

Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Максимов Алексей Борисович
Должность: директор департамента по образовательной политике
Дата подписания: 29.09.2023 12:03:38
Уникальный программный ключ:
8db180d1a3f02ac9e60521a5672742735c18b1d6

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«МОСКОВСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**



УТВЕРЖДАЮ
декан факультета
химической технологии
и биотехнологии
Ю.В. Данильчук /
августа 2022 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

**«Вычислительная газогидромеханика, тепломассообмен
и компьютерное моделирование»**

Направление подготовки

16.04.03 «Холодильная, криогенная техника и системы жизнеобеспечения»

Профиль «Холодильная, криогенная техника и системы жизнеобеспечения »

Квалификация (степень) выпускника

Магистр

Форма обучения

Очная

Москва 2022

Разработчик(и):

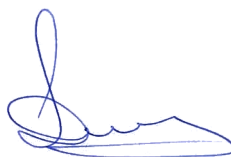
доцент, к.т.н.



/ А.Е. Ермолаев /

Согласовано:

Заведующий кафедрой «Техника низких температур»,
к.т.н.



/ Д.А. Некрасов /

1. Цели освоения дисциплины.

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.

2. Место дисциплины в структуре ООП магистратуры.

Дисциплина «Вычислительная газогидромеханика, тепломассообмен и компьютерное моделирование» относится к числу профессиональных учебных дисциплин части, формируемой участниками образовательных отношений, блока 1 основной образовательной программы магистратуры.

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

- «Методы подобия физических процессов»
- «Расчет и проектирование машин, аппаратов и установок холодильной, криогенной техники и систем жизнеобеспечения».
- «Рабочие вещества низкотемпературных систем».

3. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю), соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы.

В результате освоения дисциплины (модуля) у обучающихся формируются следующие компетенции и должны быть достигнуты следующие результаты обучения как этап формирования соответствующих компетенций:

Код компетенции	В результате освоения образовательной програм-	Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине
-----------------	--	---

	мы обучающийся должен обладать	
ПК-1	Готовность использовать нормативную документацию при проектировании низкотемпературных систем	<p>знать:</p> <ul style="list-style-type: none"> • основные методы и алгоритмы вычислительной газогидромеханики и тепломассообмена; <p>уметь:</p> <ul style="list-style-type: none"> • проводить анализ научно-технической литературы и выявлять новые результаты фундаментальных и прикладных исследований в области техники и физики низких температур, которые могут представлять практический интерес; <p>владеть:</p> <ul style="list-style-type: none"> • навыками разработки математических и компьютерных моделей, предназначенных для выполнения теоретических исследований в области холодильной, криогенной техника и систем жизнеобеспечения.
ПК-3	Готовность осуществлять сбор и анализ информации и проводить проектирование и расчет систем жизнеобеспечения	<p>знать:</p> <ul style="list-style-type: none"> • основные программные системы компьютерного моделирования; <p>уметь:</p> <ul style="list-style-type: none"> • решать задачи холодильной, криогенной техники и систем жизнеобеспечения с применением программных систем компьютерного моделирования; <p>владеть:</p> <ul style="list-style-type: none"> • навыками построения математических и компьютерных моделей для решения прикладных задач холодильной, криогенной техники и систем жизнеобеспечения.

4. Структура и содержание дисциплины.

Общая трудоемкость дисциплины составляет **3** зачетных единицы, т.е. **108** академических часа (из них 60 часов – самостоятельная работа студентов).

На первом курсе во **втором** семестре выделяется **3** зачетных единицы, т.е. **108** академических часа (из них 60 часов – самостоятельная работа студентов).

Разделы дисциплины «Вычислительная газогидромеханика, тепломассообмен и компьютерное моделирование» изучаются на первом курсе.

Второй семестр: лекции –18 часов, семинары и практические занятия 30 часов, форма контроля – экзамен.

Структура и содержание дисциплины «Вычислительная газогидромеханика, тепломассообмен и компьютерное моделирование» по срокам и видам работы отражены в приложении.

Содержание разделов дисциплины

Второй семестр

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.

5. Образовательные технологии.

Методика преподавания дисциплины «Вычислительная газогидромеханика, тепломассообмен и компьютерное моделирование» и реализация компетентного подхода в изложении и восприятии материала предусматривает использование модульного и интерактивного обучения:

- организация и проведение текущего контроля знаний студентов в форме опросов.

Удельный вес занятий, проводимых в интерактивных формах, определен главной целью образовательной программы, особенностью контингента обучающихся и содержанием дисциплины «Вычислительная газогидромеханика, тепломассообмен и компьютерное моделирование», и в целом по дисциплине составляет 44% аудиторных занятий.

Занятия лекционного типа составляют 38% от объема аудиторных занятий.

6. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины и учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов.

Текущий контроль успеваемости и промежуточной аттестации проводятся по следующим критериям;

- ответы студента на вопросы при проведении аудиторных занятий;

Образцы вопросов и заданий для проведения текущего контроля, экзаменационных билетов приведены в приложении.

6.1. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине (модулю).

6.1.1. Перечень компетенций с указанием этапов их формирования в процессе освоения образовательной программы.

В результате освоения дисциплины (модуля) формируются следующие компетенции:

Код компетенции	В результате освоения образовательной программы обучающийся должен обладать
ПК-1	Готовность использовать нормативную документацию при проектировании низкотемпературных систем

ПК-3	Готовность осуществлять сбор и анализ информации и проводить проектирование и расчет систем жизнеобеспечения
------	--

В процессе освоения образовательной программы данные компетенции, в том числе их отдельные компоненты, формируются поэтапно в ходе освоения обучающимися дисциплин (модулей), практик в соответствии с учебным планом и календарным графиком учебного процесса.

6.1.2. Описание показателей и критериев оценивания компетенций, формируемых по итогам освоения дисциплины (модуля), описание шкал оценивания

Показателем оценивания компетенций на различных этапах их формирования является достижение обучающимися планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю).

ПК-1 - готовность использовать нормативную документацию при проектировании низкотемпературных систем				
Показатель	Критерии оценивания			
	2	3	4	5
знать: основные методы и алгоритмы вычислительной газогидромеханики и тепло-массообмена	Обучающийся демонстрирует полное отсутствие или недостаточное соответствие следующих знаний: основные методы и алгоритмы вычислительной газогидромеханики и тепло-массообмена;	Обучающийся демонстрирует неполное соответствие следующих знаний: основные методы и алгоритмы вычислительной газогидромеханики и тепло-массообмена. Допускаются значительные ошибки, проявляется недостаточность знаний, по ряду показателей, обучающийся испытывает затруднения при оперировании знаниями при их переносе на новые ситуации.	Обучающийся демонстрирует частичное соответствие следующих знаний: основные методы и алгоритмы вычислительной газогидромеханики и тепло-массообмена, но допускаются незначительные ошибки, неточности, затруднения при аналитических операциях.	Обучающийся демонстрирует полное соответствие следующих знаний: основные методы и алгоритмы вычислительной газогидромеханики и тепло-массообмена, свободно оперирует приобретенными знаниями.
уметь: проводить анализ научной литературы и выявлять новые результаты фундаментальных	Обучающийся не умеет или в недостаточной степени умеет проводить анализ научной литературы и выявлять новые ре-	Обучающийся демонстрирует неполное соответствие следующих умений: проводить анализ научной литературы и выявлять новые результаты фундаментальных и при-	Обучающийся демонстрирует частичное соответствие следующих умений: проводить анализ научной литературы и выявлять новые результаты фундаментальных и при-	Обучающийся демонстрирует полное соответствие следующих умений: проводить анализ научной литературы и выяв-

<p>тальных и прикладных исследований в области техники и физики низких температур, которые могут представлять практический интерес;</p>	<p>зультаты фундаментальных и прикладных исследований в области техники и физики низких температур, которые могут представлять практический интерес.</p>	<p>кладных исследований в области техники и физики низких температур, которые могут представлять практический интерес. Допускаются значительные ошибки, проявляется недостаточность умений, по ряду показателей, обучающийся испытывает значительные затруднения при оперировании умениями при их переносе на новые ситуации.</p>	<p>кладных исследований в области техники и физики низких температур, которые могут представлять практический интерес. Умения освоены, но допускаются значительные ошибки, неточности, затруднения при аналитических операциях, переносе умений на новые, нестандартные ситуации.</p>	<p>лять новые результаты фундаментальных и прикладных исследований в области техники и физики низких температур, которые могут представлять практический интерес. Свободно оперирует приобретенными умениями, применяет их в ситуациях повышенной сложности.</p>
<p>владеть: навыками разработки математических и компьютерных моделей, предназначенных для выполнения теоретических исследований в области холодильной, криогенной техника и систем жизнеобеспечения.</p>	<p>Обучающийся не владеет или в недостаточной степени владеет навыками разработки математических и компьютерных моделей, предназначенных для выполнения теоретических исследований в области холодильной, криогенной техника и систем жизнеобеспечения.</p>	<p>Обучающийся владеет навыками разработки математических и компьютерных моделей, предназначенных для выполнения теоретических исследований в области холодильной, криогенной техника и систем жизнеобеспечения, но допускаются значительные ошибки, проявляется недостаточность владения навыками по ряду показателей. Обучающийся испытывает значительные затруднения при применении навыков в новых ситуациях.</p>	<p>Обучающийся частично владеет навыками разработки математических и компьютерных моделей, предназначенных для выполнения теоретических исследований в области холодильной, криогенной техника и систем жизнеобеспечения, но допускаются незначительные ошибки, неточности, затруднения при аналитических операциях, переносе умений на новые, нестандартные ситуации.</p>	<p>Обучающийся в полном объеме владеет навыками разработки математических и компьютерных моделей, предназначенных для выполнения теоретических исследований в области холодильной, криогенной техника и систем жизнеобеспечения, свободно применяет полученные навыки в ситуациях повышенной сложности.</p>

<p>ПК-3 Готовность осуществлять сбор и анализ информации и проводить проектирование и расчет систем жизнеобеспечения</p>				
<p>Показатель</p>	<p>Критерии оценивания</p>			
	<p>2</p>	<p>3</p>	<p>4</p>	<p>5</p>

<p>знать: основные программные системы компьютерного моделирования;</p>	<p>Обучающийся демонстрирует полное отсутствие или недостаточное соответствие следующих знаний: основные программные системы компьютерного моделирования;</p>	<p>Обучающийся демонстрирует неполное соответствие следующих знаний: основные программные системы компьютерного моделирования. Допускаются значительные ошибки, проявляется недостаточность знаний, по ряду показателей, обучающийся испытывает значительные затруднения при оперировании знаниями при их переносе на новые ситуации.</p>	<p>Обучающийся демонстрирует частичное соответствие следующих знаний: основные программные системы компьютерного моделирования, но допускаются незначительные ошибки, неточности, затруднения при аналитических операциях.</p>	<p>Обучающийся демонстрирует полное соответствие следующих знаний: основные программные системы компьютерного моделирования, свободно оперирует приобретенными знаниями.</p>
<p>уметь: решать задачи холодильной, криогенной техники и систем жизнеобеспечения с применением программных систем компьютерного моделирования;</p>	<p>Обучающийся не умеет или в недостаточной степени умеет решать задачи холодильной, криогенной техники и систем жизнеобеспечения с применением программных систем компьютерного моделирования.</p>	<p>Обучающийся демонстрирует неполное соответствие следующих умений: решать задачи холодильной, криогенной техники и систем жизнеобеспечения с применением программных систем компьютерного моделирования. Допускаются значительные ошибки, проявляется недостаточность умений, по ряду показателей, обучающийся испытывает значительные затруднения при оперировании умениями при их переносе на новые ситуации.</p>	<p>Обучающийся демонстрирует частичное соответствие следующих умений: решать задачи холодильной, криогенной техники и систем жизнеобеспечения с применением программных систем компьютерного моделирования. Умения освоены, но допускаются незначительные ошибки, неточности, затруднения при аналитических операциях, переносе умений на новые, нестандартные ситуации.</p>	<p>Обучающийся демонстрирует полное соответствие следующих умений: решать задачи холодильной, криогенной техники и систем жизнеобеспечения с применением программных систем компьютерного моделирования. Свободно оперирует приобретенными умениями, применяет их в ситуациях повышенной сложности.</p>
<p>владеть: навыками построения математических и компьютерных моделей для решения прикладных задач холодильной, криогенной техники и систем жизнеобеспечения.</p>	<p>Обучающийся не владеет или в недостаточной степени владеет навыками построения математических и компьютерных моделей для решения прикладных задач холодильной, криогенной техники и систем жизнеобеспечения.</p>	<p>Обучающийся владеет навыками построения математических и компьютерных моделей для решения прикладных задач холодильной, криогенной техники и систем жизнеобеспечения, но допускаются значительные ошибки, проявляется недостаточность владения навыками по ряду показателей. Обучающийся</p>	<p>Обучающийся частично владеет навыками построения математических и компьютерных моделей для решения прикладных задач холодильной, криогенной техники и систем жизнеобеспечения, но допускаются незначительные ошибки, неточности, затруднения при аналитических операциях, переносе</p>	<p>Обучающийся в полном объеме владеет навыками построения математических и компьютерных моделей для решения прикладных задач холодильной, криогенной техники и систем жизнеобеспечения.</p>

	ством жизне-обеспечения.	испытывает значительные затруднения при применении навыков в новых ситуациях.	умений на новые, нестандартные ситуации.	обеспечения, свободно применяет полученные навыки в ситуациях повышенной сложности.
--	--------------------------	---	--	---

Шкалы оценивания результатов промежуточной аттестации и их описание:

Форма промежуточной аттестации: экзамен.

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».

К промежуточной аттестации допускаются только студенты, выполнившие все виды учебной работы, предусмотренные рабочей программой по дисциплине «Вычислительная газогидромеханика, тепломассообмен и компьютерное моделирование» (указывается что именно – прошли промежуточный контроль, выполнили лабораторные работы, выступили с докладом и т.д.)

Шкала оценивания	Описание
Отлично	<i>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.</i>
Хорошо	<i>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.</i>
Удовлетворительно	<i>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</i>

	<i>неточность.</i>
<i>Неудовлетворительно</i>	<i>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.</i>

Фонды оценочных средств представлены в приложении 1 к рабочей программе.

7. Учебно-методическое и информационное обеспечение

а) 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> . — Режим доступа: для авториз. пользователей.

б) Дополнительная литература:

1. 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> . — Режим доступа: для авториз. пользователей.

в) Программное обеспечение и интернет-ресурсы:

нет

Материально-техническое обеспечение дисциплины.

Лекционные и практические занятия проводятся в специализированной аудитории кафедры Ав2103, оснащенной учебными столами, стульями, аудиторной доской, рабочим местом преподавателя, оборудованием для выполнения лабораторных работ.

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

9. Методические рекомендации для самостоятельной работы студентов

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

- изучение теоретического материала, подготовка к лекционным, лабораторным, 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.

10. Методические рекомендации для преподавателя

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 четко 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 вопросы и 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 категоричный 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.

Программа составлена в соответствии с Федеральным государственным образовательным стандартом высшего образования по направлению подготовки магистров **16.04.03 «Холодильная, криогенная техника и системы жизнеобеспечения»**, профиль подготовки **«Холодильная техника и технологии»**.

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

**«МОСКОВСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(МОСКОВСКИЙ ПОЛИТЕХ)**

Направление подготовки: 16.04.03 «Холодильная, криогенная техника и системы жизнеобеспечения»

ОП (профиль): «Холодильная техника и технологии»
Форма обучения: очная

Кафедра: «Техника низких температур» им. П.Л. Капицы

ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

ПО ДИСЦИПЛИНЕ

**Вычислительная газогидромеханика, тепломассообмен
и компьютерное моделирование**

Состав: 1. Паспорт фонда оценочных средств
2. Описание оценочных средств:

Составитель: к.т.н. Ермолаев А.Е.

Москва, 2022

ПОКАЗАТЕЛЬ УРОВНЯ СФОРМИРОВАННОСТИ КОМПЕТЕНЦИЙ

Вычислительная газогидромеханика, теплообмен и компьютерное моделирование					
ФГОС ВО 16.04.03 «Холодильная, криогенная техника и системы жизнеобеспечения»					
В процессе освоения данной дисциплины студент формирует и демонстрирует следующие профессиональные компетенции:					
КОМПЕТЕНЦИИ		Перечень компонентов	Технология формирования компетенций	Форма оценочного средства**	Степени уровней освоения компетенций
ИН-ДЕКС	ФОРМУЛИРОВКА				
1	2	3	4	5	6
ПК-1	готовность использовать нормативную документацию при проектировании низкотемпературных систем	<p>знать: основные методы и алгоритмы вычислительной газогидромеханики и теплообмена.</p> <p>уметь: проводить анализ научно-технической литературы и выявлять новые результаты фундаментальных и прикладных исследований в области техники и физики низких температур, которые могут представлять практический интерес;</p> <p>уметь: проводить анализ научно-технической литературы и выявлять новые результаты фундаментальных и прикладных исследований в области техники и физики низких температур, которые могут представлять практический интерес;</p>	лекции, семинары и практические занятия, самостоятельная работа	К.Р.	<p>Базовый уровень - способен выявлять сущность научно - технических проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности;</p> <p>Повышенный уровень - способен разрабатывать алгоритмы вычислительной газогидромеханики и теплообмена.</p>

ПК-3	<p>Готовность осуществлять сбор и анализ информации и проводить проектирование и расчет систем жизнеобеспечения.</p>	<p>знать: основные программные системы компьютерного моделирования;</p> <p>уметь: решать задачи холодильной, криогенной техники и систем жизнеобеспечения с применением программных систем компьютерного моделирования;</p> <p>владеть: навыками построения математических и компьютерных моделей для решения прикладных задач холодильной, криогенной техники и систем жизнеобеспечения.</p>	<p>лекции, семинары и практические занятия, самостоятельная работа</p>	<p>К.Р.</p>	<p>Базовый уровень - способен применять физико-математический аппарат, расчетные методы исследований, методы математического и компьютерного моделирования в процессе профессиональной деятельности;</p> <p>Повышенный уровень - способен решать задачи холодильной, криогенной техники и систем жизнеобеспечения с применением программных систем компьютерного моделирования.</p>
------	--	--	--	-------------	---

** - Сокращения форм оценочных средств см. в приложении 2 к РП.

Перечень оценочных средств по дисциплине «Вычислительная газогидромеханика, теплообмен и компьютерное моделирование»

№ ОС	Наименование оценочного средства	Краткая характеристика оценочного средства	Представление оценочного средства в ФОС
1	Курсовая работа (К.Р.)	Конечный продукт, получаемый в результате планирования и выполнения комплекса учебных и исследовательских заданий. Позволяет оценить умения обучающихся самостоятельно конструировать свои знания в процессе решения практических задач и проблем, ориентироваться в информационном пространстве и уровень сформированности аналитических, исследовательских навыков, навыков практического и творческого мышления. Может выполняться в индивидуальном порядке или группой обучающихся.	Темы групповых и/или индивидуальных работ

Кафедра «Техника низких температур» им. П.Л. Капицы

(наименование кафедры)

<p>ПК-1 готовность использовать нормативную документацию при проектировании низкотемпературных систем</p> <p>ПК-3 Готовность осуществлять сбор и анализ информации и проводить проектирование и расчет систем жизнеобеспечения.</p>					
Контролируемый результат обучения	Контролируемые темы (разделы) дисциплины	Экзамен			
		Критерии оценивания			
		2	3	4	5
<p>- готовность и способность применять физико-математический аппарат, теоретические и расчетные методы исследований, методы математического и компьютерного моделирования в процессе профессиональной деятельности</p>	1-6	<p>Обучающийся демонстрирует полное отсутствие или недостаточное соответствие следующим знаниям: готовность и способность применять физико-математический аппарат, теоретические и расчетные методы исследований, методы математического и компьютерного моделирования в процессе профессиональной деятельности.</p>	<p>Обучающийся демонстрирует неполное соответствие следующим знаниям: готовность и способность применять физико-математический аппарат, теоретические и расчетные методы исследований, методы математического и компьютерного моделирования в процессе профессиональной деятельности. Допускаются значительные ошибки, проявляется недостаточность знаний, по ряду показателей, обучающийся</p>	<p>Обучающийся демонстрирует частичное соответствие следующим знаниям: готовность и способность применять физико-математический аппарат, теоретические и расчетные методы исследований, методы математического и компьютерного моделирования в процессе профессиональной деятельности, но допускаются незначительные ошибки, неточности, затруднения при аналитических операциях.</p>	<p>Обучающийся демонстрирует полное соответствие следующим знаниям: готовность и способность применять физико-математический аппарат, теоретические и расчетные методы исследований, методы математического и компьютерного моделирования в процессе профессиональной деятельности, свободно оперирует приобретенными знаниями.</p>

			испытывает значительные затруднения при оперировании знаниями при их переносе на новые ситуации.		
--	--	--	--	--	--

Вопросы к экзамену

по дисциплине «Вычислительная газогидромеханика, тепломассообмен и компьютерное моделирование»

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.

Форма экзаменационного билета

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

Факультет **Химической технологии и биотехнологии**

полное наименование факультета

Дисциплина по дисциплине **«Вычислительная газогидромеханика,
теплообмен и компьютерное моделирование»**

полное наименование дисциплины

Кафедра **«Техника низких температур» им. П.Л. Капицы**

сокращенное наименование кафедры

Направление подготовки (специальность) **16.04.03 «Холодильная, криогенная техника и системы жизнеобеспечения»**

код и наименование направления подготовки (специальности)

Курс **1**, группа _____, форма обучения **очная**

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 1.

1. Сущность концепции дискретизации дифференциальных уравнений теплообмена и газогидромеханики. Структура дискретного аналога исходного дифференциального уравнения.
2. Получение дискретного аналога исходного дифференциального уравнения теплообмена и газогидромеханики с помощью рядов Тейлора.
3. Правило соответствия потоков на границах контрольного объема при построении дискретных аналогов дифференциальных уравнений теплообмена и газогидродинамики.

Утверждено на заседании кафедры « ___ » _____ 2022 г., протокол № ___.

Зав. кафедрой _____ / Д.А. Некрасов /
подпись *расшифровка*

К комплекту экзаменационных билетов прилагаются разработанные преподавателем и утвержденные на заседании кафедры критерии оценивания по дисциплине.

Кафедра «Техника низких температур» им. П.Л. Капицы

(наименование кафедры)

ПК-1 готовность использовать нормативную документацию при проектировании низкотемпературных систем					
ПК-3 Готовность осуществлять сбор и анализ информации и проводить проектирование и расчет систем жизнеобеспечения.					
Контролируемый результат обучения	Контролируемые темы (разделы) дисциплины	Оценочное средство			
		Критерии оценивания			
		2	3	4	5
- готовность и способность применять физико-математический аппарат, теоретические и расчетные методы исследований, методы математического и компьютерного моделирования в процессе профессиональной деятельности	1-6	Обучающийся демонстрирует полное отсутствие или недостаточное соответствие следующих знаний: готовность и способность применять физико-математический аппарат, теоретические и расчетные методы исследований, методы математического и компьютерного моделирования в процессе профессиональной деятельности.	Обучающийся демонстрирует неполное соответствие следующих знаний: готовность и способность применять физико-математический аппарат, теоретические и расчетные методы исследований, методы математического и компьютерного моделирования в процессе профессиональной деятельности. Допускаются значительные ошибки, проявляется недостаточность знаний, по ряду показателей, обучающийся испытывает	Обучающийся демонстрирует частичное соответствие следующих знаний: готовность и способность применять физико-математический аппарат, теоретические и расчетные методы исследований, методы математического и компьютерного моделирования в процессе профессиональной деятельности, но допускаются незначительные ошибки, неточности, затруднения при аналитических операциях.	Обучающийся демонстрирует полное соответствие следующих знаний: готовность и способность применять физико-математический аппарат, теоретические и расчетные методы исследований, методы математического и компьютерного моделирования в процессе профессиональной деятельности, свободно оперирует приобретенными знаниями.

			значительные затруднения при оперировании знаниями при их переносе на новые ситуации.		
--	--	--	---	--	--

Темы курсовых работ (проектов)

по дисциплине «Вычислительная газогидромеханика, теплообмен и компьютерное моделирование»

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

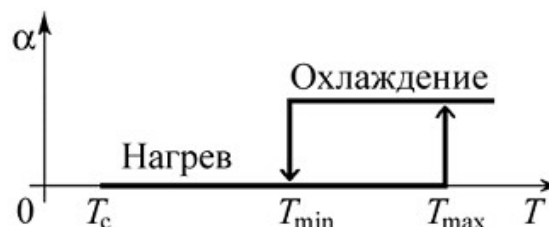
$$cm \frac{dT}{dt} = P - \alpha S (T - T_c),$$

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:

$$\alpha = \begin{cases} \alpha_0, & \text{если } T \leq T_{\min} \text{ или } T < T_{\max} \text{ при } dT/dt > 0, \\ \alpha_1, & \text{если } T \geq T_{\max} \text{ или } T > T_{\min} \text{ при } dT/dt < 0, \end{cases}$$

где α_0 – коэффициент теплоотдачи при выключенном вентиляторе, α_1 – коэффициент теплоотдачи при обдуве (см. рисунок).



Рассчитайте участок зависимости $T(t)$, на котором система охлаждения выходит на установившийся рабочий режим $T_{\min} < T(t) < T_{\max}$.

Параметры радиатора: $c = 920$ Дж/кг·К, $m = 8,45$ кг, $S = 0,44$ м². Начальную температуру радиатора примите равной $T(t=0) = T_c = 303$ К. Прочие данные указаны в таблице.

Результаты расчетов представьте в табличной и графической формах в размерном $\{T = f(t)\}$ и безразмерном $\{\Theta = (T - T_{min}) / (T_{max} - T_{min}) = \varphi(\tau = t \cdot P / c \cdot m \cdot \Delta T)\}$ 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
α_0 , Вт/м ² ·К	8	15	19	12	8	8	18
α_1 , Вт/м ² ·К	80	95	120	90	60	50	115
T _{min} , К	330	340	350	335	345	355	325
T _{max} , К	360	370	370	365	370	380	375

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

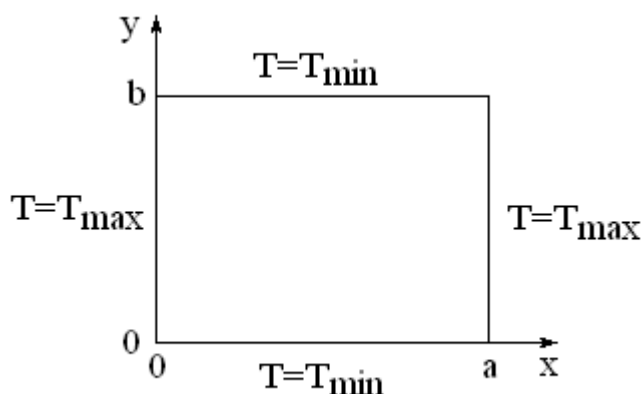
$$\rho C \frac{\partial T}{\partial t} - \text{div}[k \text{grad}(T)] = Q,$$

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 $0 \leq x \leq a, 0 \leq y \leq b$, считая теплофизические свойства материала пластины постоянными. Длина пластины $L=10$ м, ширина пластины $V=2,5$ 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 $\{\Theta = (T - T_{min}) / (T_{max} - T_{min}) = \varphi(\tau = Fo)\}$ виде.

Таблица

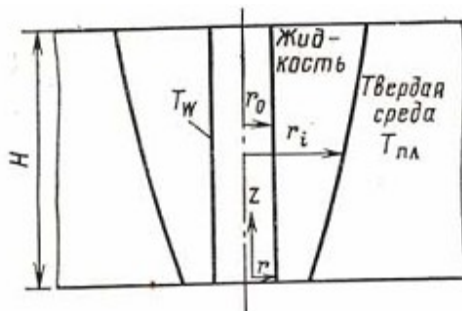
Параметр	Вариант						
	2-1	2-2	2-3	2-4	2-5	2-6	2-7
ρ , кг/м ³	2800	3500	3500	2900	3000	3500	8000
C , Дж/кг·К	880	140	250	300	330	440	520
k , Вт/м·К	80	210	100	75	150	180	35
T _{min} , К	273	283	293	343	303	278	278
T _{max} , К	373	423	393	583	363	413	583



Задание 3. Вертикальная труба радиусом $r_0 = 25$ мм, в которой находится вода с температурой 72°C , окружена бесконечно толстой ледяной рубашкой, высота которой H равна 2 метрам (см. рисунок 2). Температура льда равна 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:

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

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

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

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

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

Задание 5. Цилиндрическое стальное ребро в форме иглы прикреплено к твердой стенке с температурой $T_0=200^{\circ}\text{C}$ и омывается потоком воздуха с температурой $T_{\infty}=30^{\circ}\text{C}$ (см. рисунок). Коэффициент теплоотдачи от ребра к воздуху $\alpha=75 \text{ Вт/м}^2\cdot\text{К}$. Коэффициент теплопроводности ребра $\lambda=45 \text{ Вт/м}\cdot\text{К}$. Разделить ребро на пять частей и при помощи итерационного метода Гаусса-Зейделя (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).

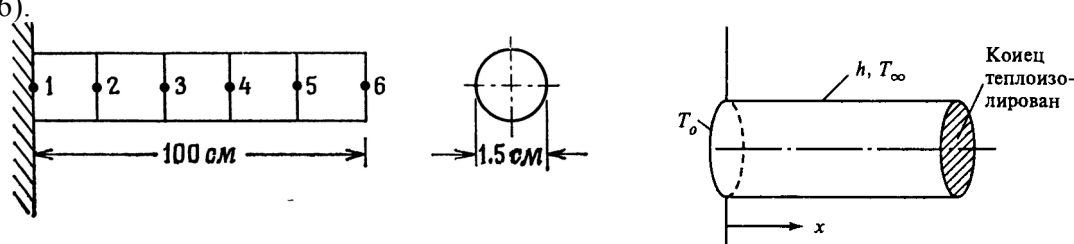


Рисунок.
Указание

1. **Андерсон Д., Таннехилл Дж., Плетчер Р.**

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

2 **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°C . Температура воды на поверхности трубки постоянна и равна минус 10°C . 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;

ρ_f – плотность воды а (1000 кг/м^3);

ρ_1 – плотность льда (917 кг/м^3);

c_{r_f} – теплоемкость воды ($4220 \text{ Дж/кг}\cdot\text{К}$);

c_{r_1} – теплоемкость льда ($2120 \text{ Дж/кг}\cdot\text{К}$);

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

λ_{m_f} – теплопроводность воды (0.57 Вт/м К);

λ_{m_1} – 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

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

Коэффициент теплопроводности $\lambda(T)$:

$$\text{Lam}_{i,j} = \begin{cases} \text{Lam}_f - & \text{при } T > T_0 = 273,15 \\ \text{Lam}_l - & \text{при } T < T_0 = 273,15 \end{cases}$$

Для сглаживания скачка теплопроводности использовать средние:

$$\text{Lam}_{i+1/2,j} = \frac{2 \cdot \text{Lam}_{i+1,j} \cdot \text{Lam}_{i,j}}{\text{Lam}_{i+1,j} + \text{Lam}_{i,j}}$$

$$\text{Lam}_{i-1/2,j} = \frac{2 \cdot \text{Lam}_{i-1,j} \cdot \text{Lam}_{i,j}}{\text{Lam}_{i-1,j} + \text{Lam}_{i,j}}$$

$$\text{Lam}_{i,j+1/2} = \frac{2 \cdot \text{Lam}_{i,j+1/2} \cdot \text{Lam}_{i,j}}{\text{Lam}_{i,j+1/2} + \text{Lam}_{i,j}}$$

$$\text{Lam}_{i,j-1/2} = \frac{2 \cdot \text{Lam}_{i,j-1/2} \cdot \text{Lam}_{i,j}}{\text{Lam}_{i,j-1/2} + \text{Lam}_{i,j}}$$

Новое распределение температуры получают численно с независимым шагом $dt \leq d\tau$.

Решение задачи представить в безразмерном виде.

Методические рекомендации по выполнению курсовых работ (проектов)

Использовать конспект лекций и указания для каждого варианта.