

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 ТЕПЛОФИЗИКИ

ОДОБРЕНО УМС ИЯФИТ

Протокол № 01/08/24-573.1

от 30.08.2024 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

ЧИСЛЕННЫЕ МЕТОДЫ В ТЕПЛОФИЗИКЕ (ЧАСТЬ 2)

Направление подготовки
(специальность)

[1] 14.04.01 Ядерная энергетика и теплофизика

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	3	108	15	15	15		27	0	Э
Итого	3	108	15	15	15	0	27	0	

АННОТАЦИЯ

Целями освоения учебной дисциплины являются ознакомление будущих магистров с методами численного решения задач, возникающих при моделировании на ЭВМ процессов теплообмена, обучение умению применять полученные знания в производственной и научной деятельности, применению современных компьютерных технологий при выполнении домашних заданий, приобретению навыков работы с научной, справочной и электронной литературой.

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Целями освоения учебной дисциплины являются ознакомление будущих магистров с методами численного решения задач, возникающих при моделировании на ЭВМ процессов теплообмена, обучение умению применять полученные знания в производственной и научной деятельности, применению современных компьютерных технологий при выполнении домашних заданий, приобретению навыков работы с научной, справочной и электронной литературой.

2. МЕСТО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВО

Предусматривается широкое использование в учебном процессе активных форм проведения занятий (компьютерные практикумы, разбор домашних заданий, система контрольно-измерительных материалов, включая тесты) в сочетании с внеаудиторной работой с целью формирования и развития профессиональных навыков студентов

3. ФОРМИРУЕМЫЕ КОМПЕТЕНЦИИ И ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ

Универсальные и(или) общепрофессиональные компетенции:

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции
--------------------------------	--

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
научно-исследовательский			
проектирование, создание и эксплуатация атомных станций и других ядерных	ядерные реакторы, термоядерные и энергетические установки, теплогидравлические	ПК-1.1 [1] - Способен рассчитывать и измерять физические характеристики ядерных	З-ПК-1.1[1] - знать методы нейтронно-физических и тепло-гидравлических измерений и

энергетических установок, вырабатывающих, преобразующих и использующих тепловую и ядерную энергию	и нейтронно-физические процессы в активных зонах ядерных реакторов и бланкетов термоядерных реакторов, тепловые измерения и контроль, теплоносители и материалы ядерных реакторов, ядерный топливный цикл, системы обеспечения безопасности ядерных энергетических установок, системы управления ядерно-физическими установками, программные комплексы и математические модели для теоретического и экспериментального исследования явлений и закономерностей в области теплофизики и энергетики, перспективные методы преобразования энергии	энергетических установок, проводить гидродинамические и тепловые расчеты в сложных системах <i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 24.028	расчетов; У-ПК-1.1[1] - уметь выполнять нейтронно-физические и тепло-гидравлические измерения в реакторной установке; В-ПК-1.1[1] - владеть прикладным программным обеспечением
проектирование, создание и эксплуатация атомных станций и других ядерных энергетических установок, вырабатывающих, преобразующих и использующих тепловую и ядерную энергию	ядерные реакторы, термоядерные и энергетические установки, теплогидравлические и нейтронно-физические процессы в активных зонах ядерных реакторов и бланкетов термоядерных реакторов, тепловые измерения и контроль, теплоносители и материалы ядерных реакторов, ядерный топливный цикл, системы обеспечения безопасности ядерных энергетических	ПК-8 [1] - способен владеть расчетно-теоретическими и экспериментальными методами исследования физических процессов, выполнять экспериментальные исследования и проводить обработку, анализ и обобщение полученных результатов <i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 24.028	3-ПК-8[1] - знать типовые методики и номенклатуру выполнения измерений и расчетов процессов; ; У-ПК-8[1] - уметь обрабатывать результаты измерений и анализировать результаты расчетов;; В-ПК-8[1] - владеть методами исследования физических процессов

	установок, системы управления ядерно-физическими установками, программные комплексы и математические модели для теоретического и экспериментального исследования явлений и закономерностей в области теплофизики и энергетики, перспективные методы преобразования энергии		
проектный			
проектирование, создание и эксплуатация атомных станций и других ядерных энергетических установок, вырабатывающих, преобразующих и использующих тепловую и ядерную энергию	ядерные реакторы, термоядерные и энергетические установки, теплогидравлические и нейтронно-физические процессы в активных зонах ядерных реакторов и бланкетов термоядерных реакторов, тепловые измерения и контроль, теплоносители и материалы ядерных реакторов, ядерный топливный цикл, системы обеспечения безопасности ядерных энергетических установок, системы управления ядерно-физическими установками, программные комплексы и математические модели для теоретического и экспериментального исследования явлений и закономерностей в области теплофизики и энергетики,	ПК-4 [1] - способен использовать в разработке технических проектов новые информационные технологии и алгоритмы <i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 24.028	З-ПК-4[1] - знать основы компьютерных и информационных технологий; ; У-ПК-4[1] - уметь обобщать и анализировать информацию; В-ПК-4[1] - владеть информацией по перспективам развития атомной энергетики

	перспективные методы преобразования энергии		
--	---	--	--

4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

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

№ п.п	Наименование раздела учебной дисциплины	Недели	Лекции/ Практи. (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	Реализация на ЭВМ точных аналитических задач теплообмена.	1-12	12/12/12		25	СК-8	3-ПК-1.1, У-ПК-1.1, В-ПК-1.1, 3-ПК-4, У-ПК-4, В-ПК-4, 3-ПК-8, У-ПК-8, В-ПК-8
2	Методы расчета средних температур на моделях с сосредоточенными параметрами.	13-15	3/3/3		25	СК-15	3-ПК-1.1, У-ПК-1.1, В-ПК-1.1, 3-ПК-4, У-ПК-4, В-ПК-4, 3-ПК-8, У-ПК-8, В-ПК-8
	<i>Итого за 2 Семестр</i>		15/15/15		50		
	Контрольные мероприятия за 2 Семестр				50	Э	3-ПК-1.1, У-ПК-1.1, В-ПК-1.1, 3-ПК-4, У-ПК-4, В-ПК-4, 3-ПК-8, У-ПК-8, В-ПК-8

* – 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
-------------	---------------------

СК	Семестровый контроль
Э	Экзамен

КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН

Недели	Темы занятий / Содержание	Лек., час.	Пр./сем., час.	Лаб., час.
	<i>2 Семестр</i>	15	15	15
1-12	Реализация на ЭВМ точных аналитических задач теплообмена.	12	12	12
1 - 4	Введение в вычислительную теплофизику. Сравнение экспериментального, теоретического и вычислительного подходов к решению задач теплофизики. Содержание курса.	Всего аудиторных часов		
		4	4	4
		Онлайн		
		0	0	0
5 - 8	Конечно-разностные методы решения уравнения теплопроводности . Основные понятия теории разностных схем. Построение разностных схем методом баланса. Явная и неявная схемы. Метод прогонки. Разностные схемы для многомерных задач. Локально-одномерная схема.	Всего аудиторных часов		
		4	4	4
		Онлайн		
		0	0	0
9 - 12	Конечно-разностные методы решения уравнения конвективного теплопереноса. Особенности аппроксимации конвективных членов. Разности "против потока", схема бегущего счета.	Всего аудиторных часов		
		4	4	4
		Онлайн		
		0	0	0
13-15	Методы расчета средних температур на моделях с сосредоточенными параметрами.	3	3	3
13 - 15	Моделирование процессов тепломассопереноса в сложных системах, представимых в виде сетей. Способы представления гидравлической сети в виде графа. Моделирование гидравлической сети методом элементарных балансов. Моделирование гидравлической сети методом постановки краевых задач на графе.	Всего аудиторных часов		
		3	3	3
		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 ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

Недели	Темы занятий / Содержание
	<i>2 Семестр</i>
1 - 2	Разностные схемы для одномерного нестационарного уравнения теплопроводности Разностные схемы для одномерного нестационарного уравнения теплопроводности Исследование влияния степени неявности разностной схемы на устойчивость, монотонность и точность полученного разностного решения одномерного нестационарного уравнения теплопроводности.
3 - 4	Двухмерное стационарное поле температур в стержневом тепловыделяющем элементе Двухмерное стационарное поле температур в стержневом тепловыделяющем элементе Исследование влияния параметров пространственного разбиения твэла на точность, получаемого распределения поля температур.
5 - 6	Двухмерное нестационарное поле температур в стержневом тепловыделяющем элементе Двухмерное нестационарное поле температур в стержневом тепловыделяющем элементе Исследование влияния параметров пространственного разбиения твэла и величины временного шага на точность, получаемого распределения поля температур.
7 - 9	Знакомство с системой "ЭНИКАД". Элементы САПР теплогидравлики Знакомство с системой "ЭНИКАД". Элементы САПР теплогидравлики Знакомство с интерфейсом САПР теплогидравлики "ЭНИКАД" и основными элементами ее библиотеки.
10 - 12	Исследование точности моделирования переходного процесса и границ устойчивости численной схемы Исследование точности моделирования переходного процесса и границ устойчивости численной схемы Исследование зависимости асимптотической точности модели одномерного течения жидкости от шага временной и пространственной дискретизации.
13 - 16	Исследование постоянных времени подогрева одномерного канала Исследование постоянных времени подогрева одномерного канала Изучение влияния пространственной дискретизации на значения постоянных времени нагрева теплоносителя.

ТЕМЫ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ

Недели	Темы занятий / Содержание
	<i>2 Семестр</i>
1 - 4	Введение в вычислительную теплофизику. Сравнение экспериментального, теоретического и вычислительного подходов к решению задач теплофизики. Содержание курса.
5 - 7	Конечно-разностные методы решения уравнения теплопроводности . Основные понятия теории разностных схем. Построение разностных схем методом баланса. Явная и неявная схемы. Метод прогонки. Разностные схемы для многомерных задач. Локально-одномерная схема.

8 - 12	Конечно-разностные методы решения уравнения конвективного теплопереноса. Особенности аппроксимации конвективных членов. Разности "против потока", схема бегущего счета.
13 - 16	Моделирование процессов тепломассопереноса в сложных системах, представимых в виде сетей. Способы представления гидравлической сети в виде графа. Моделирование гидравлической сети методом элементарных балансов. Моделирование гидравлической сети методом постановки краевых задач на графе.

ТЕМЫ СЕМИНАРОВ

Недели	Темы занятий / Содержание
	<i>2 Семестр</i>
1 - 4	Введение в вычислительную теплофизику. Сравнение экспериментального, теоретического и вычислительного подходов к решению задач теплофизики. Содержание курса.
5 - 7	Конечно-разностные методы решения уравнения теплопроводности . Основные понятия теории разностных схем. Построение разностных схем методом баланса. Явная и неявная схемы. Метод прогонки. Разностные схемы для многомерных задач. Локально-одномерная схема.
8 - 12	Конечно-разностные методы решения уравнения конвективного теплопереноса. Особенности аппроксимации конвективных членов. Разности "против потока", схема бегущего счета.
13 - 16	Моделирование процессов тепломассопереноса в сложных системах, представимых в виде сетей. Способы представления гидравлической сети в виде графа. Моделирование гидравлической сети методом элементарных балансов. Моделирование гидравлической сети методом постановки краевых задач на графе.

5. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Дисциплина реализует компетентностный подход и предусматривает широкое использование в учебном процессе активных форм проведения занятий (компьютерные практикумы, разбор домашних заданий, система контрольно-измерительных материалов, включая тесты) в сочетании с внеаудиторной работой с целью формирования и развития профессиональных навыков студентов.

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-1.1	З-ПК-1.1	Э, СК-8, СК-15

	У-ПК-1.1	Э, СК-8, СК-15
	В-ПК-1.1	Э, СК-8, СК-15
ПК-4	З-ПК-4	Э, СК-8, СК-15
	У-ПК-4	Э, СК-8, СК-15
	В-ПК-4	Э, СК-8, СК-15
ПК-8	З-ПК-8	Э, СК-8, СК-15
	У-ПК-8	Э, СК-8, СК-15
	В-ПК-8	Э, СК-8, СК-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 – <i>«отлично»</i>	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 – <i>«хорошо»</i>	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 – <i>«удовлетворительно»</i>	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 – <i>«неудовлетворительно»</i>	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 В27 Numerical Approximation of Partial Differential Equations : , Bartels, Soren. , Cham: Springer International Publishing, 2016
2. ЭИ L44 Partial Differential Equations: Modeling, Analysis and Numerical Approximation : , Lucquin, Brigitte. , Le Dret, Herve. , Cham: Springer International Publishing, 2016
3. ЭИ Т80 Лабораторный практикум по курсу "Численные методы" : учебное пособие, Трухачев А.А., Москва: НИЯУ МИФИ, 2010
4. ЭИ К59 Программирование численных методов линейной алгебры : учебно-методическое пособие, Козин Р.Г., Москва: НИЯУ МИФИ, 2010
5. ЭИ Р28 Численные методы. Компьютерный практикум : учебно-методическое пособие для вузов, Ращиков В.И., Москва: НИЯУ МИФИ, 2010

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. ЭИ М31 Моделирование теплогидравлических процессов в реакторных установках и элементах теплообменного оборудования ЯЭУ : лабораторный практикум: учебное пособие для вузов, Рябов Н.О., Меринов И.Г., Маслов Ю.А., Москва: МИФИ, 2008
2. 621.039 М31 Моделирование теплогидравлических процессов в реакторных установках и элементах теплообменного оборудования ЯЭУ : лабораторный практикум: учебное пособие для вузов, Рябов Н.О., Меринов И.Г., Маслов Ю.А., Москва: МИФИ, 2008
3. 536 К79 Основы теплопередачи : , Крейт Ф., Блэк У., Москва: Мир, 1983
4. 533 Д81 Применение ЭВМ для решения задач теплообмена : учеб. пособие для вузов, Сигалов А.В., Дульнев Г.Н., Парфенов В.Г., Москва: Высшая школа, 1990
5. 512 К59 Программирование численных методов линейной алгебры : учебно-методическое пособие, Козин Р.Г., Москва: НИЯУ МИФИ, 2010
6. 519 Р28 Численные методы : компьютерный практикум, Ращиков В.И., Москва: НИЯУ МИФИ, 2010
7. 519 Б30 Численные методы : Учеб. пособие для вузов, Жидков Н.П., Кобельков Г.М., Бахвалов Н.С., М.: Бином, Лаборатория знаний, 2003
8. 519 К17 Численные методы : Учебное пособие для вузов, Калиткин Н.Н., М.: Наука, 1978
9. 519 С17 Численные методы и программирование на Фортране для персонального компьютера : , Самохин А.Б., Самохина А.С., М.: Радио и связь, 1996
10. 519 В63 Численные методы расчета одномерных систем : , Воеводин А.Ф., 1981

11. 519 Б30 Численные методы. Решения задач и упражнения : учебное пособие для вузов, Бахвалов Н.С., Чижонков Е.В., Корнев А.А., Москва: Дрофа, 2009

ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ:

Специальное программное обеспечение не требуется

LMS И ИНТЕРНЕТ-РЕСУРСЫ:

1. World-nuclear (<http://world-nuclear.org/>)
2. Росатом (www.rosatom.ru)
3. Росэнергоатом (<http://www.rosenergoatom.ru>)
4. ВЭБ элемент (<http://www.webelements.com>)

<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

При выполнении лабораторных работ и домашнего задания требуется знание численных методов используемых при численном решении систем алгебраических уравнений и обыкновенных дифференциальных уравнений. В качестве справочной литературы по этим методам можно использовать учебное пособие Маслов Ю.А., Меринов И.Г., Рябов Н.О. Моделирование теплогидравлических процессов в реакторных установках и элементах теплообменного оборудования ЯЭУ. Лабораторный практикум, 156 с., 2008. Многозначные методы решения обыкновенных дифференциальных уравнений описаны в книге Каханер Д., Моулер К., Нэш С. Численные методы и программное обеспечение. М.: Мир, 2001.

10. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ ПРЕПОДАВАТЕЛЕЙ

ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Для успешного освоения материала студентами на лекциях желательно выдавать раздаточный материал или подготовить презентации по основным методам численного решения рассматриваемых в курсе задач: решение трансцендентных уравнений, расчет определенных интегралов, решение систем алгебраических и обыкновенных дифференциальных уравнений.

НА ЧТО НЕОБХОДИМО ОБРАТИТЬ ВНИМАНИЕ:
ЛЕКЦИИ

Основное внимание на лекциях следует уделить изложению базовых понятий численных методов, используемых при решении рассматриваемых задач. Студенты должны четко представлять, как отличаются области определения точного и разностного решения, основные свойства разностных схем и их взаимосвязь.

При изучении численных методов решения систем обыкновенных дифференциальных уравнений необходимо подробно изложить основные подходы, применяемые для получения различных классов разностных схем. Студенты должны хорошо представлять основные преимущества и недостатки одношаговых, многошаговых и многозначных методов численного решения.

ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ

Лабораторные работы предназначены для закрепления полученных на лекциях знаний. Перед выполнением работы студенты должны повторить соответствующие разделы курса, что должно быть проконтролировано перед проведением лабораторной работы.

Отчет о выполненной работе должен обязательно включать материалы соответствующего раздела курса, а при приеме отчета следует обратить внимание на знание студентом основных теоретических положений, положенных в основу лабораторной работы.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ ДЛЯ ПРЕПОДАВАТЕЛЯ

Дополнительную информацию по основным идеям и практической реализации многозначных методов численного решения систем обыкновенных дифференциальных уравнений можно найти в книге Каханер Д., Моулер К., Нэш С. Численные методы и программное обеспечение. М.: Мир, 2001.

Автор(ы):

Меринов Игорь Геннадьевич, к.т.н.

Рецензент(ы):

доцент Харитонов В.С., доцент Корсун А.С.