

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РФ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ
ФЕДЕРАЛЬНЫЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР
«ВЛАДИКАВКАЗСКИЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК»

УТВЕРЖДЕНО

Приказом директора ВНЦ РАН

№ 13-А от «07» июня 2023 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ

Научная специальность – 1.2.2. Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ

область науки – 1. Естественные науки

группа научных специальностей – 1.2. Компьютерные науки и информатика

1. Цели и задачи освоения учебной дисциплины

Дисциплина «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ» относится к числу дисциплин, формирующих физико-математическое мышление будущего специалиста, без которого невозможно эффективное использование ресурсов современных информационных технологий, в частности, компьютерных систем математического моделирования и автоматизированного проектирования.

Основной задачей изучения дисциплины «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ» является изучение теоретических основ построения программных комплексов и систем, а также получение аспирантами практических навыков их проектирования.

2. Требования к результатам освоения дисциплины

Освоение дисциплины «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ» направлено на:

- самостоятельное осуществление научно-исследовательской деятельности в соответствующей профессиональной области с использованием современных методов исследования и информационно-коммуникационных технологий;
- владение современной методологией теоретических и экспериментальных научных исследований в соответствии с направленностью (профилем) программы подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре, в том числе с использованием новейших информационно-коммуникационных технологий; представлять полученные результаты на научных конференциях и публиковать результаты научных исследований в ведущих отечественных и зарубежных профильных журналах;
- способность обобщать и использовать результаты исследований для выявления новых явлений, закономерностей, гипотез и теоретических положений.

3. Трудоемкость учебной дисциплины (модуля), виды контактной работы

Таблица 4.1.

Курс	Форма промежуточной аттестации	Контактная работа, ч.	Лекции, ч.	Самостоятельная работа, ч.	Трудоемкость промежуточной аттестации, ч.	Зачетных единиц	Всего ч.
2	Экзамен	36	36	176	4	6	216

4. Содержание учебной дисциплины (модуля)

4.1. Содержание разделов учебной дисциплины (модуля) по видам учебной работы:

№ п/п	Наименование раздела дисциплины (модуля)	Содержание раздела дисциплины (модуля)	Вид учебной работы
1	Элементы теории	Понятие меры и интеграла Лебега. Метрические и	Лекции

	функций и функционального анализа	нормированные пространства. Пространства интегрируемых функций. Пространства Соболева. Линейные непрерывные функционалы. Теорема Хана-Банаха. Линейные операторы. Элементы спектральной теории. Дифференциальные и интегральные операторы.	Самостоятельная работа
2	Экстремальные задачи. Выпуклый анализ	Экстремальные задачи в евклидовых пространствах. Выпуклые задачи на минимум. Математическое программирование, линейное программирование, выпуклое программирование. Задачи на минимум. Основы вариационного исчисления. Задачи оптимального управления. Принцип максимума. Принцип динамического программирования.	Лекции Самостоятельная работа
3	Теория вероятностей. Математическая статистика	Аксиоматика теории вероятностей. Вероятность, условная вероятность. Независимость. Случайные величины и векторы. Элементы корреляционной теории случайных векторов. Элементы теории случайных процессов. Точечное и интервальное оценивание параметров распределения. Элементы теории проверки статистических гипотез.	Лекции Самостоятельная работа
4	Введение в теорию математического моделирования	Понятие модели. Классификация моделей. Примеры математических моделей. Требования, предъявляемые к моделям. Математическая модель: принципы построения, цели. Иерархия моделей. Основные этапы моделирования: постановка задачи, формализация, выбор метода решения и его реализация, анализ результатов, проверка адекватности модели. Вычислительная сложность и программная реализация.	Лекции Самостоятельная работа
5	Математические модели систем с управлением	Математический и физический маятник. Колесный робот. Движение центра масс твердого тела. Задача ориентации. Модели динамики популяций. Модели развития сахарного диабета и рака. Модели групповой динамики. Экономические модели.	Лекции Самостоятельная работа
6	Математические схемы моделирования сложных систем	Основные подходы. Учет входных воздействий, внешней среды, внутренних параметров, выходных характеристик. Дифференциальные уравнения и уравнения математической физики. Теория автоматов. Статистические методы. Методы теории массового обслуживания. Методы многокритериальной оптимизации. Методы прогнозирования. Игровые методы	Лекции Самостоятельная работа
7	Имитационное моделирование систем	Процедура имитационного моделирования. Имитация функционирования системы. Алгоритмы имитационного моделирования: по принципу особых состояний; по дискретному времени. Моделирование случайных воздействий	Лекции Самостоятельная работа
8	Методы и средства определения выходных характеристик	Качественные и численные методы, нахождение переходных процессов, статистических характеристик, конечных состояний. Бифуркационный анализ. Аппаратные и программные средства математического моделирования. Планирование вычислительных экспериментов.	Лекции Самостоятельная работа
9	Численные методы решения уравнений в частных производных гиперболического типа (на примере уравнения переноса)	Простейшее линейное уравнение переноса. Квазилинейные уравнения гиперболического типа. Характеристики квазилинейных уравнений. Простейшие разностные схемы для решения линейного уравнения переноса. Вид некоторых часто употребляемых схем. Способы конструирования гибридных разностных схем. Обобщения на квазилинейный случай. Первоначальное представление о способах регуляризации решений с большими градиентами. Понятие схем с уменьшением полной вариации (TVD). Основные идеи метода конструирования разностных схем в пространстве неопределенных коэффициентов.	Лекции Самостоятельная работа
10	Введение в методы численного решения уравнений газовой	Формы записи одномерных уравнений газовой динамики. Разностные методы решения – методы Лакса-Вендроффа и Мак-Кормака. Сеточно-характеристический метод	Лекции Самостоятельная работа

	динамики	решения. Разностная схема И.М.Гельфанда для численного решения одномерной системы уравнений газовой динамики. Метод Харлоу частиц в ячейках.	
11	Численное решение уравнений в частных производных гиперболического типа с большими градиентами решений	Потоковая форма представления разностных схем. Гибридные схемы. Гибридные схемы и пространство неопределенных коэффициентов. Метод коррекции потоков Бориса-Бука. Идеи TVD ENO схем. TVD – схемы для квазилинейного уравнения с антидиффузией. TVD – схемы для линейных систем уравнений гиперболического типа. Метод С.К.Годунова получения численных решений с особенностями разрывного характера.	Лекции Самостоятельная работа
12	Численное решение уравнений в частных производных эллиптического типа на примере уравнений Лапласа и Пуассона	Постановка простейшей разностной задачи для уравнений Лапласа и Пуассона в прямоугольной области (схема «крест»). Устойчивость схемы «крест». Обзор методов решения сеточных уравнений (Метод простых итераций. Метод простых итераций с оптимальным параметром. Чебышевское ускорение метода простых итераций. Метод переменных направлений. Методы Якоби, Зейделя, верхней релаксации.). Идеи современных методов решения эллиптических уравнений в области произвольной геометрии – многосеточный метод и метод построения мажорантных разностных схем в пространстве неопределенных коэффициентов. Построение разностных схем для эллиптических уравнений на нерегулярных сетках. Монотонные схемы.	Лекции Самостоятельная работа
13	Понятие о методах конечных элементов	Первое представление о классе методов конечных элементов. Вариационная и проекционная постановки задачи. Вариационный подход Ритца. Общая схема метода Ритца. Формулировка проекционного метода Галеркина. Построение базисных функций. Метод конечных элементов для нестационарных уравнений. Вопросы устойчивости МКЭ. Общая схема применения методов конечных элементов к решению многомерных задач математической физики.	Лекции Самостоятельная работа
14	Методы расщепления	Понятие о методах расщепления. Методы расщепления первого и второго порядка точности. локально-одномерные схемы. Схемы Кранка-Никольса. Общая формулировка методов расщепления. Схемы расщепления для уравнения теплопроводности. Методы двуциклического покомпонентного расщепления. Методы расщепления с факторизацией оператора. Факторизованная схема расщепления. Неявная схема расщепления с приближенной факторизацией. Метод «предиктор-корректор».	Лекции Самостоятельная работа
15	Понятие и виды программных комплексов. Системообразующие свойства комплексов программ. Системный подход и системный анализ	Понятие программного комплекса. Терминология и классификация. Целостность и интегративность. Иерархичность. Эквивалентность (предельные возможности). Закономерности целеобразования и осуществимости ИС. Системный подход и системные исследования. Системный анализ.	Лекции Самостоятельная работа
16	Декомпозиция и	Анализ и синтез в комплексах программ. Модели систем	Лекции

	синтез программных комплексов	как основания декомпозиции. Алгоритмизация процесса декомпозиции. Процедуры синтеза информационных систем. Формулирование проблемы, выявление целей, формирование критериев, генерирование альтернатив.	Самостоятельная работа
17	Динамические программные комплексы	Особенности динамики нелинейных программных комплексов. Странные аттракторы. Элементы теории бифуркаций. Математические модели теории катастроф. Динамический хаос. Фрактальные структуры. Самоорганизация в распределенных ИС. Потенциальные возможности динамического хаоса при передаче информации. Возможность использования теории комплексов программ в практике проектирования информационных систем. Тенденции и перспективы развития теории комплексов программ.	Лекции Самостоятельная работа

5. Материально-техническое обеспечение учебной дисциплины (модуля)

Для реализации данной дисциплины имеются специальные помещения для проведения лекционных занятий, оснащенные стандартным набором учебной мебели, учебной доской и стационарным или переносным комплексом мультимедийного презентационного оборудования, а также аудитория для самостоятельной работы аспирантов с доступом к сети Интернет.

6. Ресурсное обеспечение учебной дисциплины (модуля)

6.1. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

6.1.1. Основная литература

1. Костюкова, Н. И. Основы математического моделирования [Электронный ресурс] / Н. И. Костюкова. — 2-е изд. — Электрон. текстовые данные. — М.: Интернет-Университет Информационных Технологий (ИНТУИТ), 2016. — 219 с. — 2227-8397. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/73691.html>

2. Губарь, Ю. В. Введение в математическое моделирование [Электронный ресурс] / Ю. В. Губарь. — 2-е изд. — Электрон. текстовые данные. — М.: Интернет-Университет Информационных Технологий (ИНТУИТ), 2016. — 178 с. — 2227-8397. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/73662.html>

3. Ахмадиев, Ф. Г. Математическое моделирование и методы оптимизации [Электронный ресурс]: учебное пособие / Ф. Г. Ахмадиев, Р. М. Гильфанов. — Электрон. текстовые данные. — Казань: Казанский государственный архитектурно-строительный университет, ЭБС АСВ, 2017. — 179 с. — 978-5-7829-0534-7. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/73309.html>

4. Математическое моделирование и дифференциальные уравнения [Электронный ресурс]: учебное пособие для магистрантов всех направлений подготовки / М. Е. Семенов, Н. Н. Некрасова, О. И. Канищева [и др.]. — Электрон. текстовые данные. — Воронеж: Воронежский государственный архитектурно-строительный университет, ЭБС АСВ, 2017. — 149 с. — 978-5-7731-0536-7. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/72918.html>

5. Никонов, О. И. Математическое моделирование и методы принятия решений [Электронный ресурс] : учебное пособие / О. И. Никонов, С. В. Кругликов, М. А. Медведева ; под ред. А. А. Астафьев. — Электрон. текстовые данные. — Екатеринбург : Уральский федеральный университет, ЭБС АСВ, 2015. — 100 с. — 978-5-7996-1562-8. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/69624.html>

6. Никонов, О. И. Математическое моделирование и методы принятия решений [Электронный ресурс] : учебное пособие / О. И. Никонов, С. В. Кругликов, М. А. Медведева ; под ред. А. А. Астафьев. — Электрон. текстовые данные. — Екатеринбург : Уральский федеральный университет, ЭБС АСВ, 2015. — 100 с. — 978-5-7996-1562-8. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/69624.html>

7. Введение в математическое моделирование [Электронный ресурс] : учебное пособие / В. Н. Ашихмин, М. Б. Гитман, И. Э. Келлер [и др.]. — Электрон. текстовые данные. — М.: Логос, 2016. — 440 с. — 978-5-98704-637-1. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/66414.html>

8. Самарский А.А. Теория разностных схем. М.: Наука, 1977
<https://studfiles.net/preview/393506/>

9. Березин И.С., Жидков Н.П. Методы вычислений. М.: Наука. Т2. 1960
<https://studfiles.net/preview/947789/>

10. Воеводин, В. В. Вычислительная математика и структура алгоритмов [Электронный ресурс] : учебник / В. В. Воеводин. — Электрон. текстовые данные. — М. : Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, 2010. — 168 с. — 978-5-211-05933-7. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/13042.html>

11. Дегтярев, С. Л. Устойчивость разностных схем с переменными весовыми множителями [Электронный ресурс] : монография / С. Л. Дегтярев. — Электрон. текстовые данные. — М. : Московский гуманитарный университет, 2011. — 101 с. — 978-5-98079-740-9. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/8624.html>

6.1.2. Дополнительная литература

1. Белов, П. С. Математическое моделирование технологических процессов [Электронный ресурс]: учебное пособие (конспект лекций) / П. С. Белов. — Электрон. текстовые данные. — Егорьевск: Егорьевский технологический институт (филиал) Московского государственного технологического университета «СТАНКИН», 2016. — 121 с. — 978-5-904330-02-6. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/43395.html>

2. Белов, П. С. Математическое моделирование технологических процессов [Электронный ресурс] : учебное пособие (конспект лекций) / П. С. Белов. — Электрон. текстовые данные. — Егорьевск : Егорьевский технологический институт (филиал) Московского государственного технологического университета «СТАНКИН», 2016. — 121 с. — 978-5-904330-02-6. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/43395.html>

3. Численные методы [Электронный ресурс]: учебно-методический комплекс / сост. Л. Х. Жунусова, С. А. Омарова, А. Ж. Абишева. — Электрон. текстовые данные. — Алматы : Нур-Принт, Казахский национальный педагогический университет имени Абая, 2012. — 84 с. — 9965-756-20-1. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/67176.html>.

4. Сергерлинд Л. Применение метода конечных элементов. М.: Мир. 1986
<https://studfiles.net/preview/3107048/>

6.1.3 Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения учебной дисциплины (модуля) (в том числе ЭБС)

№ п/п	Наименования с указанием сайтов
1	Электронная библиотечная система IPRBooks. Режим доступа: http://www.iprbookshop.ru
2	Научная электронная библиотека Elibrary Режим доступа: http://www.elibrary.ru
3	Государственная публичная научно-техническая библиотека. Web of Science Режим доступа: http://apps.webofknowledge.com

7. Особенности освоения дисциплины для лиц с ограниченными возможностями здоровья

Обучение обучающихся с ограниченными возможностями здоровья при необходимости осуществляется на основе адаптированной рабочей программы с использованием специальных методов обучения и дидактических материалов, составленных с учетом особенностей психофизического развития, индивидуальных возможностей и состояния здоровья таких обучающихся (обучающегося).

В целях освоения учебной программы дисциплины инвалидами и лицами с ограниченными возможностями здоровья обеспечивается:

- для инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья по зрению: размещение в доступных для обучающихся, являющихся слепыми или слабовидящими, местах и в адаптированной форме справочной информации о расписании учебных занятий; присутствие ассистента, оказывающего обучающемуся необходимую помощь; выпуск альтернативных форматов методических материалов (крупный шрифт или аудиофайлы), для инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья по слуху: надлежащими звуковыми средствами воспроизведение информации;

- для инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья, имеющих нарушения опорно-двигательного аппарата: возможность беспрепятственного доступа обучающихся в учебные помещения, туалетные комнаты и другие помещения образовательного учреждения, а также пребывание в указанных помещениях.

Образование обучающихся с ограниченными возможностями здоровья может быть организовано совместно с другими обучающимися.

8. Оценочные материалы для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине.

8.1. Возможные формы проведения контроля:

1 В традиционной форме устно/письменно.

2 В дистанционной форме с использованием онлайн ресурсов.

8.2. Формы контроля текущей успеваемости и промежуточной аттестации:

№ п/п	Наименование оценочного средства	Краткая характеристика оценочного средства	Представление оценочного средства в фонде
1	2	3	4
1	Задание	Средство оценки умения применять полученные теоретические знания в практической ситуации. Задание направлено на оценивание тех компетенций, которые подлежат освоению в данной дисциплине, должно содержать четкую инструкцию по выполнению или алгоритм действий.	Комплект заданий для выполнения.
2	Собеседование / опрос	Средство контроля, организованное как специальная беседа преподавателя с обучающимся на темы, связанные с изучаемой дисциплиной, и рассчитанное на выяснение объема знаний обучающегося по определенному	Вопросы по темам/разделам дисциплины, представленные в привязке к

		разделу, теме, проблеме и т.п.	компетенциям, предусмотренным РПД.
3	Зачет/ Экзамен	Средство контроля усвоения учебного материала темы, раздела или разделов дисциплины, организованное в виде собеседования преподавателя с обучающимися.	Вопросы по темам/разделам дисциплины.

8.3. Вопросы к экзамену по дисциплине «Численные методы и комплексы программ»:

1. Понятие меры и интеграла Лебега. Метрические и нормированные пространства. Пространства интегрируемых функций. Пространства Соболева.
2. Линейные непрерывные функционалы. Теорема Хана-Банаха. Линейные операторы.
3. Экстремальные задачи в евклидовых пространствах. Математическое программирование, линейное программирование.
4. Основы вариационного исчисления. Задачи оптимального управления.
5. Принцип максимума. Принцип динамического программирования.
6. Аксиоматика теории вероятностей. Вероятность, условная вероятность.
7. Независимость. Случайные величины и векторы. Элементы корреляционной теории случайных векторов. Элементы теории случайных процессов.
8. Точечное и интервальное оценивание параметров распределения. Элементы теории проверки статистических гипотез.
9. Понятие модели. Классификация моделей. Примеры математических моделей. Требования, предъявляемые к моделям.
10. Математическая модель: принципы построения, цели. Иерархия моделей. Основные этапы моделирования: постановка задачи, формализация, выбор метода решения и его реализация, анализ результатов, проверка адекватности модели. Вычислительная сложность и программная реализация.
11. Математический и физический маятник. Колесный робот. Движение центра масс твердого тела. Задача ориентации.
12. Модели динамики популяций. Модели развития сахарного диабета и рака. Модели групповой динамики. Экономические модели.
13. Методы теории массового обслуживания. Методы многокритериальной оптимизации. Методы прогнозирования. Игровые методы
14. Процедура имитационного моделирования. Имитация функционирования системы. Алгоритмы имитационного моделирования: по принципу особых состояний; по дискретному времени. Моделирование случайных воздействий
15. Методы построения и исследования решений. Качественные и аналитические методы.
16. Численные методы исследования, проекционные методы.
17. Аппаратные и программные средства математического моделирования. Планирование вычислительных экспериментов.
18. Простейшее линейное уравнение переноса. Квазилинейные уравнения гиперболического типа. Характеристики квазилинейных уравнений. Простейшие разностные схемы для решения линейного уравнения переноса.
19. Виды некоторых часто употребляемых схем для уравнения переноса. Способы конструирования гибридных разностных схем. Обобщения на квазилинейный случай. Первоначальное представление о способах регуляризации решений с большими градиентами.
20. Формы записи одномерных уравнений газовой динамики. Разностные методы решения – методы Лакса-Вендроффа и Мак-Кормака. Сеточно-характеристический метод решения.

21. Разностная схема И.М.Гельфанда для численного решения одномерной системы уравнений газовой динамики. Метод Харлоу частиц в ячейках.
22. Численное решение уравнений в частных производных гиперболического типа с большими градиентами решений.
23. Численное решение уравнений в частных производных эллиптического типа на примере уравнений Лапласа и Пуассона.
24. Понятие о методах конечных элементов.
25. Понятие о методах расщепления. Методы расщепления первого и второго порядка точности, локально-одномерные схемы.
26. Схемы Кранка-Никольса. Общая формулировка методов расщепления.
27. Схемы расщепления для уравнения теплопроводности.
28. Методы двуциклического покомпонентного расщепления.
29. Методы расщепления с факторизацией оператора. Факторизованная схема расщепления. Неявная схема расщепления с приближенной факторизацией. Метод «предиктор-корректор».
30. Понятие и виды программных комплексов.
31. Системообразующие свойства комплексов программ.
32. Системный подход и системный анализ.
33. Анализ и синтез в комплексах программ. Модели систем как основания декомпозиции.
34. Алгоритмизация процесса декомпозиции. Процедуры синтеза информационных систем.
35. Формулирование проблемы, выявление целей, формирование критериев, генерирование альтернатив.
36. Особенности динамики нелинейных программных комплексов.
37. Странные аттракторы.
38. Элементы теории бифуркаций.
39. Математические модели теории катастроф.
40. Динамический хаос.
41. Фрактальные структуры.
42. Самоорганизация в распределенных ИС.
43. Потенциальные возможности динамического хаоса при передаче информации.
44. Возможность использования теории комплексов программ в практике проектирования информационных систем. Тенденции и перспективы развития теории комплексов программ.

8.4. Шкала и порядок оценки степени (уровня) усвоения обучающимся теоретического учебного материала в форме экзамена.

Оценка степени (уровня) усвоения аспирантами теоретического материала и умений решать практические задачи, рассчитывать и использовать в практической деятельности показатели и др. в форме экзамена проводится по традиционной четырёхбальной шкале: «отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно».

- для получения оценки «отлично» требуется наличие твердых глубоких, исчерпывающих знаний в объеме пройденного курса на фоне понимания его в системе данной науки и междисциплинарных связей, грамотное и логически стройное изложение материала при ответе, знание современных гигиенических тенденций, а так же умение четко излагать порядок расчета гигиенических показателей.

для получения оценки «хорошо» требуется наличие твердых и достаточно полных знаний в объеме пройденного курса, незначительные ошибки при освещении заданных вопросов, четкое изложение материала.

- оценка «удовлетворительно» выставляется при наличии знаний в объеме пройденного курса, нелогичном и непоследовательном изложении материала, наличие ошибок, уверенно исправляемых после наводящих вопросов.

- оценка «неудовлетворительно» обучающемуся выставляется при наличии грубых ошибок в ответе, непонимании сущности излагаемого вопроса, неточности ответов на дополнительные и наводящие вопросы.

8.5. Шкала и порядок оценки степени (уровня) усвоения обучающимся теоретического учебного материала в форме зачета.

Оценка степени (уровня) усвоения аспирантами теоретического материала и умений решать практические задачи, рассчитывать и использовать в практической деятельности показатели и др. в форме зачета осуществляется посредством выставления оценок «зачтено» или «не зачтено».