Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Максимов Алексей Борисович
Должность: директор департамента по образовательной политике
Дата подписания: 03.07.2025 13:24:14
Уникальный программный ключ:
8db180d1a3f02ac9e60521a5672742735c18b348

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«МОСКОВСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(МОСКОВСКИЙ ПОЛИТЕХ)

Факультет химической технологии и биотехнологии

УТВЕРЖДАЮ
Декан
_____ / А.С. Соколов /
« 27 » февраля 2025 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

«Вычислительная газогидромеханика, тепломассообмен и компьютерное моделирование»

Направление подготовки
16.04.03 Холодильная, криогенная техника и системы жизнеобеспечения

Профиль **«Криогенные технологии индустрии водорода и систем сжиженного газа»**

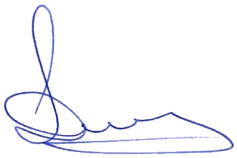
Квалификация
Магистр

Форма обучения
Очная

Москва, 2025 г.

Разработчик(и):

доцент, к.т.н.  / А.Е. Ермолаев /

Согласовано:
Заведующий кафедрой «Техника низких температур»,
к.т.н.  / Д.А. Некрасов /

Содержание

1. Цели, задачи и планируемые результаты обучения по дисциплине4
2. Место дисциплины в структуре образовательной программы4
3. Структура и содержание дисциплины5
   - 3.1. Виды учебной работы и трудоемкость5
   - 3.2. Тематический план изучения дисциплины5
   - 3.3. Содержание дисциплины
   - 3.4. Тематика семинарских/практических и лабораторных занятий6
   - 3.5. Тематика курсовых проектов (курсовых работ)7
4. Учебно-методическое и информационное обеспечение7
   - 4.1. Нормативные документы и ГОСТы7
   - 4.2. Основная литература7
   - 4.3. Дополнительная литература7
   - 4.4. Электронные образовательные ресурсы8
   - 4.5. Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение8
   - 4.6. Современные профессиональные базы данных и информационные справочные системы8
5. Материально-техническое обеспечение8
6. Методические рекомендации8
   - 6.1. Методические рекомендации для преподавателя по организации обучения8
   - 6.2. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины9
7. Фонд оценочных средств10
   - 7.1. Методы контроля и оценивания результатов обучения10
   - 7.2. Шкала и критерии оценивания результатов обучения10
   - 7.3. Оценочные средства11

1. Цели, задачи и планируемые результаты обучения по дисциплине

К **основным целям** освоения дисциплины «**Вычислительная газогидромеханика, тепломассообмен и компьютерное моделирование**» следует отнести:

- формирование знаний по основным методам и алгоритмам вычислительной газогидромеханики и тепломассообмена для решения задач разработки и проектирования холодильной, криогенной техники и систем жизнеобеспечения с применением программных систем компьютерного моделирования.

К **основным задачам** освоения дисциплины «**Вычислительная газогидромеханика, тепломассообмен и компьютерное моделирование**» следует отнести:

- привитие навыков и выработку умения применять современные методы построения математических и компьютерных моделей для решения задач холодильной, криогенной техники и систем жизнеобеспечения с использованием программных систем компьютерного моделирования.

Обучение по дисциплине «Вычислительная газогидромеханика, тепломассообмен и компьютерное моделирование» направлено на формирование у обучающихся следующих компетенций:

Код и наименование компетенций	Индикаторы достижения компетенции
ПК-3 - готовность осуществлять сбор и анализ информации и проводить проектирование и расчет систем жизнеобеспечения	ИПК-3.1 - Знает теорию создания систем жизнеобеспечения, терморегулирования и агрегатов пневмогидравлических систем ИПК-3.2 - Знает методологию создания моделей, описывающих функционирование систем жизнеобеспечения, терморегулирования и агрегатов пневмогидравлических систем ИПК-3.3 - Умеет осуществлять своевременный сбор и анализ информации (данных) о передовых технологических решениях для выявления наилучших параметров с последующим применением их в разработке тематической продукции ИПК-3.4 - Умеет применять методики проведения общих и специальных расчетов по тематике для получения необходимых технических данных

2. Место дисциплины в структуре образовательной программы

Дисциплина относится к части, формируемой участниками образовательных отношений блока Б1 «Дисциплины (модули)».

Дисциплина «Вычислительная газогидромеханика, тепломассообмен и компьютерное моделирование» взаимосвязана логически и содержательно-методически со следующими дисциплинами ООП:

- «Теоретические основы криогенной техники».
- «Методы подобия физических процессов»

3. Структура и содержание дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 4 зачетных(е) единиц(ы) (144 часа (ов)).

3.1 Виды учебной работы и трудоемкость
(по формам обучения)

3.1.1. Очная форма обучения

№ п/п	Вид учебной работы	Количество часов	Семестры	
			2	
1	**Аудиторные занятия**	**48**	**48**	
	В том числе:			
1.1	Лекции	16	16	
1.2	Семинарские/практические занятия	32	32	
1.3	Лабораторные занятия			
2	**Самостоятельная работа**	**96**	**96**	
	В том числе:			
2.1	Проработка лекционного материала	32	32	
2.2	Подготовка к семинарам	64	64	
2.3	Подготовка к лабораторным работам			
3	**Промежуточная аттестация**			
	Зачет/диф.зачет/экзамен	**экзамен**		
	Итого	**144**	144	

3.2 Тематический план изучения дисциплины
(по формам обучения)

3.2.1. Очная форма обучения

1. Введение. Основы численного анализа. Понятие о разностных схемах.
2. Разностные схемы для обыкновенных дифференциальных уравнений.
3. Разностные схемы для дифференциальных уравнений в частных производных.
4. Применение метода конечных разностей для решения модельных уравнений.
5. Численные методы решения задач теплопроводности.
6. Применение метода конечных разностей для решения уравнений гидрогазодинамики.

№ п/п	Разделы/темы дисциплины	Трудоемкость, час					
		Всего	Аудиторная работа				Самостоятельная работа
			Лекции	Семинарские/ практические занятия	Лабораторные занятия	Практическая подготовка	
1	**Раздел 1. Хладагенты**						
1	Введение. Основы численного анализа. Понятие о разностных схемах.	**12**	2	2			8
2	Разностные схемы для обыкновенных дифференциальных уравнений.	**18**	2	4			12
3	Разностные схемы для дифференциальных уравнений в частных производных.	**18**	2	4			12
4	Применение метода конечных разностей для решения модельных уравнений.	**36**	4	8			24
5	Численные методы решения задач теплопроводности.	**36**	4	8			24
6	Применение метода конечных разностей для решения уравнений гидрогазодинамики.	**24**	2	6			16
	Итого	**144**	**16**	**32**			**96**

3.3 Содержание дисциплины

1. Основы численного анализа. Понятие о разностных схемах.
2. Разностные схемы для обыкновенных дифференциальных уравнений.
3. Разностные схемы для дифференциальных уравнений в частных производных.
4. Применение метода конечных разностей для решения модельных уравнений.
5. Численные методы решения задач теплопроводности.
6. Применение метода конечных разностей для решения уравнений гидрогазодинамики.

3.4 Тематика семинарских/практических и лабораторных занятий

3.4.1. Семинарские/практические занятия

1. Введение. Основы численного анализа. Понятие о разностных схемах.
2. Разностные схемы для обыкновенных дифференциальных уравнений.
3. Разностные схемы для дифференциальных уравнений в частных производных.
4. Применение метода конечных разностей для решения модельных уравнений.
5. Численные методы решения задач теплопроводности.
6. Применение метода конечных разностей для решения уравнений гидрогазодинамики.

3.4.2. Лабораторные занятия

нет

3.5 Тематика курсовых проектов (курсовых работ)

Численные методы решения задач теплопроводности:

- в твердом теле
- в жидкостях
- в газообразных телах

4. Учебно-методическое и информационное обеспечение

4.1 Нормативные документы и ГОСТы

1. ГОСТ Р 57700.14-2018 ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ Верификация получаемых сеточными методами численных решений задач механики сплошной среды [Текст]. - Введ. 2019-01-01. - М. : Госстандарт России: Изд-во стандартов, 2018.

4.2 Основная литература

1. Мустейкис, А. И. Численное решение задач теплопроводности : учебное пособие / А. И. Мустейкис, Л. П. Юнаков. — Санкт-Петербург : БГТУ "Военмех" им. Д.Ф. Устинова, 2018. — 41 с. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: https://e.lanbook.com/book/122077 (дата обращения: 21.08.2023). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

2. Калинин, С. В. Математическое моделирование устройств и систем : учебное пособие / С. В. Калинин, Н. В. Мальцев. — Новосибирск : НГТУ, 2022. — 152 с. — ISBN 978-5-7782-4620-1. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: https://e.lanbook.com/book/306413 (дата обращения: 21.08.2023). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

4.3 Дополнительная литература

нет

4.4 Электронные образовательные ресурсы

1. Вычислительная газогидромеханика, тепломассообмен и компьютерное моделирование

https://online.mospolytech.ru/course/view.php?id=2711

4.5 Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение

нет

4.6 Современные профессиональные базы данных и информационные справочные системы

нет

Ссылки на ресурсы должны содержать актуальный электронный адрес и быть доступными для перехода с любого компьютера.

5. Материально-техническое обеспечение

Лекционные и практические занятия и лабораторные работы проводятся в специализированных аудиториях кафедры Ав2214 и Ав2103, оснащенных соответствующим испытательным стендовым оборудованием, плакатами, натурными образцами узлов, деталей машин.

При кафедре работает консультационно-вычислительный класс Ав2209 для самостоятельной работы, оснащенный компьютерами с соответствующим расчетным и графическим программным обеспечением.

6. Методические рекомендации

6.1 Методические рекомендации для преподавателя по организации обучения

Основным требованием к преподаванию дисциплины является творческий, проблемно-диалоговый подход, позволяющий повысить интерес студентов к содержанию учебного материала.

Основная форма изучения и закрепления знаний по этой дисциплине – лекционная, лабораторная и практическая. Преподаватель должен последовательно вычитать студентам ряд лекций, в ходе которых следует сосредоточить внимание на ключевых моментах конкретного теоретического материала, а также организовать проведение практических занятий таким образом, чтобы активизировать мышление студентов, стимулировать самостоятельное извлечение ими необходимой информации из различных источников, сравнительный анализ методов решений, сопоставление полученных результатов, формулировку и аргументацию собственных взглядов на многие спорные проблемы.

Основу учебных занятий по дисциплине составляют лекции. В процессе обучения студентов используются различные виды учебных занятий (аудиторных и внеаудиторных): лекции, семинарские занятия, лабораторные работы консультации и т.д. На первом занятии по данной учебной дисциплине необходимо ознакомить студентов с порядком ее изучения,

раскрыть место и роль дисциплины в системе наук, ее практическое значение, довести до студентов требования кафедры, ответить на вопросы.

В ходе лекционного занятия преподаватель должен назвать тему, учебные вопросы, ознакомить студентов с перечнем основной и дополнительной литературы по теме занятия.

Во вступительной части лекции обосновать место и роль изучаемой темы в учебной дисциплине, раскрыть ее практическое значение. Если читается не первая лекция, то необходимо увязать ее тему с предыдущей, не нарушая логики изложения учебного материала. Лекцию следует начинать, только чётко обозначив её характер, тему и круг тех вопросов, которые в её ходе будут рассмотрены.

В основной части лекции следует раскрыть содержание учебных вопросов, акцентировать внимание студентов на основных категориях, явлениях и процессах, особенностях их протекания. Раскрывать сущность и содержание различных точек зрения и научных подходов к объяснению тех или иных явлений и процессов. Следует аргументировано обосновать собственную позицию по спорным теоретическим вопросам. Приводить примеры. Задавать по ходу изложения лекционного материала риторические вопросы и самому давать на них ответ. Это способствует активизации мыслительной деятельности студентов, повышению их внимания и интереса к материалу лекции, ее содержанию. Преподаватель должен руководить работой студентов по конспектированию лекционного материала, подчеркивать необходимость отражения в конспектах основных положений изучаемой темы, особо выделяя категорийный аппарат.

В заключительной части лекции необходимо сформулировать общие выводы по теме, раскрывающие содержание всех вопросов, поставленных в лекции. Объявить план очередного семинарского или лабораторного занятия, дать краткие рекомендации по подготовке студентов к семинару или лабораторной работе. Определить место и время консультации студентам, пожелавшим выступить на семинаре с докладами и рефератами по актуальным вопросам обсуждаемой темы.

Цель практических и лабораторных занятий - обеспечить контроль усвоения учебного материала студентами, расширение и углубление знаний, полученных ими на лекциях и в ходе самостоятельной работы. Повышение эффективности практических занятий достигается посредством создания творческой обстановки, располагающей студентов к высказыванию собственных взглядов и суждений по обсуждаемым вопросам, желанию у студентов поработать у доски при решении задач.

После каждого лекционного, лабораторного и практического занятия сделать соответствующую запись в журналах учета посещаемости занятий студентами, выяснить у старост учебных групп причины отсутствия студентов на занятиях. Проводить групповые и индивидуальные консультации студентов по вопросам, возникающим у студентов в ходе их подготовки к текущей и промежуточной аттестации по учебной дисциплине, рекомендовать в помощь учебные и другие материалы, а также справочную литературу.

6.2 Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

Самостоятельная работа является одним из видов получения образования обучающимися и направлена на:

- изучение теоретического материала, подготовка к лекционным, семинарским (практическим) занятиям

- подготовка к тестированию с использованием общеобразовательного портала.

Самостоятельная работа студентов представляет собой важнейшее звено учебного процесса, без правильной организации которого обучающийся не может быть высококвалифицированным выпускником.

Студент должен помнить, что начинать самостоятельные занятия следует с первого семестра и проводить их регулярно. Очень важно приложить максимум усилий, воли, чтобы заставить себя работать с полной нагрузкой с первого дня.

Каждый студент должен сам планировать свою самостоятельную работу, исходя из своих возможностей и приоритетов. Это стимулирует выполнение работы, создает более спокойную обстановку, что в итоге положительно сказывается на усвоении материала.

Важно полнее учесть обстоятельства своей работы, уяснить, что является главным на данном этапе, какую последовательность работы выбрать, чтобы выполнить ее лучше и с наименьшими затратами времени и энергии.

Для плодотворной работы немаловажное значение имеет обстановка, организация рабочего места. Нужно добиться, чтобы место работы по возможности было постоянным. Работа на привычном месте делает ее более плодотворной. Продуктивность работы зависит от правильного чередования труда и отдыха. Поэтому каждые час или два следует делать перерыв на 10-15 минут. Выходные дни лучше посвятить активному отдыху, занятиям спортом, прогулками на свежем воздухе и т.д. Даже переключение с одного вида умственной работы на другой может служить активным отдыхом.

Студент должен помнить, что в процессе обучения важнейшую роль играет самостоятельная работа с книгой. Научиться работать с книгой – важнейшая задача студента. Без этого навыка будет чрезвычайно трудно изучать программный материал, и много времени будет потрачено нерационально. Работа с книгой складывается из умения подобрать необходимые книги, разобраться в них, законспектировать, выбрать главное, усвоить и применить на практике.

7. Фонд оценочных средств

7.1 Методы контроля и оценивания результатов обучения

До даты проведения промежуточной аттестации студент должен выполнить все работы, предусмотренные настоящей рабочей программой дисциплины.

Перечень обязательных работ, выполняемых в течение семестра

- Устный опрос, собеседование
- Курсовая работа
- Тестирование

7.2 Шкала и критерии оценивания результатов обучения

Результаты обучения оцениваются по балльной шкале, баллы начисляются студенту по результатам выполнения обязательных работ.

Оценка	Количество баллов

отлично	от 81 до 100
хорошо	от 61 до 80
удовлетворительно	от 41 до 60
неудовлетворительно	40 и менее

7.3 Оценочные средства

7.3.1. Текущий контроль

Темы для устных опросов

1. Сущность концепции дискретизации дифференциальных уравнений тепломассообмена и газогидромеханики. Структура дискретного аналога исходного дифференциального уравнения.
2. Дискретные аналоги граничных условий в задачах теплообмена.
3. Дискретный аналог дифференциального уравнения газогидромеханики для стационарной одномерной задачи, в которой учитываются только конвекция и диффузия.
4. Основные принципы выбора интерполяционных функций и профилей при построении дискретных аналогов дифференциальных уравнений тепломассообмена и газогидромеханики.
5. Явная схема дискретизации параболических дифференциальных уравнений одномерной теплопроводности без источникового члена.
6. Полностью неявная схема для дискретизации параболических дифференциальных уравнений одномерной теплопроводности без источникового члена.
7. Схема Кранка-Николсона для дискретизации параболических дифференциальных уравнений одномерной теплопроводности без источникового члена.
8. Обобщенный дискретный аналог дифференциального уравнения тепломассообмена в задаче нестационарной одномерной теплопроводности без источникового члена.
9. Шаблоны явных конечно-разностных схем в задачах нестационарной одномерной теплопроводности.
10. Шаблоны неявных конечно-разностных схем в задачах нестационарной одномерной теплопроводности.

Задания для курсовых работ

Задание 1. Для охлаждения компрессора используют теплоотводящий радиатор. Процесс передачи тепла от радиатора в окружающий воздух описывают дифференциальным уравнением

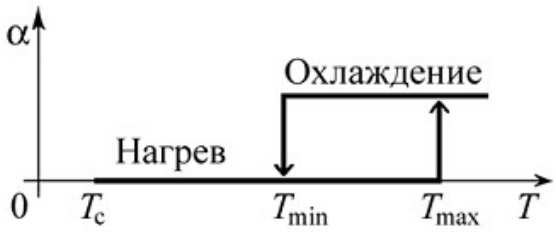
$$cm\frac{dT}{dt} = P - \alpha S\left(T - T_C\right),$$

где m и c – масса и удельная теплоемкость материала радиатора, T – температура радиатора, t – время, P – поступающая к радиатору от компрессора тепловая мощность, $\alpha S (T - T_c)$ – отводимое тепло, α – коэффициент конвективной теплоотдачи, S – площадь поверхности радиатора, T_c – температура окружающей среды.

Радиатор снабжен вентилятором, который автоматически включается, если температура радиатора превышает допустимый предел, то есть $T > T_{max}$, и останавливается, если $T < T_{max}$. Включение обдува эквивалентно изменению коэффициента теплоотдачи α по следующему закону:

$$\alpha = \begin{cases} \alpha 0, \text{ если } T \le T_{min} \text{ или } T < T_{max} \text{ при } dT/dt > 0, \\ \alpha 1, \text{ если } T \ge T_{max} \text{ или } T > T_{min} \text{ при } dT/dt < 0, \end{cases}$$

где α0 – коэффициент теплоотдачи при выключенном вентиляторе, α1– коэффициент теплоотдачи при обдуве (см. рисунок).



Рассчитайте участок зависимости T(t), на котором система охлаждения выходит на установившийся рабочий режим Tmin< T(t) < Tmax.

Параметры радиатора: c = 920 Дж/кг·К, m =8,45 кг, S = 0,44 м^2. Начальную температуру радиатора примите равной T(t=0) = Tc = 303 К. Прочие данные указаны в таблице.

Результаты расчетов представьте в табличной и графической формах в размерном {T = f(t)} и безразмерном {Θ = (T-Tmin)/(Tmax - Tmin) = φ(τ = t· P/ c · m·ΔT) } видах.

Таблица

Параметр	Вариант						
	1-1	1-2	1-3	1-4	1-5	1-6	1-7
P, Вт	350	365	380	355	450	535	675
α0, Вт/м^2·К	8	15	19	12	8	8	18
α1, Вт/м^2·К	80	95	120	90	60	50	115
Tmin, К	330	340	350	335	345	355	325
Tmax, К	360	370	370	365	370	380	375

Задание 2. Процесс передачи тепла в твердом теле описывают уравнением теплопроводности

$$\rho C \frac{\partial T}{\partial t} - \operatorname{div}\left[k \operatorname{grad}(T)\right] = Q,$$

где ρ и C – плотность и теплоемкость вещества, T – температура, k – коэффициент теплопроводности, Q – плотность источников тепла.

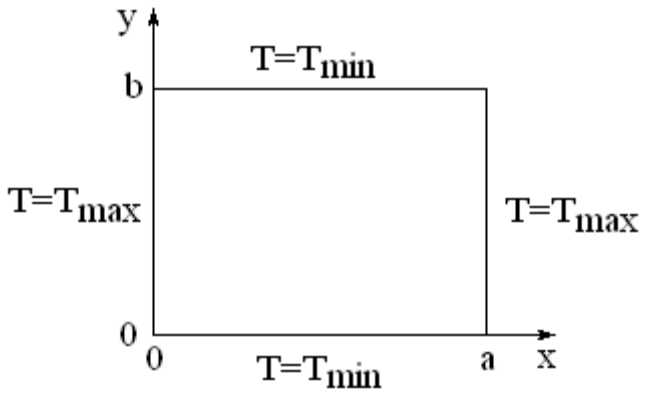
При указанных в таблице исходных данных получить численно установившееся распределение температур T(x,y) на тонкой прямоугольной пластине (см. рисунок) для области

$0 \le x \le a, 0 \le y \le b$, считая теплофизические свойства материала пластины постоянными.

Длина пластины L=10 м, ширина пластины B=2,5 м. В начальный момент времени t_0=0 температура пластины равна T_{min}, на границах области заданы постоянные температуры: при x=0 и x=$a: T = T_{max}$, при y=0 и y=$b: T = T_{min}$. Объемные источники тепла отсутствуют: Q = 0. Результаты расчетов представить в табличной и графической формах в безразмерном {Θ = (T-Tmin)/(Tmax - Tmin) = φ(τ = Fo) } виде.

Таблица

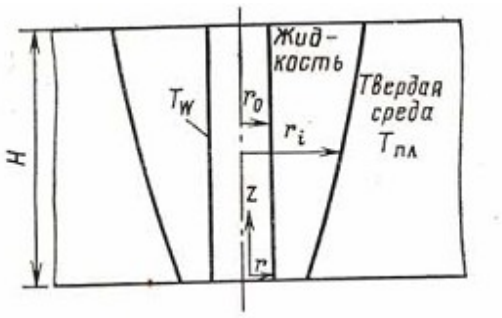
Параметр	Вариант						
	2-1	2-2	2-3	2-4	2-5	2-6	2-7
ρ, кг/м^3	2800	3500	3500	2900	3000	3500	8000
C, Дж/кг·К	880	140	250	300	330	440	520
k, Вт/м·К	80	210	100	75	150	180	35
Tmin, К	273	283	293	343	303	278	278
Tmax, К	373	423	393	583	363	413	583



Задание 3. Вертикальная труба радиусом r_0= 25 мм, в которой находится вода с температурой 72^{0}C, окружена бесконечно толстой ледяной рубашкой, высота которой H равна 2 метрам (см. рисунок 2). Температура льда равна 0^{0}C, вследствие чего лед начинает таять. Найти изменение формы области, занимаемой талой водой, во времени. При решении данной нестационарной задачи принять, что положение границы раздела талой воды и льда в течение каждого шага по времени не меняется. На каждом последующем шаге по времени положение границы раздела талой воды и льда изменять с учетом теплообмена через границу раздела.

Указание:

79 Sparrow, E. M., Patankar, S. V., and Ramadhyani, S. (1977). Analysis of Melting in the Presence of Natural Convection in the Melt Region, *J. Heat Transfer,* vol. 99, p.. 520.



Рисунок

Задание 4. Рассмотреть процесс нагрева жидкости в условиях полной невесомости. Будем считать, что жидкость является упругой средой, то есть плотность жидкости зависит не только от температуры, но и от давления. Количественной характеристикой упругости жидкости может служить величина $k = \frac{\partial P}{\partial \rho} = a^2$ (1) , где a - скорость звука в жидкости. Одномерное движение столба жидкости высоты L, нагреваемого с основания заданным тепловым потоком q, может быть описано следующей системой уравнений:

$$\begin{cases} \frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial \rho u}{\partial x} = 0 \\ \frac{\partial u}{\partial t} + u \cdot \frac{\partial u}{\partial x} = - \frac{1}{\rho} \cdot \frac{\partial P}{\partial x} \\ \frac{\partial T}{\partial t} + u \cdot \frac{\partial T}{\partial x} = \chi \cdot \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} \\ \rho = \rho_0 \cdot (1 - \beta \cdot (T - T_0)) + \frac{1}{k} \cdot P \end{cases} \quad (2)$$

В начальный момент $T = T_0, u = 0, \rho = \rho_0$. (3)

На поверхности нагревателя (x=0) $u = 0, \frac{\partial P}{\partial x} = 0, \lambda \cdot \frac{\partial T}{\partial x} = - q$, (4)

на свободной поверхности (x=L) $P = 0, \frac{\partial T}{\partial x} = 0$. (5)

Систему (2)-(5) решить численно методом конечных разностей для воды с начальной температурой 20°C, плотность теплового потока $q=10^4$ Вт/м^2, глубина заполнения (высота столба) L=0.05 м.

Задание 5. Цилиндрическое стальное ребро в форме иглы прикреплено к твердой стенке с температурой T_0= 200^{0}C и омывается потоком воздуха с температурой T_∞=30^{0}C (см. рисунок). Коэффициент теплоотдачи от ребра к воздуху α=75 Вт/м^2·К. Коэффициент теплопроводности ребра λ=45 Вт/м·К. Разделить ребро на пять частей и при помощи итерационного метода Гаусса-Зайделя (см. [1], стр. 158-168) найти температуру в узлах сетки. Вычислить тепловой поток через боковую поверхность ребра и тепловой поток, поступающий в ребро от стенки через основание ребра. При решении данной задачи можно использовать программу CONDUCT (см. [2], стр. 65-126).

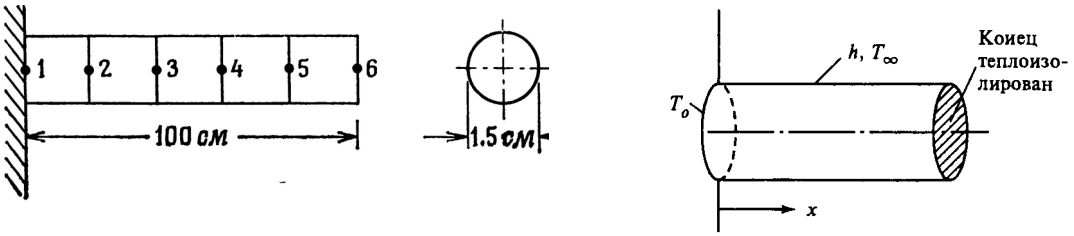


Рисунок.

Указание

Андерсон Д., Таннехилл Дж., Плетчер Р.

1. Вычислительная гидромеханика и теплообмен: В 2-х т. Т. 1: Пер. с англ. — М.: Мир, 1990. — 384 с., ил.

Патанкар С.В.

Численное решение задач теплопроводности и конвективного теплообмена при течении в каналах: Пер. с англ. Е.В. Калабина; под ред. Г.Г. Янькова. — М.: Издательство МЭИ, 2003. — 312 с., ил. ISBN 5-7046-0898-1.

Задание 6. Получить численное решение задачи намораживания льда на цилиндрическую бесконечную трубку с наружным диаметром 20 мм, погруженную в неподвижную воду с температурой 10^0C. Температура воды на поверхности трубки постоянна и равна минус 10^0C. Конвекцией пренебречь. Задача осесимметричная, одномерная, T=T(r, t).

Исходные данные и обозначения:

R – радиус трубки;

T_f – начальная температура воды;

T_0 – температура кристаллизации воды (273.15 К);

T_n – температура на поверхности трубки;

ro_f – плотность воды а (1000 кг/м^3);

ro_l- плотность льда (917 кг/м^3);

cp_f – теплоемкость воды (4220 Дж/кг·К);

cp_l – теплоемкость льда (2120 Дж/кг·К);

L_f – скрытая теплота кристаллизации воды (333000 Дж/кг);

Lam_f – теплопроводность воды (0.57 Вт/м К);

Lam_l – теплопроводность льда (2.22 Вт/м К).

Уравнение теплопроводности

$$C(T)\cdot\rho\cdot\frac{\partial T}{\partial t}-\nabla(\lambda(T)\cdot\nabla T)=Q(T)$$

Распределенный источник тепла Q устроен так, что:

При $T>T_0$ Q=0;

При $T< T_0$ Q=0;

При $T= T_0$ температура в элементарном объеме неизменна, тепловой поток направлен на изъятие количества теплоты, необходимое для фазового перехода (L_f=333000 Дж/кг).

Удельная теплоемкость $C(T)$ в элементарном объеме расчетной области определяется температурой

$$c_{ij}=\begin{cases}cp_f- & \text{при } T>T_0=273{,}15\\ cp_l- & \text{при } T<T_0=273{,}15\end{cases}$$

Коэффициент теплопроводности $\lambda(T)$:

$$Lam_{ij} = \begin{cases} Lam_f - \text{ при } T > T_0 = 273{,}15 \\ Lam_l - \text{ при } T < T_0 = 273{,}15 \end{cases}$$

Для сглаживания скачка теплопроводности использовать осреднение:

$$Lam_{i+1/2,j} = \frac{2 \cdot Lam_{i+1,j} \cdot Lam_{i,j} \cdot}{Lam_{i+1,j} + Lam_{i,j}}$$

$$Lam_{i-1/2,j} = \frac{2 \cdot Lam_{i-1,j} \cdot Lam_{i,j} \cdot}{Lam_{i-1,j} + Lam_{i,j}}$$

$$Lam_{i,j+1/2} = \frac{2 \cdot Lam_{i,j+1/2} \cdot Lam_{i,j} \cdot}{Lam_{i,j+1/2} + Lam_{i,j}}$$

$$Lam_{i,j-1/2} = \frac{2 \cdot Lam_{i,j-1/2} \cdot Lam_{i,j} \cdot}{Lam_{i,j-1/2} + Lam_{i,j}}$$

Новое распределение температуры получают численно с независимым шагом dt<=dtau.

Решение задачи представить в безразмерном виде.

Пример тестового задания.

1. Метод конечных разностей — численный метод решения дифференциальных уравнений, основанный на...?

= замене производных разностными схемами

~ замене переменных разностными схемами

~ замене производных общими схемами

~ замене производных частными схемами

2. Метод конечных разностей является... методом

= сеточным

~ плотностным

~ фасеточным

~ разностным

3. Преимущества метода конечных разностей

=Для простых задач построение разностной схемы выполняется быстрее

~Метод является проекционным, то есть устойчив

~Позволяет работать с геометрически более сложными областями

~Решение сразу представляет собой функцию и значения в любой точке могут быть вычислены сразу

7.3.2. Промежуточная аттестация

Промежуточная аттестация обучающихся в форме экзамена проводится по результатам выполнения всех видов учебной работы, предусмотренных учебным планом по данной дисциплине (модулю), при этом учитываются результаты текущего контроля успеваемости в течение семестра. Оценка степени достижения обучающимися планируемых результатов

обучения по дисциплине (модулю) проводится преподавателем, ведущим занятия по дисциплине (модулю) методом экспертной оценки. По итогам промежуточной аттестации по дисциплине (модулю) выставляется оценка «отлично», «хорошо», «удовлетворительно» или «неудовлетворительно».

Примерные вопросы к экзамену

Вопросы для проверки уровня обученности ЗНАТЬ:

1. Сущность концепции дискретизации дифференциальных уравнений тепломассообмена и газогидромеханики. Структура дискретного аналога исходного дифференциального уравнения.
2. Дискретные аналоги граничных условий в задачах теплообмена.
3. Дискретный аналог дифференциального уравнения газогидромеханики для стационарной одномерной задачи, в которой учитываются только конвекция и диффузия.
4. Основные принципы выбора интерполяционных функций и профилей при построении дискретных аналогов дифференциальных уравнений тепломассообмена и газогидромеханики.
5. Явная схема дискретизации параболических дифференциальных уравнений одномерной теплопроводности без источникового члена.
6. Полностью неявная схема для дискретизации параболических дифференциальных уравнений одномерной теплопроводности без источникового члена.
7. Схема Кранка-Николсона для дискретизации параболических дифференциальных уравнений одномерной теплопроводности без источникового члена.
8. Обобщенный дискретный аналог дифференциального уравнения тепломассообмена в задаче нестационарной одномерной теплопроводности без источникового члена.
9. Шаблоны явных конечно-разностных схем в задачах нестационарной одномерной теплопроводности.
10. Шаблоны неявных конечно-разностных схем в задачах нестационарной одномерной теплопроводности.

Вопросы (задачи/задания) для проверки уровня обученности УМЕТЬ:

1. Получение дискретного аналога исходного дифференциального уравнения тепломассообмена и газогидромеханики с помощью рядов Тейлора.
2. Получение дискретного аналога исходного дифференциального уравнения тепломассообмена и газогидродинамики с помощью метода взвешенных невязок.
3. Получение дискретного аналога исходного дифференциального уравнения тепломассообмена и газогидродинамики с помощью метода контрольного объема.
4. Получение дискретного аналога граничных условий второго рода в задачах тепломассообмена.
5. Получение дискретного аналога граничных условий третьего рода в задачах тепломассообмена.
6. Аппроксимация источникового члена в дифференциальном уравнении тепломассообмена для стационарной одномерной задачи теплопроводности.
7. Применение метода контрольного объема к стационарной одномерной задаче теплопроводности.

Вопросы (задачи/задания) для проверки уровня обученности ВЛАДЕТЬ:

1. Правило соответствия потоков на границах контрольного объема при построении дискретных аналогов дифференциальных уравнений тепломассообмена и газогидродинамики.

2. Независимые переменные в обобщенных дифференциальных уравнениях тепломассообмена и газогидродинамики. Частные случаи при выборе независимых переменных и их физическая трактовка.

3. Правило положительности коэффициентов при зависимой переменной при построении дискретных аналогов дифференциальных уравнений теплопроводности.

4. Стандартный вид дискретного аналога дифференциального уравнения стационарной одномерной задачи теплопроводности и его особенности.

5. Правило отрицательности коэффициента при линеаризации источникового члена в обобщенных дифференциальных уравнениях тепломассообмена и газогидродинамики.

6. Структура обобщенного дифференциального уравнения тепломассообмена, газогидродинамики и турбулентности. Физический смысл его членов.

7. Правило равенства суммы соседних коэффициентов при зависимой переменной на границах контрольного объема коэффициенту при этой переменной в узле сетки дискретного аналога дифференциального уравнения тепломассообмена, газогидродинамики и турбулентности.

Образец экзаменационного билета

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«МОСКОВСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(МОСКОВСКИЙ ПОЛИТЕХ)

Факультет **ХТиБ** Кафедра **Техника низких температур**
Дисциплина **Вычислительная газогидромеханика, тепломассообмен и компьютерное моделирование**
Направление **16.04.03**
Курс 1 группа **224-551,** форма обучения **очная**

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 1.

1. Дискретный аналог дифференциального уравнения газогидромеханики для стационарной одномерной задачи, в которой учитываются только конвекция и диффузия.
2. Получение дискретного аналога граничных условий второго рода в задачах тепломассообмена.
3. Структура обобщенного дифференциального уравнения тепломассообмена, газогидродинамики и турбулентности. Физический смысл его членов.

К промежуточной аттестации допускаются только студенты, выполнившие все виды учебной работы, предусмотренные рабочей программой по дисциплине «Вычислительная газогидромеханика, тепломассообмен и компьютерное моделирование».

Шкала оценивания	**Описание**
Отлично	Выполнены все виды учебной работы, предусмотренные учебным планом. Студент демонстрирует соответствие знаний, умений, навыков приведенным в таблицах показателей, оперирует приобретенными знаниями, умениями, навыками, применяет их в ситуациях повышенной сложности. При этом могут быть допущены незначительные ошибки, неточности, затруднения при аналитических операциях, переносе знаний и умений на новые, нестандартные ситуации.
Хорошо	Выполнены все виды учебной работы, предусмотренные учебным планом. Студент демонстрирует неполное, правильное соответствие знаний, умений, навыков приведенным в таблицах показателей, либо если при этом были допущены 2-3 несущественные ошибки.
Удовлетвори-тельно	Выполнены все виды учебной работы, предусмотренные учебным планом. Студент демонстрирует соответствие знаний, в котором освещена основная, наиболее важная часть материала, но при этом допущена одна значительная ошибка или неточность.
Неудовлетвори-тельно	Не выполнен один или более видов учебной работы, предусмотренных учебным планом. Студент демонстрирует неполное соответствие знаний, умений, навыков приведенным в таблицах показателей, допускаются значительные ошибки, проявляется отсутствие знаний, умений, навыков по ряду показателей, студент испытывает значительные затруднения при оперировании знаниями и умениями при их переносе на новые ситуации.
Зачтено	Выполнены все виды учебной работы, предусмотренные учебным планом. Студент демонстрирует соответствие знаний, умений, навыков приведенным в таблицах показателей, оперирует приобретенными знаниями, умениями, навыками, применяет их в ситуациях повышенной сложности. При этом могут быть допущены незначительные ошибки, неточности, затруднения при аналитических операциях, переносе знаний и умений на новые, нестандартные ситуации.
Не зачтено	Не выполнен один или более видов учебной работы, предусмотренных учебным планом. Студент демонстрирует неполное соответствие знаний, умений, навыков приведенным в таблицах показателей, допускаются значительные ошибки, проявляется отсутствие знаний, умений, навыков по ряду показателей, студент испытывает значительные затруднения при оперировании знаниями и умениями при их переносе на новые ситуации.