

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

ИНСТИТУТ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ И ТЕХНОЛОГИЙ

КАФЕДРА ТЕХНОЛОГИИ ЗАМКНУТОГО ЯДЕРНОГО ТОПЛИВНОГО ЦИКЛА

ОДОБРЕНО УМС ИЯФИТ

Протокол № 01/08/24-573.1

от 30.08.2024 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРИКЛАДНОГО МАТЕМАТИЧЕСКОГО
МОДЕЛИРОВАНИЯ

Направление подготовки
(специальность)

[1] 14.04.02 Ядерные физика и технологии

Семестр	Трудоемкость, кред.	Общий объем курса, час.	Лекции, час.	Практич. занятия, час.	Лаборат. работы, час.	В форме практической подготовки/ В	СРС, час.	КСР, час.	Форма(ы) контроля, экз./зач./КР/КП
2	4	144	15	30	0		63	0	Э
Итого	4	144	15	30	0	16	63	0	

АННОТАЦИЯ

Обсуждаются современные вычислительные технологии, ориентированные на приближенное решение прикладных проблем, математические модели которых базируются на системах уравнений с частными производными. Задачи решаются в сложных расчетных областях на основе конечно-элементной аппроксимации с использованием параллельных вычислительных систем. Рассматриваются принципы построения прикладного программного обеспечения на основе свободных библиотек научных и инженерных вычислений, среди которых особое внимание уделяется вычислительной платформе FEniCS. Рассматриваются проблемы генерации расчетных сеток с использованием программы Gmsh. На практических занятиях рассматривается решение многомерных краевых задач теплопроводности и упругости.

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Целью дисциплины является подготовка студентов к решению инженерных задач численными методами на основе свободного программного обеспечения инженерных и научных вычислений. Среди задач курса:

- Ознакомление с технологией проведения научных исследований на основе вычислительного эксперимента.
- Изучение современных технологий создания прикладного программного обеспечения на основе свободного программного обеспечения.
- Обучение студентов умениям разрабатывать и исследовать прикладные математические модели.
- Формирование практических навыков создания геометрических моделей и расчетных сеток, построения вычислительных алгоритмов на основе конечно-элементной аппроксимации, подготовке расчетных программ для параллельных вычислительных систем.

2. МЕСТО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВО

Учебная программа соответствует требованиям образовательного стандарта высшего образования национального исследовательского ядерного университета «МИФИ» по направлению 14.04.02 - Ядерная физика и технологии, «Профессиональный модуль».

3. ФОРМИРУЕМЫЕ КОМПЕТЕНЦИИ И ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ

Универсальные и(или) общепрофессиональные компетенции:

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции
УК-1 [1] – Способен осуществлять критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, вырабатывать стратегию действий	З-УК-1 [1] – Знать: методы системного и критического анализа; методики разработки стратегии действий для выявления и решения проблемной ситуации У-УК-1 [1] – Уметь: применять методы системного подхода и критического анализа проблемных ситуаций; разрабатывать стратегию действий, принимать

	конкретные решения для ее реализации В-УК-1 [1] – Владеть: методологией системного и критического анализа проблемных ситуаций; методиками постановки цели, определения способов ее достижения, разработки стратегий действий
УК-2 [1] – Способен управлять проектом на всех этапах его жизненного цикла	3-УК-2 [1] – Знать: этапы жизненного цикла проекта; этапы разработки и реализации проекта; методы разработки и управления проектами У-УК-2 [1] – Уметь: разрабатывать проект с учетом анализа альтернативных вариантов его реализации, определять целевые этапы, основные направления работ; объяснить цели и сформулировать задачи, связанные с подготовкой и реализацией проекта; управлять проектом на всех этапах его жизненного цикла В-УК-2 [1] – Владеть: методиками разработки и управления проектом; методами оценки потребности в ресурсах и эффективности проекта
УКЦ-1 [1] – Способен решать исследовательские, научно-технические и производственные задачи в условиях неопределенности, в том числе выстраивать деловую коммуникацию и организовывать работу команды с использованием цифровых ресурсов и технологий в цифровой среде	3-УКЦ-1 [1] – Знать современные цифровые технологии, используемые для выстраивания деловой коммуникации и организации индивидуальной и командной работы У-УКЦ-1 [1] – Уметь подбирать наиболее релевантные цифровые решения для достижения поставленных целей и задач, в том числе в условиях неопределенности В-УКЦ-1 [1] – Владеть навыками решения исследовательских, научно-технических и производственных задач с использованием цифровых технологий
УКЦ-2 [1] – Способен к самообучению, самоактуализации и саморазвитию с использованием различных цифровых технологий в условиях их непрерывного совершенствования	3-УКЦ-2 [1] – Знать основные цифровые платформы, технологи и интернет ресурсы используемые при онлайн обучении У-УКЦ-2 [1] – Уметь использовать различные цифровые технологии для организации обучения В-УКЦ-2 [1] – Владеть навыками самообучения, самоактуализации и саморазвития с использованием различных цифровых технологий

Профессиональные компетенции в соответствии с задачами и объектами (областями знаний) профессиональной деятельности:

Задача профессиональной деятельности (ЗПД)	Объект или область знания	Код и наименование профессиональной компетенции; Основание (профессиональный стандарт-ПС, анализ опыта)	Код и наименование индикатора достижения профессиональной компетенции
инновационный			
Исследования и разработки,	Ядерные энерготехнологии	ПК-6.2 [1] - Способен выбирать критерии	3-ПК-6.2[1] - Знать основные

направленные на создание новой технологической платформы атомной энергетики, расчетное сопровождение энергетического оборудования, обоснование ядерной и радиационной безопасности объектов использования атомной энергии.	нового поколения; функциональные и конструкционные материалы ядерных реакторов; программные комплексы и математические модели для теоретического и расчетно-аналитического анализа безопасности АЭС, объекты использования атомной энергии и ядерного наследия, в части научно-технического и организационно-правового обоснования и обеспечения безопасности.	безопасной работы и применять методы обоснования безопасности для количественных оценок эффективности функционирования и обоснования безопасности объектов использования атомной энергии. <i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 24.078	теплогидравлические и нейтронно-физические процессы, протекающие в быстрых реакторах; основные принципы и критерии обеспечения безопасности ядерных энергетических установок и объектов замкнутого ядерного топливного цикла.; У-ПК-6.2[1] - Уметь применять полученные знания к решению практических задач связанных с проектированием и эксплуатацией быстрых реакторов и объектов замкнутого ядерного топливного цикла.; В-ПК-6.2[1] - Владеть методами инженерных расчетов обоснования радиационной безопасности.
--	--	---	---

4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Разделы учебной дисциплины, их объем, сроки изучения и формы контроля:

№ п.п	Наименование раздела учебной дисциплины	Недели	Лекции/ Практ. (семинары) / Лабораторные работы, час.	Обязат. текущий контроль (форма*, неделя)	Максимальный балл за раздел**	Аттестация раздела (форма*, неделя)	Индикаторы освоения компетенции
	<i>2 Семестр</i>						
1	Современные математические технологии. Прикладное программное обеспечение. Прикладные математические модели. Предварительное исследование	1-8	8/15/0	КИ-8 (25)	25	КИ-8	З-ПК-6.2, У-ПК-6.2, В-ПК-6.2, З-УК-1, У-УК-1, В-УК-1, З-УК-2, У-УК-2, В-УК-2, З-УКЦ-1, У-УКЦ-1,

	математических моделей методы. Метод конечных элементов. Геометрические и сеточные модели.						В-УКЦ-1, 3-УКЦ-2, У-УКЦ-2, В-УКЦ-2
2	Решение систем линейных и нелинейных уравнений. Нестационарные задачи.	9-15	7/15/0	КИ-15 (25)	25	КИ-15	В-УК-1, 3-УК-2, У-УК-2, В-УК-2, 3-УКЦ-1, У-УКЦ-1, В-УКЦ-1, 3-УКЦ-2, У-УКЦ-2, В-УКЦ-2, 3-ПК-6.2, У-ПК-6.2, В-ПК-6.2, 3-УК-1, У-УК-1
	<i>Итого за 2 Семестр</i>		15/30/0		50		
	Контрольные мероприятия за 2 Семестр				50	Э	3-ПК-6.2, У-ПК-6.2, В-ПК-6.2, 3-УК-1, У-УК-1, В-УК-1, 3-УК-2, У-УК-2, В-УК-2, 3-УКЦ-1, У-УКЦ-1, В-УКЦ-1, 3-УКЦ-2, У-УКЦ-2, В-УКЦ-2

* – сокращенное наименование формы контроля

** – сумма максимальных баллов должна быть равна 100 за семестр, включая зачет и (или) экзамен

Сокращение наименований форм текущего контроля и аттестации разделов:

Обозначение	Полное наименование
КИ	Контроль по итогам
Э	Экзамен

КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН

Недели	Темы занятий / Содержание	Лек.,	Пр./сем.,	Лаб.,
--------	---------------------------	-------	-----------	-------

		час.	час.	час.
	2 Семестр	15	30	0
1-8	Современные математические технологии. Прикладное программное обеспечение. Прикладные математические модели. Предварительное исследование математических моделей методы. Метод конечных элементов. Геометрические и сеточные модели.	8	15	0
1 - 8	Современные математические технологии. Прикладное программное обеспечение. Прикладные математические модели. Предварительное исследование математических моделей методы. Метод конечных элементов. Гео 1. Современные математические технологии. Математизация знаний. Фундаментальные и прикладные модели. Что значит решить задачу? Компьютеры в научных исследованиях. Новая технология научных исследований. Триада вычислительного эксперимента. Построение математической модели. Предварительное исследование модели. Вычислительные алгоритмы. Программная реализация. Проведение вычислительного эксперимента. Прогнозный вычислительный эксперимент. Оптимизационный вычислительный эксперимент. Диагностический вычислительный эксперимент. 2. Прикладное программное обеспечение. Коммерческое программное обеспечение и исследовательские коды. Особенности математического моделирования. Операционные системы. Linux в инженерных и научных вычислениях. Алгоритмические языки. Python и библиотеки. Мультифизические пакеты прикладного моделирования. Основные компоненты современного прикладного программного обеспечения. Вычислительные платформы. Разработка прикладного программного обеспечения на базе FEniCS. 3. Прикладные математические модели. Системный анализ проблемы, выделение подсистем моделирования. Цели и задачи прикладного моделирования. Фундаментальная математическая модель. Иерархия математических моделей. Замыкание математических моделей граничными и начальными условиями — прикладная математическая модель. 4. Предварительное исследование математических моделей. Упрощенные задачи. Качественный анализ средствами прикладной математики. Существование решений, множественность решений их устойчивость. Безразмерный анализ задачи. Приближенные решения. Точные решения. Задачи для тестирования вычислительные алгоритмов. 5. Метод конечных элементов. Сеточные методы. Разностные методы для одномерной задачи диффузии. Дискретная задача. Проекционные методы. Метод конечных элементов. Вариационная формулировка	Всего аудиторных часов		
		8	15	0
		Онлайн		
		0	0	0

	краевых задач. Аппроксимация одномерных задач. Определение коэффициентов. Особенности применения метода конечных элементов в многомерных задачах. 6. Геометрические и сеточные модели. Расчетные области при математическом моделировании. Параметрические геометрические модели. Расчетная сетка. Структурированные стеки. Композитные сетки. Треугольные (тетраэдральные) сетки. Качество расчетной сетки. Адаптивные сетки. Свободное программное обеспечение для генерации сеток.			
9-15	Решение систем линейных и нелинейных уравнений. Нестационарные задачи.	7	15	0
9 - 15	Решение систем линейных и нелинейных уравнений. Нестационарные задачи 7. Решение систем линейных и нелинейных уравнений. Дискретная задача при конечно-элементной аппроксимации. Разреженные системы. Системы нелинейных алгебраических уравнений. Прямые методы решения систем линейных уравнений. Итерационные методы. Использование переобуславливателей. Итерационные методы решения нелинейных уравнений. Свободное программное обеспечение. 8. Нестационарные задачи. Особенности нестационарных задач. Конечно-разностная аппроксимация по времени. Нестационарная задача диффузии. Явные и неявные схемы. Устойчивость разностных схем. Аддитивные схемы — схемы расщепления.	Всего аудиторных часов		
		7	15	0
		Онлайн		
		0	0	0

Сокращенные наименования онлайн опций:

Обозначение	Полное наименование
ЭК	Электронный курс
ПМ	Полнотекстовый материал
ПЛ	Полнотекстовые лекции
ВМ	Видео-материалы
АМ	Аудио-материалы
Прз	Презентации
Т	Тесты
ЭСМ	Электронные справочные материалы
ИС	Интерактивный сайт

ТЕМЫ СЕМИНАРОВ

Недели	Темы занятий / Содержание
	<i>2 Семестр</i>
1 - 8	Темы 1 1. Рабочее окружение в операционной системе Linux, интегрированная среда разработки Spyder. 2. Python - язык научных вычислений 3. Matplotlib - научная графика 4. NumPy, SciPy - базовые математические библиотеки 5. Технология МКЭ - основные алгоритмические моменты

9 - 16	Темы 2 6. Подготовка области и сетки - gmsh, базовые возможности 7. FEniCS - вычислительная платформа математического моделирования 8. Стационарная задача теплопроводности 9. Нестационарная задача теплопроводности 10. Нелинейные задачи теплопроводности
--------	--

5. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

При реализации программы курса используются различные образовательные технологии. Аудиторные занятия проводятся в компьютерных классах, которые оснащаются свободным программным обеспечением инженерных и научных вычислений. Особое внимание студентов обращается на интернет ресурсы, где впоследствии они самостоятельно смогут получать актуальную информацию по читаемым темам. Самостоятельная работа студентов подразумевает под собой проработку лекционного материала, подготовку сообщений на практических занятиях, а также выполнение двух домашних заданий.

6. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

Фонд оценочных средств по дисциплине обеспечивает проверку освоения планируемых результатов обучения (компетенций и их индикаторов) посредством мероприятий текущего, рубежного и промежуточного контроля по дисциплине.

Связь между формируемыми компетенциями и формами контроля их освоения представлена в следующей таблице:

Компетенция	Индикаторы освоения	Аттестационное мероприятие (КП 1)
ПК-6.2	З-ПК-6.2	Э, КИ-8, КИ-15
	У-ПК-6.2	Э, КИ-8, КИ-15
	В-ПК-6.2	Э, КИ-8, КИ-15
УК-1	З-УК-1	Э, КИ-8, КИ-15
	У-УК-1	Э, КИ-8, КИ-15
	В-УК-1	Э, КИ-8, КИ-15
УК-2	З-УК-2	Э, КИ-8, КИ-15
	У-УК-2	Э, КИ-8, КИ-15
	В-УК-2	Э, КИ-8, КИ-15
УКЦ-1	З-УКЦ-1	Э, КИ-8, КИ-15
	У-УКЦ-1	Э, КИ-8, КИ-15
	В-УКЦ-1	Э, КИ-8, КИ-15
УКЦ-2	З-УКЦ-2	Э, КИ-8, КИ-15
	У-УКЦ-2	Э, КИ-8, КИ-15
	В-УКЦ-2	Э, КИ-8, КИ-15

Шкалы оценки образовательных достижений

Шкала каждого контрольного мероприятия лежит в пределах от 0 до установленного максимального балла включительно. Итоговая аттестация по дисциплине оценивается по 100-

балльной шкале и представляет собой сумму баллов, заработанных студентом при выполнении заданий в рамках текущего и промежуточного контроля.

Итоговая оценка выставляется в соответствии со следующей шкалой:

Сумма баллов	Оценка по 4-ех балльной шкале	Оценка ECTS	Требования к уровню освоению учебной дисциплины
90-100	5 – «отлично»	A	Оценка «отлично» выставляется студенту, если он глубоко и прочно усвоил программный материал, исчерпывающе, последовательно, четко и логически стройно его излагает, умеет тесно увязывать теорию с практикой, использует в ответе материал монографической литературы.
85-89	4 – «хорошо»	B	Оценка «хорошо» выставляется студенту, если он твёрдо знает материал, грамотно и по существу излагает его, не допуская существенных неточностей в ответе на вопрос.
75-84		C	
70-74		D	
65-69	3 – «удовлетворительно»	E	Оценка «удовлетворительно» выставляется студенту, если он имеет знания только основного материала, но не усвоил его деталей, допускает неточности, недостаточно правильные формулировки, нарушения логической последовательности в изложении программного материала.
60-64			
Ниже 60	2 – «неудовлетворительно»	F	Оценка «неудовлетворительно» выставляется студенту, который не знает значительной части программного материала, допускает существенные ошибки. Как правило, оценка «неудовлетворительно» ставится студентам, которые не могут продолжить обучение без дополнительных занятий по соответствующей дисциплине.

7. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

ОСНОВНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. ЭИ Л 68 Математическое моделирование нелинейных процессов : учебник для вузов, Лобанов А. И., Москва: Юрайт, 2022
2. ЭИ Г 62 Математическое моделирование систем и процессов : учебное пособие, Голубева Н. В., Санкт-Петербург: Лань, 2021
3. ЭИ Ч-49 Основы программирования на Python : учебное пособие для вузов, Чернышев С. А., Москва: Юрайт, 2021

4. ЭИ Ф 33 Программирование на языке высокого уровня Python : учебное пособие для спо, Федоров Д. Ю., Москва: Юрайт, 2021

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. ЭИ G39 Lean Python : Learn Just Enough Python to Build Useful Tools, Gerrard, Paul. , Berkeley, CA: Apress, 2016
2. ЭИ В49 Python Recipes Handbook : A Problem-Solution Approach, Bernard, Joey. , Berkeley, CA: Apress, 2016
3. ЭИ Л 87 Python. К вершинам мастерства : , Лучано Р. , Москва: ДМК Пресс, 2016
4. 519 С17 Введение в численные методы : учебное пособие для вузов, Самарский А.А., Санкт-Петербург [и др.]: Лань, 2009
5. 519 С17 Математическое моделирование. Идеи. Методы. Примеры : , Михайлов А.П., Самарский А.А., М.: Физматлит, 2002
6. 519 И46 Методы и технологии конечных элементов : , Ильин В.П., Новосибирск: , 2007
7. ЭИ З-67 Основы программирования на языке Python : , Златопольский Д. М., Москва: ДМК Пресс, 2018
8. 519 В12 Численное моделирование : , Вабищевич П.Н., М.: МГУ, 1993
9. 519 З-23 Численные методы. Основы научных вычислений : учебник и практикум для академического бакалавриата, Зализняк В. Е., Москва: Юрайт, 2018

ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ:

Специальное программное обеспечение не требуется

LMS И ИНТЕРНЕТ-РЕСУРСЫ:

1. <https://ubuntu.ru/get> (<https://ubuntu.ru/get>)
2. <https://www.python.org/> (<https://www.python.org/>)
3. <https://www.spyder-ide.org/> (<https://www.spyder-ide.org/>)
4. <https://numpy.org/> (<https://numpy.org/>)
5. <https://scipy.org/> (<https://scipy.org/>)
6. <https://matplotlib.org/> (<https://matplotlib.org/>)
7. <http://gmsh.info/> (<http://gmsh.info/>)
8. <https://www.paraview.org/> (<https://www.paraview.org/>)
9. <https://fenicsproject.org/> (<https://fenicsproject.org/>)

<https://online.mephi.ru/>

<http://library.mephi.ru/>

8. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Специальное материально-техническое обеспечение не требуется

9. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ СТУДЕНТОВ

С целью приобретения и развития навыков самостоятельной работы при численном решении краевых задач для уравнений с частными производными задач студентам предлагается в течение семестра выполнить два домашних задания. Первое домашнее задание выдается на 3-й неделе семестра и принимается на 8-й неделе. Второе домашнее задание выдается на 9-й неделе и принимается на 15-й неделе. Примеры домашних заданий, приведены в специальном разделе программы и могут корректироваться преподавателем в зависимости от степени усвоения студентами учебного материала в течение семестра.

10. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ ПРЕПОДАВАТЕЛЕЙ

Дисциплина посвящена подготовке студентов к численному решению прикладных проблем.

Чтение лекций и проведение семинарских занятий рекомендуется проводить в компьютерных классах с предустановленным свободным программным обеспечением инженерных и научных вычислений.

Особое внимание студентов следует обратить на интернет ресурсы, где они самостоятельно смогут получать актуальную информацию по изучаемым темам.

Практические навыки инженерных и научных вычислений закрепляются самостоятельной работой, выполнением индивидуальных домашних заданий.

Автор(ы):

Першуков Вячеслав Александрович, д.т.н.,
профессор

Рецензент(ы):

Тихомиров Г.В.