

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Астраханский государственный университет имени В. Н. Татищева»
(Астраханский государственный университет им. В. Н. Татищева)

СОГЛАСОВАНО
Руководитель ОПОП

_____ Тишкова С.А.

«06» июня 2024 г.

УТВЕРЖДАЮ
И.о. заведующего кафедрой физики

_____ С. А. Тишкова

«06» июня 2024 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

«МЕТОДЫ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ТЕПЛОФИЗИКИ»

Составитель(и)	Шагаутдинова И. Т., к.ф.-м.н., доцент кафедры;
Направление подготовки / специальность	03.03.02 ФИЗИКА
Направленность (профиль) ОПОП	ИНЖЕНЕРНАЯ ФИЗИКА
Квалификация (степень)	бакалавр
Форма обучения	очная
Год приёма	2021
Курс	4
Семестр(ы)	8

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

1.1. Целями освоения дисциплины (модуля) «Методы вычислительной теплофизики» формирование знаний об основах численных методов, используемых при моделировании процессов переноса импульса, тепла и массы в фундаментальных и прикладных задачах теплофизики.

1.2. Задачи освоения дисциплины (модуля): рассмотреть методы дискретизации; ознакомиться с описанием распространенных разностных схем решения уравнений в частных производных; разобраться в исследовании вопросов устойчивости, согласованности и сходимости конечно-разностных схем; рассмотреть распространенные прямые и итерационные методы решения сеточных уравнений; рассмотреть особенности численного моделирования основных физических процессов: конвекции, диффузии и дисперсии.

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ) В СТРУКТУРЕ ОПОП

2.1. Учебная дисциплина (модуль) «Методы вычислительной теплофизики» относится к части, формируемой участниками образовательных отношений и осваивается в 8 семестре.

2.2. Для изучения данной учебной дисциплины (модуля) необходимы следующие знания, умения, навыки, формируемые предшествующими учебными дисциплинами (модулями):

– Молекулярная физика и термодинамика, общий физический практикум, математический анализ, теплофизика

Знания: курса общей физики

Умения: проводить вычисления

Навыки: работа с физическим оборудованием

2.3. Последующие учебные дисциплины (модули) и (или) практики, для которых необходимы знания, умения, навыки, формируемые данной учебной дисциплиной (модулем):

– компьютерная гидродинамика, теплофизика и прочность

3. ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)

Процесс освоения дисциплины (модуля) направлен на формирование элементов следующей(их) компетенции(ий) в соответствии с ФГОС ВО и ОПОП ВО по данному направлению подготовки / специальности:

А) профессиональной(ых) (ПК).

ПК-3 Готовность к проведению физических экспериментов по заданной методике, составлению описания проводимых исследований и анализу результатов

Таблица 1 – Декомпозиция результатов обучения

Код и наименование компетенции	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю)		
	Знать (1)	Уметь (2)	Владеть (3)
ПК-3 Готовность к проведению физических экспериментов по заданной методике, составлению описания проводимых	ПК3.1 ПК3.2 ПК3.3	ПК3.4 ПК3.5 ПК3.6 ПК3.7	ПК3.8 ПК3.9

Код и наименование компетенции	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю)		
	Знать (1)	Уметь (2)	Владеть (3)
исследований и анализу результатов			

4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

Объём дисциплины (модуля) составляет 3 зачётные единицы (108 часов), в том числе 44 часа, выделенных на контактную работу обучающихся с преподавателем (из них 44 часа – лабораторные работы), и 64 часов – на самостоятельную работу обучающихся.

Таблица 2 – Структура и содержание дисциплины (модуля)

Раздел, тема дисциплины (модуля)	Семестр	Контактная работа (в часах)			Самост. работа		Форма текущего контроля успеваемости, форма промежуточной аттестации <i>[по семестрам]</i>
		Л	ПЗ	ЛР	КР	СР	
<i>Тема. 1.</i> Основные понятия и положения термодинамики.	8			4		9	
<i>Тема. 2.</i> Методы дискретизации краевых задач математической физики	8			6		9	
<i>Тема. 3.</i> Устойчивость, согласованность и сходимость конечно-разностных схем	8			6		9	
<i>Тема. 4.</i> Методы решения сеточных уравнений	8			6		9	
<i>Тема. 5.</i> Линейные уравнения гиперболического типа	8			6		9	
<i>Тема. 6.</i> Уравнение теплопроводности	8			8		9	
<i>Тема. 7.</i> Итерационные алгоритмы совместного решения уравнений переноса импульса и неразрывности.	8			8		10	
Итого				44		64	Зачёт

Примечание: Л – лекция; ПЗ – практическое занятие, семинар; ЛР – лабораторная работа; КР – курсовая работа; СР – самостоятельная работа.

Таблица 3 – Матрица соотнесения разделов, тем учебной дисциплины (модуля) и формируемых компетенций

Раздел, тема дисциплины (модуля)	Кол-во часов	Код компетенции				Общее количество компетенций
		ПК-3	
<i>Тема. 1.</i> Основные понятия и положения термодинамики.	14	+				1
<i>Тема. 2.</i> Методы дискретизации краевых задач математической физики	15	+				1
<i>Тема. 3.</i> Устойчивость, согласованность и сходимость конечно-разностных схем	15	+				1
<i>Тема. 4.</i> Методы решения сеточных уравнений	15	+				1
<i>Тема. 5.</i> Линейные уравнения гиперболического типа	15	+				1
<i>Тема. 6.</i> Уравнение теплопроводности	17	+				1
<i>Тема. 7.</i> Итерационные алгоритмы совместного решения уравнений переноса импульса и неразрывности.	18	+				1

Краткое содержание каждой темы дисциплины (модуля)

Тема. 1. Введение в дисциплину.

Краткая история развития вычислительной гидродинамики. Математические модели процессов переноса в потоках жидкости и газа

Тема. 2. Методы дискретизации краевых задач математической физики.

Основные понятия метода конечных разностей. Конечно-разностные аппроксимации дифференциальных операторов. Конечно-разностные аппроксимации дифференциальных уравнений. Принцип максимума. Конечно-разностные аппроксимации граничных условий. Метод конечных объемов.

Тема. 3. Устойчивость, согласованность и сходимость конечно-разностных схем

Согласованность. Устойчивость конечно-разностных схем. Метод фон Неймана. Метод дифференциального приближения (модифицированного уравнения).

Тема. 4. Методы решения сеточных уравнений

Прямые методы. Итерационные методы: классификация и общие свойства. Итерационные методы Якоби и Гаусса — Зейделя. Метод последовательной верхней релаксации. Метод переменных направлений. Методы неполной факторизации

Тема. 5 Линейные уравнения гиперболического типа.

Метод разностей против потока. Схема Лакса. Метод Лакса — Вендроффа. Двухшаговый метод Лакса — Вендроффа. Метод Мак-Кормака. Схема с перешагиванием. Схема «Кабаре». Центрированная по времени неявная схема, или метод Кранка — Николсона

Тема. 6. Уравнение теплопроводности

Явная схема. Неявная схема. Метод Кранка — Николсона. Комбинированный метод. Метод Дюфорта — Франкела. Двумерное уравнение теплопроводности. Неявный метод переменных направлений. Методы расщепления.

Тема. 7. Итерационные алгоритмы совместного решения уравнений переноса импульса и неразрывности.

Методы проекции. Метод SIMPLE. Метод SIMPLEC

5. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ПРЕПОДАВАНИЮ И ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

5.1. Указания для преподавателей по организации и проведению учебных занятий по дисциплине (модулю)

При проведении аудиторных занятий с целью формирования и развития профессиональных навыков, обучающихся используются следующие образовательные технологии:

1) технология обучения в сотрудничестве (индивидуальная работа, работа в парах, малых группах, коллективная деятельность);

2) технология развития рефлексии через диалог. Реализуется в процессе проведения практических занятий. К способам реализации данной технологии мы относим и использование разных типов интерактивного воздействия и взаимодействия на практических занятиях (работа в тройках «говорящий-слушающий-наблюдатель», работа в «аквариуме», работа в диадах);

3) реализация практических навыков в процессе обучения.

Практическое занятие должно опираться на известный теоретический материал, который изложен или на который дана соответствующая ссылка в лекции.

Практическое занятие должно быть нацеленным на формирование определенных умений и закрепления определенных навыков, поэтому цель занятия должна быть заранее известна и понятна преподавателю и обучающимся. Лучше иметь сформулированные в письменном виде цель, задачи, содержание и последовательность занятия, ожидаемый результат.

5.2. Указания для обучающихся по освоению дисциплины (модулю)

Рабочая программа дисциплины предназначена для самостоятельной работы студентов, но может быть использована и при проведении практических и лабораторных работ.

Учебно-методические материалы по подготовке практических занятий содержат планы проведения занятий с указанием рассматриваемых вопросов, описание лабораторных работ.

При подготовке к занятиям студенту необходимо изучить рекомендуемую литературу, ответить на контрольные вопросы. Одни из них требуют простого воспроизведения изученного материала, другие – творческого подхода к решению вопросов и задач. Для выполнения заданий необходимо изучить рекомендуемую литературу по данной теме. Систематическое выполнение заданий формирует навыки решения расчетных задач, умение работать с учебной и справочной литературой.

При подготовке к лабораторным работам студент должен повторить теоретические вопросы данной темы, составить в тетради описание работы, дополнить расчетами, выводами.

Таблица 4 – Содержание самостоятельной работы обучающихся

Вопросы, выносимые на самостоятельное изучение	Кол-во часов	Форма работы
<i>Тема. 1.</i> Основные понятия и положения термодинамики.	9	Изучение литературы Конспектирование изученных источников
<i>Тема. 2.</i> Методы дискретизации краевых задач математической физики	9	Изучение литературы Конспектирование изученных источников

Вопросы, выносимые на самостоятельное изучение	Кол-во часов	Форма работы
		Подготовка отчета по лабораторной работе
<i>Тема. 3. Устойчивость, согласованность и сходимость конечно-разностных схем</i>	9	Изучение литературы Конспектирование изученных источников Подготовка отчета по лабораторной работе
<i>Тема. 4. Методы решения сеточных уравнений</i>	9	Изучение литературы Конспектирование изученных источников Подготовка отчета по лабораторной работе
<i>Тема. 5. Линейные уравнения гиперболического типа</i>	9	Изучение литературы Конспектирование изученных источников Подготовка отчета по лабораторной работе
<i>Тема. 6. Уравнение теплопроводности</i>	9	Изучение литературы Конспектирование изученных источников Подготовка отчета по лабораторной работе
<i>Тема. 7. Итерационные алгоритмы совместного решения уравнений переноса импульса и неразрывности.</i>	10	Изучение литературы Конспектирование изученных источников Подготовка отчета по лабораторной работе

5.3. Виды и формы письменных работ, предусмотренных при освоении дисциплины (модуля), выполняемые обучающимися самостоятельно

Требования к оформлению доклада.

Объем машинописного текста доклада должен быть рассчитан на произнесение доклада в течение 7 -10 минут (3-5 машинописных листа текста с докладом). Поэтому при подборе необходимого материала для доклада отбирается самое главное. В докладе должны быть кратко отражены главные моменты из введения, основной части и заключения. При подготовке конспекта доклада необходимо составить не только текст доклада, но и необходимый иллюстративный материал, сопровождающий доклад (основные тезисы, формулы, схемы, чертежи, таблицы, графики и диаграммы, фотографии и т.п.).

6. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ И ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

6.1. Образовательные технологии

Таблица 5 – Образовательные технологии, используемые при реализации учебных занятий

Раздел, тема дисциплины (модуля)	Форма учебного занятия		
	Лекция	Практическое занятие, семинар	Лабораторная работа
<i>Тема. 1. Основные понятия и положения термодинамики.</i>	<i>Не предусмотрено</i>	<i>Не предусмотрено</i>	<i>Работа в малых группах</i>

			<i>Дискуссии</i>
<i>Тема. 2. Методы дискретизации краевых задач математической физики</i>	<i>Не предусмотрено</i>	<i>Не предусмотрено</i>	<i>Работа в малых группах Дискуссии</i>
<i>Тема. 3. Устойчивость, согласованность и сходимости конечно-разностных схем</i>	<i>Не предусмотрено</i>	<i>Не предусмотрено</i>	<i>Работа в малых группах Дискуссии</i>
<i>Тема. 4. Методы решения сеточных уравнений</i>	<i>Не предусмотрено</i>	<i>Не предусмотрено</i>	<i>Работа в малых группах Дискуссии</i>
<i>Тема. 5. Линейные уравнения гиперболического типа</i>	<i>Не предусмотрено</i>	<i>Не предусмотрено</i>	<i>Работа в малых группах Дискуссии</i>
<i>Тема. 6. Уравнение теплопроводности</i>	<i>Не предусмотрено</i>	<i>Не предусмотрено</i>	<i>Работа в малых группах Дискуссии</i>
<i>Тема. 7. Итерационные алгоритмы совместного решения уравнений переноса импульса и неразрывности.</i>	<i>Не предусмотрено</i>	<i>Не предусмотрено</i>	<i>Работа в малых группах Дискуссии</i>

6.2. Информационные технологии

– использование электронных учебников и различных сайтов (например, электронных библиотек, журналов и т. д.) как источников информации таких как:

Единое окно доступа к образовательным ресурсам <http://window.edu.ru>

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации <https://minobrnauki.gov.ru>

Министерство просвещения Российской Федерации <https://edu.gov.ru>

Федеральное агентство по делам молодежи (Росмолодёжь) <https://fadm.gov.ru>

Федеральная служба по надзору в сфере образования и науки (Рособрнадзор) <http://obrnadzor.gov.ru>

Сайт государственной программы Российской Федерации «Доступная среда» <http://zhit-vmeste.ru>

Российское движение школьников <https://рдуш.рф>

– использование возможностей электронной почты преподавателя;

– использование виртуальной обучающей среды LMS Moodle

6.3. Программное обеспечение, современные профессиональные базы данных и информационные справочные системы

6.3.1. Программное обеспечение

Наименование программного обеспечения	Назначение
Adobe Reader	Программа для просмотра электронных документов
Платформа дистанционного обучения LMS Moodle	Виртуальная обучающая среда
Mozilla FireFox	Браузер
Microsoft Office 2013, Microsoft Office Project 2013, Microsoft Office Visio 2013	Пакет офисных программ
7-zip	Архиватор
Microsoft Windows 10 Professional	Операционная система

Наименование программного обеспечения	Назначение
Kaspersky Endpoint Security	Средство антивирусной защиты
Google Chrome	Браузер
Notepad++	Текстовый редактор
OpenOffice	Пакет офисных программ
Opera	Браузер
Paint .NET	Растровый графический редактор
Scilab	Пакет прикладных математических программ
Microsoft Security Assessment Tool. Режим доступа: http://www.microsoft.com/ru-ru/download/details.aspx?id=12273 (Free) Windows Security Risk Management Guide Tools and Templates. Режим доступа: http://www.microsoft.com/en-us/download/details.aspx?id=6232 (Free)	Программы для информационной безопасности
MathCad 14	Система компьютерной алгебры из класса систем автоматизированного проектирования, ориентированная на подготовку интерактивных документов с вычислениями и визуальным сопровождением
КОМПАС-3D V21	Создание трёхмерных ассоциативных моделей отдельных элементов и сборных конструкций из них
WinDjView	Программа для просмотра файлов в формате DJV и DjVu
MATLAB R2014a	Пакет прикладных программ для решения задач технических вычислений

6.3.2. Современные профессиональные базы данных и информационные справочные системы

Универсальная справочно-информационная полнотекстовая база данных периодических изданий ООО «ИВИС» <http://dlib.eastview.com> Имя пользователя: AstrGU
Пароль: AstrGU.

Электронные версии периодических изданий, размещённые на сайте информационных ресурсов www.polpred.com

Электронный каталог Научной библиотеки АГУ на базе MARK SQL НПО «Информ-систем» <https://library.asu.edu.ru/catalog/>

Электронный каталог «Научные журналы АГУ» <https://journal.asu.edu.ru/>
Корпоративный проект Ассоциации региональных библиотечных консорциумов (АРБИКОН) «Межрегиональная аналитическая роспись статей» (МАРС) – сводная база данных, содержащая полную аналитическую роспись 1800 названий журналов по разным отраслям знаний. Участники проекта предоставляют друг другу электронные копии отсканированных статей из книг.

7. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ И ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)

7.1. Паспорт фонда оценочных средств

При проведении текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине (модулю) «Методы вычислительной теплофизики» проверяется сформированность у обучающихся компетенций, указанных в разделе 3 настоящей программы. Этапность формирования данных компетенций в процессе освоения образовательной программы определяется последовательным освоением дисциплин (модулей) и прохождением практик, а в процессе освоения дисциплины (модуля) – последовательным достижением результатов освоения содержательно связанных между собой разделов, тем.

Таблица 6 – Соответствие разделов, тем дисциплины (модуля), результатов обучения по дисциплине (модулю) и оценочных средств

Контролируемый раздел, тема дисциплины (модуля)	Код контролируемой компетенции	Наименование оценочного средства
<i>Тема. 1.</i> Основные понятия и положения термодинамики.	ПК-3	Отчет по ЛР
<i>Тема. 2.</i> Методы дискретизации краевых задач математической физики	ПК-3	Отчет по ЛР
<i>Тема. 3.</i> Устойчивость, согласованность и сходимости конечно-разностных схем	ПК-3	Отчет по ЛР
<i>Тема. 4.</i> Методы решения сеточных уравнений	ПК-3	Отчет по ЛР
<i>Тема. 5.</i> Линейные уравнения гиперболического типа	ПК-3	Отчет по ЛР
<i>Тема. 6.</i> Уравнение теплопроводности	ПК-3	Отчет по ЛР
<i>Тема. 7.</i> Итерационные алгоритмы совместного решения уравнений переноса импульса и неразрывности.	ПК-3	Отчет по ЛР

7.2. Описание показателей и критериев оценивания компетенций, описание шкал оценивания

Таблица 7 – Показатели оценивания результатов обучения в виде знаний

Шкала оценивания	Критерии оценивания
5 «отлично»	демонстрирует глубокое знание теоретического материала, умение обоснованно излагать свои мысли по обсуждаемым вопросам, способность полно, правильно и аргументированно отвечать на вопросы, приводить примеры
4 «хорошо»	демонстрирует знание теоретического материала, его последовательное изложение, способность приводить примеры, допускает единичные ошибки, исправляемые после замечания преподавателя
3 «удовлетворительно»	демонстрирует неполное, фрагментарное знание теоретического материала, требующее наводящих вопросов преподавателя, допускает существенные ошибки в его изложении, затрудняется в приведении примеров и формулировке выводов
2 «неудовлетворительно»	демонстрирует существенные пробелы в знании теоретического материала, не способен его изложить и ответить на наводящие вопросы преподавателя, не может привести примеры

Таблица 8 – Показатели оценивания результатов обучения в виде умений и владений

Шкала оценивания	Критерии оценивания
5 «отлично»	демонстрирует способность применять знание теоретического материала при выполнении заданий, последовательно и правильно выполняет задания, умеет обоснованно излагать свои мысли и делать необходимые выводы
4 «хорошо»	демонстрирует способность применять знание теоретического материала при выполнении заданий, последовательно и правильно выполняет задания, умеет обоснованно излагать свои мысли и делать необходимые выводы, допускает единичные ошибки, исправляемые после замечания преподавателя
3 «удовлетворительно»	демонстрирует отдельные, несистематизированные навыки, испытывает затруднения и допускает ошибки при выполнении заданий, выполняет задание по подсказке преподавателя, затрудняется в формулировке выводов
2 «неудовлетворительно»	не способен правильно выполнить задания

7.3. Контрольные задания и иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения по дисциплине (модулю)

Тема. 1. Основные понятия и положения термодинамики.

Практическое задание: Смоделировать и решить задачу с помощью ЭВМ и провести анализ результатов:

Задача 1. Найти распределение температуры и плотность теплового потока в цилиндрической стенке (трубе) с внутренним диаметром d_1 и наружным d_2 . На поверхностях стенки заданы соответственно постоянные температуры T_1 и T_2 ($T_1 > T_2$), коэффициент теплопроводности λ является постоянной величиной.

Задача 2. Рассчитать тепловой поток через стенку трубы длиной $l = 1$ м с внутренним диаметром $d_1 = 5$ см, внешним $d_2 = 10$ см. Материал – медь, $\lambda_{Cu} = 386$ Вт/(м·°С). Перепад температур на стенке $\Delta T = 10$ °С.

Тема. 2. Методы дискретизации краевых задач математической физики

Практическое задание: Смоделировать и решить задачу с помощью ЭВМ и провести анализ результатов:

Задача 1. Найти распределение температуры и плотность теплового потока в плоской стенке толщиной δ с постоянным коэффициентом теплопроводности λ , на наружных поверхностях которой поддерживаются постоянные температуры T_1 и T_2 ($T_1 > T_2$).

Задача 2. Рассчитать предельно возможный тепловой поток через медную стенку толщиной 1 см и площадью 1 м^2 ($T_{\text{плав}} = 1083$ С, $\lambda_{Cu} = 386$ Вт/(м·°С).

Задача 3. Найти плотность теплового потока через многослойную плоскую стенку, состоящую из n слоев. Температура на соприкасающихся поверхностях двух слоев одинакова. Считать заданными: температуры наружных поверхностей T_1 и T_{n+1} , толщины δ_i и коэффициенты теплопроводности δ_i каждого слоя.

Тема. 3. Устойчивость, согласованность и сходимости конечно-разностных схем.

Практическое задание: Смоделировать и решить задачу с помощью ЭВМ и провести анализ результатов:

Задача 1. Электрический нагреватель выполнен из нихромовой проволоки диаметром $d = 2$ мм и длиной $l = 10$ м. Он обдувается холодным воздухом с температурой $T_{ж} = 20$ °С. Вычислить тепловой поток с 1 м нагревателя, а также температуру на поверхности T_c , если сила тока, проходящего через

нагреватель, составляет 25 А. Удельное электрическое сопротивление нихрома $\rho = 1,1 \text{ Ом}\cdot\text{мм}^2/\text{м}$ и коэффициент теплоотдачи от поверхности нагревателя к воздуху $\alpha = 46,5 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$.

Задача 2. Определить коэффициент эффективности ребра, если толщина его $\delta = 1 \text{ мм}$, а высота $l = 15 \text{ мм}$. Коэффициент теплоотдачи между поверхностью ребра и средой $\alpha = 209,3 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$, коэффициент теплопроводности ребра $\lambda = 46,5 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot^\circ\text{C})$.

Тема. 4. Методы решения сеточных уравнений

Практическое задание: Смоделировать и решить задачу с помощью ЭВМ и провести анализ результатов:

Задача 1. На наружной поверхности трубы кипит вода под давлением $p = 3,3 \text{ МПа}$. Плотность теплового потока на поверхности трубы $q = 1,75 \cdot 10^5 \text{ Вт}/\text{м}^2$. Определить температуру поверхности трубы, если она чистая и покрыта оксидной пленкой, термическое сопротивление которой $R = 7,75 \cdot 10^{-5} \text{ }^\circ\text{C}\cdot\text{м}^2/\text{Вт}$. За счет шероховатости оксидной пленки коэффициент теплоотдачи на ее поверхности возрастает в 2,5 раза по сравнению с чистой поверхностью.

Задача 2. Определить тепловую нагрузку поверхности нагрева парогенератора при пузырьковом кипении воды в большом объеме, если вода находится под давлением $p = 6,2 \cdot 10^5 \text{ Па}$, а температура поверхности нагрева $T_C = 175 \text{ }^\circ\text{C}$

Тема. 5. Линейные уравнения гиперболического типа

Практическое задание: Смоделировать и решить задачу с помощью ЭВМ и провести анализ результатов:

Задача 1. Тонкая пластина длиной $l_0 = 2 \text{ м}$ и шириной $b = 1,5 \text{ м}$ обтекается продольным потоком воздуха. Скорость и температура набегающего потока равны соответственно $v = 3 \text{ м}/\text{с}$, $T_0 = 20 \text{ }^\circ\text{C}$. Температура поверхности пластины $T_C = 90 \text{ }^\circ\text{C}$. Определить средний по длине пластины коэффициент теплоотдачи и количество тепла, отдаваемое пластиной воздуху.

Задача 2. Медный провод круглого сечения диаметром $d = 15 \text{ мм}$ охлаждается поперечным потоком сухого воздуха. Скорость и температура набегающего потока воздуха соответственно равны $v = 1 \text{ м}/\text{с}$, $T_0 = 20 \text{ }^\circ\text{C}$. Вычислить коэффициент теплоотдачи от поверхности провода к воздуху.

Тема. 6. Уравнение теплопроводности

Практическое задание: Смоделировать и решить задачу с помощью ЭВМ и провести анализ результатов:

Задача 1. Используя синус-преобразование Фурье по пространственной координате, решить задачу. Дано полубесконечное твердое тело при $x > 0$. На границе $x = 0$ поддерживается постоянная температура T_0 , начальная температура тела равна нулю. Найти распределение температуры в теле, имеющем коэффициент теплопроводности a

Задача 2. В плоскости $x = x'$ действует постоянно источник тепла, выделяя на единицу площади в единицу времени количество тепла q . Найти поле температур в бесконечной среде с коэффициентом теплопроводности λ , если начальная температура среды равнялась нулю. Проверить результат обобщенным дифференцированием.

Задача 3. Получить стационарное фундаментальное решение из нестационарного.

Тема. 7. Итерационные алгоритмы совместного решения уравнений переноса импульса и неразрывности.

Практическое задание: Смоделировать и решить задачу с помощью ЭВМ и провести анализ результатов:

Задача 1. В полупространстве $x > 0$ вблизи поверхности $x = 0$ в точке $x = x'$ постоянно действует источник тепла мощностью $Q(x) = Q$. Поверхность поддерживается при температуре $T_S = 0$. Найти функцию Грина I рода и записать выражение для распределения температуры $T(x)$.

Задача 2. Задана температура на границе области $T_S = 0$. Внутри области V в начальный момент времени температура $T(x,0) = T_0$. Источники тепла отсутствуют. Найти распределение температуры в области $T(x,\tau)$.

Перечень вопросов и заданий, выносимых на зачёт

I. Математические модели процессов переноса в потоках жидкости и газа

2. Методы дискретизации краевых задач математической физики.
3. Основные понятия метода конечных разностей.
4. Конечно-разностные аппроксимации дифференциальных операторов.
5. Конечно-разностные аппроксимации дифференциальных уравнений.
6. Принцип максимума.
7. Конечно-разностные аппроксимации граничных условий.
8. Метод конечных объемов.
9. Согласованность. Устойчивость конечно-разностных схем.
10. Метод фон Неймана.
11. Метод дифференциального приближения (модифицированного уравнения).
12. Прямые методы.
13. Итерационные методы: классификация и общие свойства. Итерационные методы Якоби и Гаусса —Зейделя.
14. Метод последовательной верхней релаксации.
15. Метод переменных направлений.
16. Методы неполной факторизации.
17. Метод разностей против потока.
18. Схема Лакса. Метод Лакса — Вендроффа.
19. Двухшаговый метод Лакса — Вендроффа.
20. Метод Мак-Кормака.
21. Схема с перешагиванием. Схема «Кабаре».
22. Центрированная по времени неявная схема, или метод Кранка — Николсона
23. Явная схема. Неявная схема.
24. Метод Кранка — Николсона.
25. Комбинированный метод.
26. Метод Дюфорта — Франкела.
27. Двумерное уравнение теплопроводности.
28. Неявный метод переменных направлений.
29. Методы расщепления.
30. Методы проекции.
31. Метод SIMPLE.
32. Метод SIMPLEC

Таблица 9 – Примеры оценочных средств с ключами правильных ответов

№ п/п	Тип задания	Формулировка задания	Правильный ответ	Время выполнения (в минутах)
Код и наименование проверяемой компетенции ПКЗ				
...				
1.	Задание закрытого типа	Состояние влажного воздуха описывается уравнением ... а) Клапейрона – Менделеева б) Ван – дер – Ваальса в) Новикова – Вукаловича г) неразрывности потока	а	1
2.		Обратный цикл Карно является идеальным циклом ... а) холодильных установок и тепловых насосов б) двигателей внутреннего сгорания в) газотурбинных установок г) парогазовой установки	а	1
3.		Свойство распределительности	б	2

№ п/п	Тип задания	Формулировка задания	Правильный ответ	Время выполнения (в минутах)
		лучистых потоков состоит в том, что: а) поток от поверхности 1 к поверхности 2 может быть представлен в виде разности потоков между отдельными частями m (1) и n (2) этих поверхностей б) поток от поверхности 1 к поверхности 2 может быть представлен в виде суммы потоков между отдельными частями m (1) и n (2) этих поверхностей в) поток от поверхности 1 к поверхности 2 может быть представлен в виде произведения потоков между отдельными частями m (1) и n (2) этих поверхностей		
4.		При температуре воздуха ниже температуры кожи человека количество испаряемой влаги: Выберите один ответ: а. остается практически постоянным. б) уменьшается в) увеличивается	а	1
5.		При каких изменениях метеорологических условий, увеличивается теплоотдача человека за счет радиации ? Выберите один ответ: а) При снижении температуры поверхности наружных ограждений и повышении влагосодержания б) При снижении температуры поверхности наружных ограждений в) При снижении температуры воздуха и увеличении его подвижности г) При снижении температуры воздуха, увеличении его подвижности и снижении температуры поверхности наружных ограждений д) При повышении влагосодержания	б	2
6.	Задание открытого типа	Топочная камера (топка) печи предназначена для ...	Топочная камера (топка) печи предназначена для получения теплоты путем сжигания топлива и ее передачи обрабатываемому материалу.	3
7.		В соответствии с эффектом	В соответствии с эффектом	2

№ п/п	Тип задания	Формулировка задания	Правильный ответ	Время выполнения (в минутах)
		Джоуля – Томсона при дросселировании идеального газа температура ...	Джоуля – Томсона при дросселировании идеального газа температура не изменяется.	
8.		Если тепловая нагрузка котельной установки с учетом всех теплопотерь и расход твердого топлива за год равны соответственно $Q_k = 2000 \text{ ГДж}$, $V = 100 \text{ т}$, то низшая теплота сгорания рабочей массы твердого топлива q_i в МДж/кг составляет ...	$q_i = Q_k / V = 2000000 \text{ МДж} / 100000 \text{ кг} = 20 \text{ МДж/кг}$.	5
9.		Для расчета средних коэффициентов теплоотдачи труб на участке стабилизированного течения используется уравнение подобия ...	Для расчета средних коэффициентов теплоотдачи труб на участке стабилизированного течения используется уравнение подобия $\overline{Nu}_{жс} = 0,021 \cdot Re_{жс}^{0,8} \cdot Pr^{0,43} \cdot (Pr_{жс} / Pr_c)^{0,25}$.	3
10.		Необходимость очистки дымовых газов от золы связана с ...	защитой атмосферы и предотвращением абразивного износа оборудования	2

Полный комплект оценочных материалов по дисциплине (модулю) (фонд оценочных средств) хранится в электронном виде на кафедре, утверждающей рабочую программу дисциплины (модуля), и в Центре мониторинга и аудита качества обучения.

7.4. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания результатов обучения по дисциплине (модулю)

Таблица 10 – Технологическая карта рейтинговых баллов по дисциплине (модулю)

№ п/п	Контролируемые мероприятия	Количество мероприятий / баллы	Максимальное количество баллов	Срок представления
Основной блок				
1.	<i>Ответ на занятии</i>	8/3	24	В течение семестра
2.	<i>Выполнение лабораторных работ</i>	10/6	60	В течение семестра
3.	<i>Тетрадь с ЛР</i>	1/3	3	В конце семестра
4.	<i>Тетрадь с конспектами</i>	1/3	3	В конце семестра
Всего			90	-

№ п/п	Контролируемые мероприятия	Количество мероприятий / баллы	Максимальное количество баллов	Срок представления
Блок бонусов				
5.	<i>Посещение занятий</i>		5	
6.	<i>Своевременное выполнение всех заданий</i>		5	
Всего			10	-
ИТОГО			100	-

Таблица 11 – Система штрафов (для одного занятия)

Показатель	Балл
<i>Опоздание на занятие</i>	-...
<i>Нарушение учебной дисциплины</i>	-...
<i>Неготовность к занятию</i>	-...
<i>Пропуск занятия без уважительной причины</i>	-...
...	-...

Таблица 12 – Шкала перевода рейтинговых баллов в итоговую оценку за семестр по дисциплине (модулю)

Сумма баллов	Оценка по 4-балльной шкале	
90–100	5 (отлично)	Зачтено
85–89	4 (хорошо)	
75–84		
70–74		
65–69	3 (удовлетворительно)	
60–64		
Ниже 60	2 (неудовлетворительно)	Не зачтено

[Примечание: если в семестре итоговой формой контроля по дисциплине (модулю) является экзамен, графа со словами «Зачтено», «Не зачтено» не приводится]

При реализации дисциплины (модуля) в зависимости от уровня подготовленности обучающихся могут быть использованы иные формы, методы контроля и оценочные средства, исходя из конкретной ситуации.

8. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

8.1. Основная литература

1. Арутюнов, В. А. Теплофизика и теплотехника : Теплофизика / Арутюнов В. А. , Крупенников С. А. , Сборщиков Г. С. - Москва : МИСиС, 2010. - 228 с. - ISBN 978-5-87623-358-5. - Текст: электронный // ЭБС "Консультант студента": [сайт]. - URL: <https://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785876233585.html> (дата обращения: 19.09.2024). - Режим доступа: по подписке.

2. Арутюнов, В. А. Теплофизика, теплотехника, теплообмен: Механика жидкостей и газов / Арутюнов В. А. , Капитанов В. А. , Левицкий И. А. , Шибалов С. Н. - Москва : МИСиС, 2007. - 85 с. - ISBN --. - Текст: электронный // ЭБС "Консультант студента": [сайт]. - URL: <https://www.studentlibrary.ru/book/MIS026.html> (дата обращения: 19.09.2024). - Режим доступа: по подписке.

3. Левицкий, И. А. Теплофизика: лаб. практикум / И. А. Левицкий, С. И. Чибизова, К. С. Шатохин. - Москва: МИСиС, 2023. - 132 с. - Текст: электронный // ЭБС "Консультант студента": [сайт]. - URL: <https://www.studentlibrary.ru/book/MISIS2024Levick.html> (дата обращения: 19.09.2024). - Режим доступа : по подписке.

4. Сборщиков, Г. С. Теплофизика и теплотехника: теплофизика / Сборщиков, Г. С. - Москва : МИСиС, 2012. - 104 с. - ISBN --. - Текст: электронный // ЭБС "Консультант студента": [сайт]. - URL: <https://www.studentlibrary.ru/book/MIS011.html> (дата обращения: 19.09.2024). - Режим доступа: по подписке.

8.2. Дополнительная литература

1. Арутюнов, В. А. Теплофизика, теплотехника, теплообмен: Тепломассоперенос. Топливо и огнеупоры. Тепловая работа печей / Арутюнов В. А., Капитанов В. А., Левицкий И. А., Шибалов С. Н. - Москва : МИСиС, 2007. - 136 с. - ISBN --. - Текст: электронный // ЭБС "Консультант студента": [сайт]. - URL: <https://www.studentlibrary.ru/book/MIS027.html> (дата обращения: 19.09.2024). - Режим доступа: по подписке.

2. Байков, В. И. Теплофизика. Термодинамика и статистическая физика : учебное пособие / В. И. Байков, Н. В. Павлюкевич. - Минск : Вышэйшая школа, 2018. - 447 с. - ISBN 978-985-06-2785-8. - Текст : электронный // ЭБС "Консультант студента" : [сайт]. - URL : <https://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9789850627858.html> (дата обращения: 19.09.2024). - Режим доступа : по подписке.

3. Морской, Д. Н. Методические указания к выполнению лабораторных работ по курсу "Теплофизика двухфазных сред" / Д. Н. Морской, В. В. Школа. - Москва : Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2014. - 36 с. - ISBN 978-5-7038-4084-9. - Текст : электронный // ЭБС "Консультант студента" : [сайт]. - URL : <https://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785703840849.html> (дата обращения: 19.09.2024). - Режим доступа : по подписке.

4. Прибытков, И. А. Теплофизика: учеб. пособие / И. А. Прибытков. - Москва: МИСиС, 2016. - 87 с. - ISBN 978-5-87623-984-6. - Текст: электронный // ЭБС "Консультант студента": [сайт]. - URL : <https://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785876239846.html> (дата обращения: 19.09.2024). - Режим доступа: по подписке.

8.3. Интернет-ресурсы, необходимые для освоения дисциплины (модуля)

Электронная библиотечная система IPRbooks www.iprbookshop.ru

Электронно-библиотечная система ВООК.ru <https://book.ru>

Электронная библиотечная система издательства ЮРАЙТ, раздел «Легендарные книги». www.biblio-online.ru, <https://urait.ru/>

Электронная библиотека «Астраханский государственный университет» собственной генерации на платформе ЭБС «Электронный Читальный зал – БиблиоТех» <https://biblio.asu.edu.ru>. Учётная запись образовательного портала АГУ.

Электронно-библиотечная система (ЭБС) ООО «Политехресурс» «Консультант студента» Многопрофильный образовательный ресурс «Консультант студента» является электронной библиотечной системой, предоставляющей доступ через Интернет к учебной литературе и дополнительным материалам, приобретённым на основании прямых договоров с правообладателями. Каталог содержит более 15 000 наименований изданий. www.studentlibrary.ru

Регистрация с компьютеров АГУ

9. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

Аудитория для проведения лабораторных работ по курсу

Рабочая программа дисциплины (модуля) при необходимости может быть адаптирована для обучения (в том числе с применением дистанционных образовательных

технологий) лиц с ограниченными возможностями здоровья, инвалидов. Для этого требуется заявление обучающихся, являющихся лицами с ограниченными возможностями здоровья, инвалидами, или их законных представителей и рекомендации психолого-медико-педагогической комиссии. Для инвалидов содержание рабочей программы дисциплины (модуля) может определяться также в соответствии с индивидуальной программой реабилитации инвалида (при наличии).