 зачетных единицы или 144 академических часа.

### 3.1. Виды учебной работы

Виды учебной работы	Объем в академических часах
<b>Общая трудоемкость дисциплины по учебному плану</b>	144
В том числе:	
<b>Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем). Всего</b>	32
В том числе:	
Лекции (Л)	14
Практические занятия (Пр)	18
Лабораторные занятия (Лаб)	0
Вид промежуточной аттестации	
<b>Самостоятельная работа обучающихся (СР) (всего)</b>	112
В том числе:	
Самостоятельное изучение разделов дисциплины, подготовка к занятиям	108
Подготовка к промежуточной аттестации	4

### 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 средство
		Всего	Лекции	Практические занятия	Лабораторные занятия	Самостоятельная работа обучающихся	
<b>Семестры № 4, 5</b>							
1	Математические основы моделирования	27	3	4	0	20	коллоквиум
2	Информационные технологии принятия решений, исследование операций и задачи искусственного интеллекта	23	3	4	0	16	собеседование
3	Компьютерные технологии: численные методы, вычислительный эксперимент, алгоритмические языки	42	3	4	0	35	коллоквиум
4	Методы математического моделирования	27	3	3	0	21	собеседование
5	Математические модели в научных исследованиях	21	2	3	0	16	коллоквиум
Вид промежуточной аттестации в семестре: зачет/экзамен, 4							
<b>Итого:</b>		140	14	18	0	112	

### 3.3. Содержание аудиторных занятий

#### Содержание лекционных занятий

№ раздела	№ лекции	Основное содержание	Количество часов	В т.ч. с использованием ДОТ (*)
Семестры № 4, 5				
1	1	Элементы теории функций и функционального анализа	1	0
1	1-2	Экстремальные задачи	1	0
1	2	Теория вероятностей. Математическая статистика.	1	0
2	3	Теория принятия решений.	1	0
2	3-4	Исследование операций и задачи искусственного интеллекта.	1	0
2	4	Автоматизация проектирования. Распознавание образов.	1	0
3	5	Численные методы	1	0
3	5-6	Вычислительный эксперимент	1	0
3	6	Алгоритмические языки	1	0
4	7	Основные принципы математического моделирования	1.5	0
4	8	Методы исследования моделей	1.5	0
5	9	Математические модели в статистической механике, химии, биологии, экономике. Модели динамических систем	2	0
<b>Итого:</b>			14	0

#### Содержание практических занятий

№ раздела	№ занятия	Основное содержание	Количество часов	В т.ч. с использованием ДОТ (*)
Семестры № 4, 5				
1	1-3	Математические основы моделирования	4	0
2	3-5	Информационные технологии принятия решений, исследование операций и задачи искусственного интеллекта	4	0
3	5-7	Компьютерные технологии: численные методы, вычислительный эксперимент, алгоритмические языки	4	0
4	8-9	Методы математического моделирования	3	0
5	10-11	Математические модели в научных исследованиях	3	0
<b>Итого:</b>			18	0

### 3.4. Организация самостоятельной работы обучающегося

№ раздела	Основное содержание	Количество часов	В т.ч. с использованием ДОТ (*)
Семестры № 4, 5			
1	Математические основы моделирования. Проработка конспектов лекций и вопросов, вынесенных на самостоятельное изучение по основной и дополнительной литературе	20	0
2	Информационные технологии принятия решений, исследование операций и задачи искусственного интеллекта. Проработка конспектов лекций и вопросов, вынесенных на самостоятельное изучение по основной и дополнительной литературе	16	0
3	Компьютерные технологии: численные методы, вычислительный эксперимент, алгоритмические языки. Выполнение домашних и контрольных работ с привлечением специальной научно-технической литературы и программных средств. Участие в НИР аспирантов	35	0
4	Методы математического моделирования. Проработка конспектов лекций и вопросов, вынесенных на самостоятельное изучение по основной и дополнительной литературе	21	0
5	Математические модели в научных исследованиях. Выполнение домашних и контрольных работ с привлечением специальной научно-технической литературы и программных средств. Участие в НИР аспирантов	16	0
<b>Итого:</b>		<b>108</b>	<b>0</b>

#### 4. Образовательные технологии по дисциплине

Лекции, практические занятия, коллоквиум, дискуссия, собеседование, зачет, экзамен. В течение семестра обучающиеся выполняют практические работы, указанные преподавателем. 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: коллоквиума, собеседования, дискуссии.

Оценочные средства для текущего контроля.

*Вопросы к коллоквиуму*

1. Классификация математических моделей. Модели динамики и статики, с распределенными и сосредоточенными параметрами, детерминированные и

стохастические, непрерывные и дискретные. Модели стационарные, квазистационарные и нестационарные. Примеры.

2. Основные подходы к разработке математических моделей: теоретический, эмпирический и комбинированный. Примеры разработки математических моделей с помощью этих подходов.

3. Разработка математических моделей на основе законов сохранения, вариационных принципов и аналогий. Примеры математических моделей диффузии, теплопроводности, конвективного теплопереноса.

4. Теоретический подход к разработке математических моделей. Простейшая модель информационной системы и ее анализ. Применение к конкретным информационным системам различного уровня сложности.

5. Комбинированный подход к разработке математических моделей. Структура математической модели физико-химического процесса разложения гидридов металлов (в рамках общей проблемы материаловедения водородной энергетики).

6. Комбинированный подход к разработке математических моделей. Схематичное представление объекта и система допущений. Модульный принцип и агрегация.

7. Математические основы моделирования. Метрические и нормированные пространства. Пространства интегрируемых функций. Пространства Соболева. Линейные непрерывные функционалы. Линейные операторы. Дифференциальные и интегральные операторы.

8. Экстремальные задачи. Выпуклый анализ. Экстремальные задачи в евклидовых пространствах. Линейное и выпуклое программирование. Задачи на минимум.

9. Основы вариационного исчисления. Задачи оптимального управления. Принцип максимума Понтрягина. Метод динамического программирования Беллмана.

10. Аксиоматика теории вероятностей. Случайные величины и векторы. Элементы корреляционной теории случайных векторов.

11. Элементы теории случайных процессов.

12. Точечное и интервальное оценивание параметров распределения. Элементы теории проверки статистических гипотез.

13. Элементы многомерного статистического анализа.

14. Основные понятия теории статистических решений. Основы теории информации.

15. Информационные технологии принятия решений, исследование операций и задачи искусственного интеллекта.

16. Функция потерь. Байесовский и минимаксный подходы. Метод последовательного принятия решения.

17. Экспертизы и неформальные процедуры. Автоматизация проектирования. Искусственный интеллект. Распознавание образов.

### *Темы собеседований*

#### **Тема №1. Математические основы моделирования**

*Элементы теории функций и функционального анализа.* Понятия меры и интеграла Лебега. Метрические и нормированные пространства. Пространства интегрируемых функций, пространства Соболева. Линейные непрерывные функционалы. Дифференциальные и интегральные операторы.

*Экстремальные задачи.* Экстремальные задачи в евклидовых пространствах. Математическое программирование: линейное программирование, выпуклое программирование. Задачи на минимум. Основы вариационного исчисления. Задачи оптимального управления, принцип максимума Понтрягина. Метод динамического программирования Беллмана.

*Теория вероятностей. Математическая статистика.* Аксиоматика теории вероятностей. Условная вероятность. Случайные величины и векторы. Элементы



корреляционной теории случайных векторов. Элементы теории случайных процессов. Точечное и интервальное оценивание параметров распределения. Элементы теории проверки статистических гипотез. Элементы многомерного статистического анализа. Основные понятия теории статистических решений. Основы теории информации.

## **Тема №2. Информационные технологии принятия решений, исследование операций и задачи искусственного интеллекта**

*Теория принятия решений.* Функция потерь. Байесовский и минимаксный подходы. Метод последовательного принятия решения. Исследование операций и задачи искусственного интеллекта. Экспертизы и неформальные процедуры. Автоматизация проектирования. Искусственный интеллект. Распознавание образов.

## **Тема №3. Компьютерные технологии: численные методы, вычислительный эксперимент, алгоритмические языки**

*Численные методы.* Интерполяция и аппроксимация функциональных зависимостей. Численное дифференцирование и интегрирование. Численные методы поиска экстремума. Вычислительные методы линейной алгебры. Численные методы решения систем обыкновенных дифференциальных уравнений и краевых задач математической физики. Численные методы вейвлет-анализа.

*Вычислительный эксперимент.* Принципы проведения вычислительного эксперимента. Математическая модель, алгоритм, программа.

*Алгоритмические языки.* Представление о современных языках программирования высокого уровня. Пакеты прикладных программ.

## **Тема №4. Методы математического моделирования**

*Основные принципы математического моделирования.* Простейшие математические модели в механике, гидродинамике, электродинамике, экономике. Универсальность математических моделей. Методы построения математических моделей на основе фундаментальных законов природы. Вариационные принципы построения математических моделей.

*Методы исследования моделей.* Качественный анализ, устойчивость. Численное моделирование. Проверка адекватности математических моделей.

## **Тема №5. Математические модели в научных исследованиях**

Математические модели в статистической механике, химии, биологии, экономике. Методы математического моделирования измерительно-вычислительных систем. Задачи редукции к идеальному прибору. Синтез выходного сигнала идеального прибора. Проверка адекватности модели измерения и адекватности результатов редукции. Модели динамических систем. Особые точки. Бифуркации. Динамический хаос. Эргодичность и перемешивание. Понятие о самоорганизации. Диссипативные структуры. Режимы с обострением.

### *Темы дискуссий*

1. Математические основы моделирования.
2. Информационные технологии принятия решений, исследование операций и задачи искусственного интеллекта.
3. Компьютерные технологии: численные методы, вычислительный эксперимент, алгоритмические языки, пакеты прикладных программ.
4. Численные методы поиска экстремума.
5. Вычислительные методы линейной алгебры.

6. Численные методы решения систем дифференциальных уравнений и краевых задач математической физики.
7. Сплайн-аппроксимация, интерполяция, метод конечных элементов.
8. Преобразования Фурье, Лапласа, Хаара и др. Численные методы вейвлет-анализа.
9. Вычислительный эксперимент. Принципы проведения вычислительного эксперимента. Модель, алгоритм, программа.
10. Простейшие математические модели в механике, гидродинамике, электродинамике. Универсальность математических моделей.
11. Методы построения математических моделей на основе фундаментальных законов природы. Вариационные принципы построения математических моделей.
12. Методы исследования математических моделей. Устойчивость. Проверка адекватности математических моделей.
13. Математические модели в статистической механике, экономике, биологии. Методы математического моделирования измерительно-вычислительных систем.
14. Модели динамических систем. Особые точки. Бифуркации. Динамический хаос. Эргодичность и перемешивание.
15. Понятие о самоорганизации. Диссипативные структуры. Режимы с обострением.

5.2. Промежуточная аттестация проводится в виде зачета и экзамена.

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

## **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;
- выполнение домашнего задания – решение задач, выдаваемых на практических занятиях;
- чтение статей, рекомендованных преподавателем, по темам для самостоятельного изучения;
- подготовка к зачету и экзамену.

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**

Коллоквиум, собеседование, дискуссия и зачет оцениваются по системе: зачтено, незачтено. Экзамен оценивается по системе: отлично, хорошо, удовлетворительно, неудовлетворительно.

На практических занятиях контроль осуществляется при ответе у доски и при проверке решений задач.

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. Самарский, А. А. Математическое моделирование: Идеи. Методы. Примеры / А. А. Самарский, А. П. Михайлов. - 2-е изд., испр. - Москва: Физматлит, 2001. - 316 с.
2. Тарасевич, Ю. Ю. Математическое и компьютерное моделирование : вводный курс : учебное пособие для вузов / Ю. Ю. Тарасевич. - Изд. 6-е. - Москва : URSS, [2013]. - 148 с.
3. Михеев, С. Е. Стабилизация и ускорение численных методов / С. Е. Михеев ; Санкт-Петербургский государственный университет. - Санкт-Петербург : Издательство СПбГУ, 2014. - 154
4. Бахвалов Н. С., Жидков Н.П., Кобельков Г.М. Численные методы : учебное пособие - 7-е изд. - Москва : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2011. - 636 с.
5. Бахвалов Н. С., Лапин А.В., Чижонков Е.В. Численные методы в задачах и упражнениях : учебное пособие для вузов. - 2-е изд., перераб. и доп. - Москва : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2010. - 240 с.
6. Поляк, Б. Т. Введение в оптимизацию - Изд. 2-е, испр. и доп. - Москва : URSS, [2014]. - 386 с.
7. Нестеров, Ю. Е. Введение в выпуклую оптимизацию - Москва : Издательство МЦНМО, 2010. - 278 с.
8. Горелик, В. А. Исследование операций и методы оптимизации. Москва : Академия, 2013. - 271 с.
9. Васильев, Ф. П. Методы оптимизации Ч. I, Конечномерные задачи оптимизации. Принципы максимума. Динамическое программирование. - Изд. новое, перераб. и доп. - Москва : Издательство МЦНМО, 2011. - 619 с.
10. Васильев, Ф. П. Методы оптимизации Ч. II, Оптимизация в функциональных пространствах. Регуляризация. Аппроксимация. - Изд. новое, перераб. и доп. - Москва : Издательство МЦНМО, 2011. - с. 628-1056.

### Дополнительная литература:

1. Колесников, А. П. Методы численного анализа, изложенные на языке формул и алгоритмическом языке С# / А. П. Колесников. - Москва : URSS, [2010]. - 412 с.
2. Лисейкин, В. Д. Разностные сетки. Теория и приложения / В. Д. Лисейкин. - Новосибирск : Издательство Сибирского отделения Российской академии наук, 2014. - 253 с.
3. Зарубин, В. С. Математическое моделирование в технике : Учебник для вузов. - 3-е изд. - Москва : Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2010. - 495 с.
4. Рябенький, В. С. Метод разностных потенциалов и его приложения / В. С. Рябенький. - Изд. 3-е, испр. и доп. - Москва : Физматлит, 2010. - 432 с.,
5. Формалев, В. Ф. Численные методы : учеб. пособие для техн. ун-тов / В. Ф. Формалев, Д. Л. Ревизников ; под ред. А. И. Кибзуна. - 2-е изд., испр. и доп. - М. : ФИЗМАТЛИТ, 2006. - 398 с.

6. Самарский, А. А. Устойчивость разностных схем / А. А. Самарский, А. В. Гулин. - 2-е изд., испр. и доп. - М. : УРСС, 2005. - 384 с.
7. Самарский А.А. Задачи и упражнения по численным методам: Все основные разд. числ. анализа/ Самарский А.А., Вабищевич П.Н., Самарская Е.А.; РАН. Ин-т мат. моделирования, МГУ им. М.В. Ломоносова. - 2-е изд., испр. - М: Едиториал УРСС, 2003. - 207 с.

### 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>.

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