

Министерство науки и высшего образования РФ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

Б1.В.ДВ.02.02.07 ТЕПЛОФИЗИКА

Вычислительная теплофизика

наименование дисциплины (модуля) в соответствии с учебным планом

Направление подготовки / специальность

03.03.02 Физика

Направленность (профиль)

03.03.02.33 Фундаментальная и прикладная физика

Форма обучения

очная

Год набора

2023

Красноярск 2023

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

Программу составили _____

канд. физ.-мат. наук, доцент, А.В. Минаков

должность, инициалы, фамилия

1 Цели и задачи изучения дисциплины

1.1 Цель преподавания дисциплины

Целью преподавания дисциплины является ознакомление студентов с основными методами численного моделирования задач технической физики, с существующими подходами к программной реализации этих методов и с примерами практических решений по использованию численных методов в научно-исследовательской и конструкторской работе.

1.2 Задачи изучения дисциплины

В результате изучения дисциплины студент должен приобрести знания, умения и навыки, необходимые для его профессиональной деятельности по направлению физика.

1.3 Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю), соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы

Код и наименование индикатора достижения компетенции	Запланированные результаты обучения по дисциплине
ПК-2: Способен к выполнению физических экспериментов и (или) теоретических исследований по заданной методике, составлению описания проводимых исследований и анализу результатов	
ПК-2.1: Выбирает методы проведения физических экспериментов и (или) теоретических исследований, обобщения и обработки информации	методы математического анализа, моделирования, оптимизации и статистики для решения задач, возникающих в ходе профессиональной деятельности источники погрешности численных решений и способы их оценки основные численные методы линейной алгебры, методы численного дифференцирования и интегрирования пользоваться методами математического анализа пользоваться программными комплексами для моделирования различных задач применять методы моделирования для оптимизации и решения задач, возникающих в ходе профессиональной деятельности навыками использования методов оценивания и анализа полученных данных, систематизирования и обработки полученных в ходе моделирования и решения задач результатов навыками реализации на ЭВМ вычислительных алгоритмов для метода Крамера, метода обращения матрицы, метода Гаусса, метода прогонки, итерационных методов (метод простой итерации, метод релаксации, метод Якоби, метод Зейделя) навыками реализации на ЭВМ вычислительных алгоритмов для методов численного интегрирования (Формула прямоугольников. Формула трапеций. Формула Симпсона. Квадратурные формулы

	Ньютона-Котеса)
ПК-2.2: Оформляет результаты научно-исследовательских и (или) опытно-конструкторских работ	<p>методы математического анализа, моделирования, оптимизации и статистики для решения задач, возникающих в ходе профессиональной деятельности</p> <p>источники погрешности численных решений и способы их оценки</p> <p>основные численные методы линейной алгебры, методы численного дифференцирования и интегрирования</p> <p>пользоваться методами математического анализа</p> <p>пользоваться программными комплексами для моделирования различных задач</p> <p>применять методы моделирования для оптимизации и решения задач, возникающих в ходе профессиональной деятельности</p> <p>навыками использования методов оценивания и анализа полученных дан-ных, систематизирования и обработки полученных в ходе моделирования и решения задач результатов</p> <p>навыками реализации на ЭВМ вычислительных алгоритмов для метода Крамера, метода обращения матрицы, метода Гаусса, метода прогонки, итерационных методов (метод простой итерации, метод релаксации, метод Якоби, метод Зейделя)</p> <p>навыками реализации на ЭВМ вычислительных алгоритмов для методов численного интегрирования (Формула прямоугольников. Формула трапеций. Формула Симпсона. Квадратурные формулы Ньютона-Котеса)</p>

<p>ПК-2.3: Составляет отчеты (разделы отчетов) по теме или по результатам проведенных экспериментов</p>	<p>основные способы анализа научно-технической информации, отечественный и зарубежный опыт по тематике исследований основные численные методы линейной алгебры отечественной и зарубежной разработки методы интерполяции и аппроксимации функций с учётом их применимости в нашей стране и за рубежом пользоваться глобальными информационными ресурсами и проводить детальный анализ информации ориентироваться в информационных потоках с целью пополнения своих знаний в области современных проблем физики и смежных наук Использовать основные способы анализа состояния научно-технической проблемы путем подбора, изучения и анализа литературных и патентных источников по тематике исследований навыками подбора, изучения и анализа литературных и патентных источников по тематике исследований, детального анализа полученной информации</p>
	<p>навыками лаконичного представления собранных материалов и фактов в соответствии с требованиями, предъявляемыми к научным обзорам навыками использования информационных технологий</p>

1.4 Особенности реализации дисциплины

Язык реализации дисциплины: Русский.

Дисциплина (модуль) реализуется без применения ЭО и ДОТ.

2. Объем дисциплины (модуля)

Вид учебной работы	Всего, зачетных единиц (акад. час)	Сем естр	
		1	2
Контактная работа с преподавателем:	3,5 (126)		
занятия лекционного типа	1,5 (54)		
лабораторные работы	2 (72)		
Самостоятельная работа обучающихся:	1,5 (54)		
курсовое проектирование (КП)	Нет		
курсовая работа (КР)	Нет		

3 Содержание дисциплины (модуля)

3.1 Разделы дисциплины и виды занятий (тематический план занятий)

		Контактная работа, ак. час.							
№ п/п	Модули, темы (разделы) дисциплины	Занятия лекционного типа		Занятия семинарского типа				Самостоятельная работа, ак. час.	
				Семинары и/или Практические занятия		Лабораторные работы и/или Практикумы			
		Всего	В том числе в ЭИОС	Всего	В том числе в ЭИОС	Всего	В том числе в ЭИОС	Всего	В том числе в ЭИОС
1. Тема 1. Общие понятия о математическом моделировании в технической физике									

<p>1. Лекция 1. Физическое и математическое моделирование. Фундаментальные модели. Феноменологические соотношения. Эмпирические данные. Основные определения. Исторический экскурс. Современное состояние дел.</p> <p>Лекция 2. Обобщенное уравнение переноса. Конвективные и диффузионные потоки. Описание физических процессов при помощи уравнений переноса. Граничные условия уравнений переноса. Условия первого, второго рода, смешанные условия. Физические границы и граничные условия на них. Условия на твердой стенке, на плоскости симметрии, на входной и выходной границе.</p> <p>Лекция 3. Дифференциальные уравнения движения и равновесия сплошной среды. Сжимаемая и несжимаемая, изотермическая и неизотермическая, многокомпонентная среда. Приближение Буссинеска. Краевые условия задач гидродинамики, упругости, теплопроводности, виды границ.</p>	6							
2. Тема 1							5	
2. Тема 2 . Зональные и сетевые методы решения задач гидродинамики и теплообмена.								
<p>1. Лекция 4. Зональные методы. Описание радиационного и конвективного теплообмена в зональных методах. Методы Хоттеля, Журавлева. Область применения зональных методов и ограничения на их применимость.</p> <p>Лекция 5. Сетевые методы. Основные понятия и определения сетевых методов. Методы узловых давлений и контурных потоков для гидравлических сетей. Методы для нестационарных сетевых задач. Сетевые методы с одномерным описанием ветвей.</p>	4							

2. Тема 2							4	
3. Тема 3. Пространственные математические модели гидродинамических явлений.								
1. Лекция 6. Турбулентность. Основные понятия и определения. Лекция 7. Математические модели турбулентных течений. Проблема моделирования турбулентности. История вопроса. Обзор и классификация моделей турбулентных течений. Лекция 8. DNS-моделирование, преимущества и ограничения. Лекция 9. RANS модели. Однопараметрические модели. Семейство двухпараметрических RANS-моделей. URANS-модели.	8							
2. Лабораторная работа №1. Круглая и плоская турбулентные струи					12			
3. Лабораторная работа №4. Ламинарное и турбулентное течение в прямоугольных полостях					12			
4. Лабораторная работа №5. Ламинарное и турбулентное обтекание цилиндра					12			
5. Тема 3.							9	
6. Темы 1-3.								
4. Тема 3. Пространственные математические модели гидродинамических явлений.								
1. Лекция 10. LES- и DES-моделирование. Лекция 11. Особенности формулирования граничных условий в математических моделях турбулентных течений. Пристеночные функции.	8							
2. Лабораторная работа №6. Ламинарное и турбулентное течение в канале с прямыми и обратными уступами					6			

3. Тема 3.							9	
5. Тема 4. Методы построения и решения дискретных аналогов								
<p>1. Лекция 12. Конечно-разностная аппроксимация. Аппроксимация диффузионных членов. Способы аппроксимации конвективных членов уравнений переноса: направленные разности, центральная разность. Схемная вязкость и дисперсия. Коррекция схемных эффектов. Схемы повышенного порядка. Экспоненциальные схемы. TVD-схемы. Аппроксимация на криволинейных сетках.</p> <p>Лекция 13. Метод конечных объемов. Получение разностного аналога уравнений сохранения в методе конечных объемов. Обеспечение консервативности разностного аналога. Определение потоков на гранях конечных объемов.</p> <p>Лекция 14. Схемы первого и второго порядка, TVD-схемы на структурированных и неструктурированных сетках. Варианты описания границ расчетной области.</p> <p>Лекция 15. Методы расчета течений несжимаемой среды. Вывод уравнения для поправки давления. Метод SIMPLE и его модификации. Метод PISO.</p> <p>Лекция 16. Методы решения систем линейных алгебраических уравнений. Прямые методы их достоинства и недостатки. Метод Гаусса. Метод прогонки для трехдиагональных матриц. Итерационные методы: метод простой итерации, метод Гаусса-Зейделя, методы Якоби, методы вариационного типа, методы неполной факторизации.</p>	20							
2. Лабораторная работа №2. Теплообмен при ламинарном течении в круглом микроканале					6			

3. Лабораторная работа №3. Свободная ламинарная конвекция в кольцевых полостях					6			
4. Лабораторная работа №9. Расчет ламинарного течения в изогнутом на 90° канале квадратного сечения					6			
5. Тема.4							9	
6. Тема 5. Пакеты программ для решения задач вычислительной гидродинамики и анализа результатов моделирования								

<p>1. Лекция 17. Обзор и классификации существующих на сегодняшний день программ для решения задач механики сплошных сред. Исторический экскурс. Программы для решения задач гидродинамики и теплообмена. Программы для решения задач теплопроводности и напряженно-деформированного состояния. Возможности и ограничения современных программ. Области использования. Примеры применения. Сходные элементы и характерные особенности наиболее распространенных CFD-пакетов. Методы организации параллельных вычислений.</p> <p>Лекция 18. Характерная типовая структура пакетов. Средства построения трехмерной геометрии. Построение сеток. Типы сеток. Автоматические генераторы неструктурированных сеток. CAD системы. Выбор математических моделей. Стандартные физические модели и их расширение. Задание начальных и граничных условий задачи. Подбор численных параметров. Проведение расчетов. Постпроцессинг. Достоверность результатов. Методы анализа результатов моделирования. Общие стандарты представления результатов. Демонстрация: программные пакеты для решения задач гидродинамики и теплообмена: Fluent, STAR-CD, Ansys, CFX, SigmaFlow.</p>	8							
<p>2. Лабораторная работа №7. Турбулентное течение в U-образном гребне</p>				6				
<p>3. Лабораторная работа №8. Ламинарно-турбулентный переход в Т-микроканале</p>				6				
<p>4. Тема 5.</p>						18		

5. Темы 3-5								
Всего	54				72		54	

4 Учебно-методическое обеспечение дисциплины

4.1 Печатные и электронные издания:

1. Лобасова М. С., Лобасов А. С. Тепломассообмен. Конвективный теплообмен в однофазной среде: учебно-методическое пособие [для студентов напр. подготовки 011200.62 «Физика», 140700.62 «Ядерная энергетика и теплофизика», 222900 «Нанотехнология и микросистемная техника», 223200.62 «Техническая физика»](Красноярск: СФУ).
2. Минаков А. В., Платонов Д. В., Дектерев А. А. Математические модели задач гидродинамики и теплообмена. Теплообмен: учебно-методическое пособие по лабораторным работам для студентов спец. 140400.62 "техническая физика", 011200 "Физика", 140700 "Ядерная энергетика и теплофизика"(Красноярск: СФУ).
3. Минаков А. В., Платонов Д. В., Дектерев А. А. Математические модели задач гидродинамики и теплообмена. Гидродинамика: учебно-методическое пособие для студентов спец. 140400.62 "Техническая физика", 011200 "Физика", 140700 "Ядерная физика энергетика и теплофизика"(Красноярск: СФУ).
4. Платонов Д. В., Минаков А. В., Дектерев А. А. Компьютерные технологии в науке и образовании: учебно-методическое пособие [для бакалавров и магистров напр. 011200 «Физика», 140700 «Ядерная энергетика и теплофизика», 140800 «Ядерные физика и технологии», 222900 «Нанотехнология и микросистемная техника», 223200 «Техническая физика»](Красноярск: СФУ).
5. Платонов Д. В., Минаков А. В., Дектерев А. А. Математическое моделирование в технической физике: лабораторный практикум [для бакалавров и магистров напр. 011200 «Физика», 140700 «Ядерная энергетика и теплофизика», 140800 «Ядерные физика и технологии», 222900 «Нанотехнология и микросистемная техника», 223200 «Техническая физика»](Красноярск: СФУ).
6. Платонов Д. В., Минаков А. В., Дектерев А. А. Математическое моделирование в технической физике: учебно-методическое пособие [для бакалавров и магистров напр. 011200 «Физика», 140700 «Ядерная энергетика и теплофизика», 140800 «Ядерные физика и технологии», 222900 «Нанотехнология и микросистемная техника», 223200 «Техническая физика»](Красноярск: СФУ).
7. Платонов Д. В., Минаков А. В., Лобасов А. С., Пряжников М. И. Математическое моделирование в технической физике. Теплообмен в микроканалах и наножидкостях: учебно-методическое пособие [для направлений подготовки бакалавров и магистров 011200 «Физика», 140700 «Ядерная энергетика и теплофизика», 140800 «Ядерные физика и технологии», 222900 «Нанотехнология и микросистемная техника», 223200 «Техническая физика»](Красноярск: СФУ).
8. Платонов Д. В., Минаков А. В., Лобасов А. С., Пряжников М. И. Математическое моделирование в технической физике. Моделирование задач гидродинамики в микроканалах: учебно-методическое пособие [для направлений подготовки бакалавров и магистров 011200 «Физика»,

- 140700 «Ядерная энергетика и теплофизика», 140800 «Ядерные физика и технологии», 222900 «Нанотехнология и микросистемная техника», 223200 «Техническая физика»](Красноярск: СФУ).
9. Высоцкий Л. И., Коперник Г. Р., Высоцкий И. С. Математическое и физическое моделирование потенциальных течений жидкости: учебное пособие(Санкт-Петербург: Лань).
 10. Минаков А. В., Жигарев В. А., Платонов Д. В. Моделирование теплоэнергетических процессов и установок. Гидродинамика.: учебно-методическое пособие [для бакалавров напр.: 16.03.01 «Техническая физика», 13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника», для магистров напр.: 14.04.01 «Ядерная энергетика и теплофизика», 13.04.01 «Теплоэнергетика и теплотехника профиль» 13.04.01.00.02 «Энергоэффективные технологии производства тепловой и электрической энергии»](Красноярск: СФУ).
 11. Патанкар С., Виленский В. Д. Численные методы решения задач теплообмена и динамики жидкости: пер. с англ.(Москва: Энергоатомиздат).
 12. Алемасов В. Е., Дрегалин А. Ф., Черенков А. С. Основы теории физико-химических процессов в тепловых двигателях и энергетических установках: учеб. пособие(Москва: Химия).
 13. Бойко Е. А. Применение ЭВМ для решения теплоэнергетических задач: учебное пособие(Красноярск: Сибирский промысел).
 14. Альчиков В.В., Тимофеев В. Н., Багаев Б. М., Проворова В. Г., Быков В. И., Злобин В. С. Математическое моделирование физических полей в алюминиевых электролизерах: монография(Красноярск: ИПЦ КГТУ).
 15. Лойцянский Л. Г. Механика жидкости и газа: учебник для вузов(Москва: Дрофа).
 16. Пашков Л.Т. Математические модели процессов в паровых котлах (Москва: Институт компьютерных исследований).
 17. Самарский А. А., Вабищевич П. Н. Вычислительная теплопередача: научное издание(Москва: Едиториал УРСС).
 18. Оран Э. С., Борис Дж. П., Зимонт В. Л., Чушкин П. И. Численное моделирование реагирующих потоков: перевод с английского(Москва: Мир).
 19. Андерсон Д., Танненхил Д., Плетчер Р., Подвидза Г. Л. Вычислительная гидромеханика и теплообмен: Т. 1: перевод с английского : в 2 томах (Москва: Мир).
 20. Андерсон Д., Танненхил Д., Плетчер Р., Подвидза Г. Л. Вычислительная гидромеханика и теплообмен: Т. 2: перевод с английского : в 2 томах (Москва: Мир).
 21. Журавлев Ю. А. Радиационный теплообмен в огнетехнических установках: монография(Красноярск: Красноярский университет [КрасГУ]).
 22. Самарский А. А., Вабищевич П. Н. Численные методы решения обратных задач математической физики: [учебное пособие](Москва: Эдиториал УРСС).

23. Абрамович Г. Н. Прикладная газовая динамика: Ч. 1: в 2-х ч. : учеб. рук. для втузов(Москва: Наука, Гл. ред. физ.-мат. лит.).
24. Блох А.Г., Журавлев Ю.А., Рыжков Л.Н. Теплообмен излучением: справочник(М.: Энергоатомиздат).

4.2 Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение, в том числе отечественного производства (программное обеспечение, на которое университет имеет лицензию, а также свободно распространяемое программное обеспечение):

1. 1.Свободно распространяемые программы для научных и инженерных расчетов: Maxima, Scilab, Gnuplot. Сост. М. В. Горев (электронный вариант. pdf –формат)
2. 2.Графическое представление результатов измерений и расчетов. Подготовка графиков в Mathcad, Mathematica и Gnuplot. Сост. М. В. Горев (электронный вариант. pdf –формат)
3. 3.Программный комплекс «□Flow»

4.3 Интернет-ресурсы, включая профессиональные базы данных и информационные справочные системы:

1. Электронный каталог [Электронный ресурс]: Информация о конференциях в области теплофизики и теплотехники, ссылки на важные публикации и сайты программного обеспечения – Режим доступа: <http://www.thermophysics.ru>
2. Электронный каталог [Электронный ресурс]: научная электронная библиотека, предоставляющая доступ к аннотациям научных журналов списков Web of Science, РИНЦ – Режим доступа: <http://www.elibrary.ru>
3. Электронный каталог [Электронный ресурс]: база данных теплофизических свойств веществ, поддерживаемая Национальным институтом стандартов и технологий – Режим доступа: <http://www.webbook.nist.gov>
4. Электронный каталог библиотеки Coolprop [Электронный ресурс]: – для определения термодинамических и теплофизических свойств веществ. Библиотека может подключаться к компилируемым исполняемым файлам, к документам Mathcad, Matlab, Excel и др. – Режим доступа: <http://www.coolprop.org/>
5. Электронный каталог Американского общества инженеров [Электронный ресурс]: Ссылки на полезные ресурсы, справочник по компонентам систем отопления и кондиционирования.– Режим доступа: <http://www.ashrae.org/>

5 Фонд оценочных средств

Оценочные средства находятся в приложении к рабочим программам дисциплин.

6 Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине (модулю)

Методика проведения занятий допускает как использование технических средств (проекторы, интерактивные доски), так и классические аудиторныe занятия, обеспечиваемые стандартными материально-техническими средствами.

1. Лекционные аудитории должны быть оборудованы современным видеопроекционным оборудованием для презентаций, средствами звуковоспроизведения, экраном, и иметь выход в Интернет, а также иметь интерактивную доску или доску для письма маркерами.

2. Помещения для проведения семинарских занятий должны иметь мультимедийное оборудование, а также иметь интерактивную доску или доску для письма маркерами, учебную мебель трансформенного типа.

3. Библиотека должна иметь рабочие места для студентов, оснащенные компьютерами с доступом к базам данных, локальную сеть университета и Интернет.

4. Наглядные пособия:

а) демонстрационные пособия (таблицы, схемы, графики, диаграммы, видеофрагменты);

б) пособия на основе раздаточного материала (карточки с заданиями и задачами, ксерокопии фрагментов первоисточников);

в) электронные презентации.