

Министерство науки и высшего образования РФ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Национальный исследовательский университет «МЭИ»

Направление подготовки/специальность: 14.04.01 Ядерная энергетика и теплофизика

Наименование образовательной программы: Физика и техника низких температур

Уровень образования: высшее образование - магистратура

Форма обучения: Очная

Рабочая программа дисциплины
АЛГОРИТМЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНЫХ
ПРОЦЕССОВ

| | |
|--|---|
| Блок: | Блок 1 «Дисциплины (модули)» |
| Часть образовательной программы: | Часть, формируемая участниками образовательных отношений |
| № дисциплины по учебному плану: | Б1.Ч.05 |
| Трудоемкость в зачетных единицах: | 3 семестр - 4; |
| Часов (всего) по учебному плану: | 144 часа |
| Лекции | 3 семестр - 32 часа; |
| Практические занятия | 3 семестр - 16 часов; |
| Лабораторные работы | не предусмотрено учебным планом |
| Консультации | 3 семестр - 2 часа; |
| Самостоятельная работа | 3 семестр - 93,5 часа; |
| в том числе на КП/КР | не предусмотрено учебным планом |
| Иная контактная работа | проводится в рамках часов аудиторных занятий |
| включая: Индивидуальный проект Контрольная работа | |
| Промежуточная аттестация: | |
| Экзамен | 3 семестр - 0,5 часа; |

Москва 2026

ПРОГРАММУ СОСТАВИЛ:

Преподаватель

| | | |
|--|--|------------------------------|
| | Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» | |
| | Сведения о владельце ЦЭП МЭИ | |
| | Владелец | Дергунов И.М. |
| | Идентификатор | Rffe7f67-DergunovIM-a272426c |

И.М. Дергунов

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель
образовательной программы

| | | |
|--|--|------------------------------|
| | Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» | |
| | Сведения о владельце ЦЭП МЭИ | |
| | Владелец | Крюков А.П. |
| | Идентификатор | R9b81f956-KryukovAP-8dacf4ed |

А.П. Крюков

Заведующий выпускающей
кафедрой

| | | |
|--|--|---------------------------|
| | Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» | |
| | Сведения о владельце ЦЭП МЭИ | |
| | Владелец | Пузина Ю.Ю. |
| | Идентификатор | Re86e9a56-Puzina-4d2acad1 |

Ю.Ю. Пузина

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Цель освоения дисциплины: изучение основных методов проведения численного эксперимента с целью определения характеристик процессов в низкотемпературном оборудовании: стационарные и нестационарные течение газов и жидкостей, теплообмен, в том числе с фазовыми переходами..

Задачи дисциплины

- освоение основных методов проведения численных экспериментов;;
- изучение особенности современных методов моделирования процессов, связанных с течениями жидкостей и газов.;
- овладение приемами использования современных программных средств для проведения промышленного моделирования.

Формируемые у обучающегося **компетенции** и запланированные **результаты обучения** по дисциплине, соотнесенные с **индикаторами достижения компетенций**:

| Код и наименование компетенции | Код и наименование индикатора достижения компетенции | Запланированные результаты обучения |
|--|--|---|
| ПК-1 Способен анализировать и моделировать физические процессы в элементах энергетического оборудования | ИД-2ПК-1 Владеет навыками расчета теплогидравлических процессов в элементах энергетического оборудования, навыки постобработки результатов расчетов и компьютерного моделирования этих процессов | знать: - основные источники научно-технической информации по проведению численного эксперимента; - основные источники научно-технической информации по технике проведения численного моделирования. |
| ПК-3 Готов самостоятельно определять направление и характер проводимых исследований, учитывать современные тенденции развития низкотемпературной техники | ИД-2ПК-3 Знает основные направления развития и современные тенденции при расчете и анализе эффективности низкотемпературных установках | уметь: - анализировать информацию о новых методах проведения численного моделирования.. |
| РПК-2 Способен владеть расчетно-теоретическими и экспериментальными методами исследования теплогидравлических процессов в энергетическом оборудовании | ИД-1РПК-2 Способен применять современную экспериментальную технику и методы в теплофизических исследованиях | уметь: - использовать современные информационные технологии на уровне пользователя для решения задач проектирования разнообразных аппаратов в низкотемпературных установках и системах. |

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ ВО

Дисциплина относится к основной профессиональной образовательной программе Физика и техника низких температур (далее – ОПОП), направления подготовки 14.04.01 Ядерная энергетика и теплофизика, уровень образования: высшее образование - магистратура.

Требования к входным знаниям и умениям:

- знать основные источники научно-технической информации по проведению численного эксперимента
- знать основные источники научно-технической информации по технике проведения численного моделирования
- уметь использовать современные информационные технологии на уровне пользователя для решения задач проектирования разнообразных аппаратов в низкотемпературных установках и системах
- уметь анализировать информацию о новых методах проведения численного моделирования.

Результаты обучения, полученные при освоении дисциплины, необходимы при выполнении выпускной квалификационной работы.

3. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

3.1 Структура дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 4 зачетных единицы, 144 часа.

| № п/п | Разделы/темы дисциплины/формы промежуточной аттестации | Всего часов на раздел | Семестр | Распределение трудоемкости раздела (в часах) по видам учебной работы | | | | | | | | | | Содержание самостоятельной работы/ методические указания | | |
|-------|--|-----------------------|---------|--|-----|----|--------------|---|-----|----|----|-------------------|-----------------------------------|--|--|--|
| | | | | Контактная работа | | | | | | | СР | | | | | |
| | | | | Лек | Лаб | Пр | Консультация | | ИКР | | ПА | Работа в семестре | Подготовка к аттестации /контроль | | | |
| КПР | ГК | ИККП | ТК | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | | |
| 1 | Введение в предмет курса | 1 | 3 | 1 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | <u>Изучение материалов литературных источников:</u> [2], 3-15 [3], 6-17 | | |
| 1.1 | Введение в предмет курса | 1 | | 1 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | | | |
| 2 | Моделирование теплообмена | 1 | | 1 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | | <u>Изучение материалов литературных источников:</u> [2], 201-250 [3], 26-38 | |
| 2.1 | Моделирование теплообмена | 1 | | 1 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | | | |
| 3 | Моделирование нестационарных процессов | 8 | | 8 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | | <u>Изучение материалов литературных источников:</u> [2], 180-201 [3], 38-39 | |
| 3.1 | Моделирование нестационарных процессов | 8 | | 8 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | | | |
| 4 | Моделирование многофазных течений | 2 | | 2 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | | <u>Изучение материалов литературных источников:</u> [2], 270-320 [3], 29-38 | |
| 4.1 | Моделирование многофазных течений | 2 | | 2 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | | | |
| 5 | Моделирование заполнения и откачки сосудов | 20 | | 6 | - | 4 | - | - | - | - | - | - | 10 | | - | <u>Изучение материалов литературных источников:</u> [1], 50-68 |
| 5.1 | Моделирование заполнения и откачки сосудов | 20 | | 6 | - | 4 | - | - | - | - | - | - | 10 | | - | |
| 6 | Течение в обогреваемых каналах | 20 | 6 | - | 4 | - | - | - | - | - | - | 10 | - | <u>Изучение материалов литературных источников:</u> [1], 112-154 | | |
| 6.1 | Течение в | 20 | 6 | - | 4 | - | - | - | - | - | - | 10 | - | | | |

| | | | | | | | | | | | | | |
|-----|--|--------------|-----------|----------|-----------|----------|----------|----------|------------|------------|-------------|-------------|--|
| | обогреваемых каналах | | | | | | | | | | | | |
| 7 | Моделирование кипения криогенной жидкости в канале | 30 | 6 | - | 4 | - | - | - | - | - | 20 | - | <u>Изучение материалов литературных источников:</u> [1], 257-351 [3], 29-38 |
| 7.1 | Моделирование кипения криогенной жидкости в канале | 30 | 6 | - | 4 | - | - | - | - | - | 20 | - | |
| 8 | Моделирование хранения жидкости в сосуде Дьюара | 26 | 2 | - | 4 | - | - | - | - | - | 20 | - | <u>Изучение материалов литературных источников:</u> [1], 300-351 |
| 8.1 | Моделирование хранения жидкости в сосуде Дьюара | 26 | 2 | - | 4 | - | - | - | - | - | 20 | - | |
| | Экзамен | 36.0 | - | - | - | - | 2 | - | - | 0.5 | - | 33.5 | |
| | Всего за семестр | 144.0 | 32 | - | 16 | - | 2 | - | - | 0.5 | 60 | 33.5 | |
| | Итого за семестр | 144.0 | 32 | - | 16 | 2 | - | - | 0.5 | 60 | 93.5 | | |

Примечание: Лек – лекции; Лаб – лабораторные работы; Пр – практические занятия; КПП – аудиторные консультации по курсовым проектам/работам; ИККП – индивидуальные консультации по курсовым проектам/работам; ГК- групповые консультации по разделам дисциплины; СР – самостоятельная работа студента; ИКР – иная контактная работа; ТК – текущий контроль; ПА – промежуточная аттестация

3.2 Краткое содержание разделов

1. Введение в предмет курса

1.1. Введение в предмет курса

Основные физические процессы в низкотемпературных системах. Применяемые физические модели..

2. Моделирование теплообмена

2.1. Моделирование теплообмена

Моделирование основных механизмов передачи тепла: теплопроводность, вынужденная и естественная конвекция, излучение. Моделирование сложного теплообмена..

3. Моделирование нестационарных процессов

3.1. Моделирование нестационарных процессов

Нестационарные (переходные) процессы в низкотемпературной технике. Особенности задания начальных и граничных условий. Оценка шага по времени. Анализ и визуализация нестационарных процессов. Задачи, имеющие решение только в нестационарной постановке..

4. Моделирование многофазных течений

4.1. Моделирование многофазных течений

Определение многофазных течений. Подходы к математическому описанию многофазных течений. Основные физические модели: Volume-of-fluid, эйлеровская, модель смеси. Постановка задач и обработка результатов в ANSYS Fluent..

5. Моделирование заполнения и откачки сосудов

5.1. Моделирование заполнения и откачки сосудов

Постановка задачи откачки сосуда. Использование Fluent Expression Language для задания граничных условий. Управление сходимостью задач..

6. Течение в обогреваемых каналах

6.1. Течение в обогреваемых каналах

Пример задачи течения в обогреваемой трубе. Профили скорости и параметров турбулентности. Определение времени заполнения трубы жидкостью..

7. Моделирование кипения криогенной жидкости в канале

7.1. Моделирование кипения криогенной жидкости в канале

Модель кипения жидкости с недогревом Boiling RPI. Пример задачи о кипении жидкости в обогреваемой трубе..

8. Моделирование хранения жидкости в сосуде Дьюара

8.1. Моделирование хранения жидкости в сосуде Дьюара

Пример задачи о хранении криогенной жидкости в сосуде Дьюара с учетом внешнего теплопритока и многофазности..

3.3. Темы практических занятий

1. Моделирование жидкости в сосуде Дьюара;
2. Моделирование заполнения и откачки сосудов;
3. Моделирование кипения в канале;
4. Моделирование течения в обогреваемом канале. Способы учета стенок канала.

3.4. Темы лабораторных работ не предусмотрено

3.5 Консультации

3.6 Тематика курсовых проектов/курсовых работ Курсовой проект/ работа не предусмотрены

3.7. Соответствие разделов дисциплины и формируемых в них компетенций

| Запланированные результаты обучения по дисциплине (в соответствии с разделом 1) | Коды индикаторов | Номер раздела дисциплины (в соответствии с п.3.1) | | | | | | | | Оценочное средство (тип и наименование) |
|---|------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | |
| Знать: | | | | | | | | | | |
| основные источники научно-технической информации по технике проведения численного моделирования | ИД-2ПК-1 | + | | | | | + | | | Индивидуальный проект/Моделирование заполнения и откачки сосудов |
| основные источники научно-технической информации по проведению численного эксперимента | ИД-2ПК-1 | + | | | | | + | | | Индивидуальный проект/Моделирование течения в обогреваемом канале |
| Уметь: | | | | | | | | | | |
| анализировать информацию о новых методах проведения численного моделирования. | ИД-2ПК-3 | | | | | + | + | + | + | Контрольная работа/Моделирование жидкости в сосуде Дьюара |
| использовать современные информационные технологии на уровне пользователя для решения задач проектирования разнообразных аппаратов в низкотемпературных установках и системах | ИД-1РПК-2 | + | + | + | + | | | | | Индивидуальный проект/Моделирование кипения в канале |

4. КОМПЕТЕНТНОСТНО-ОРИЕНТИРОВАННЫЕ ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ КОНТРОЛЯ ОСВОЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (ТЕКУЩИЙ КОНТРОЛЬ УСПЕВАЕМОСТИ, ПРОМЕЖУТОЧНАЯ АТТЕСТАЦИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ)

4.1. Текущий контроль успеваемости

3 семестр

Форма реализации: Компьютерное задание

1. Моделирование жидкости в сосуде Дьюара (Контрольная работа)
2. Моделирование заполнения и откачки сосудов (Индивидуальный проект)
3. Моделирование кипения в канале (Индивидуальный проект)
4. Моделирование течения в обогреваемом канале (Индивидуальный проект)

Балльно-рейтинговая структура дисциплины является приложением А.

4.2 Промежуточная аттестация по дисциплине

Экзамен (Семестр №3)

В диплом выставляется оценка за 3 семестр.

Примечание: Оценочные материалы по дисциплине приведены в фонде оценочных материалов ОПОП.

5. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

5.1 Печатные и электронные издания:

1. Чигарев, А. В. ANSYS для инженеров : Справочное пособие / А. В. Чигарев, А. С. Кравчук, А. Ф. Смалюк. – М. : Машиностроение, 2004. – 512 с. – ISBN 5-942750-48-3.;
2. Басов К. А.- "ANSYS: справочник пользователя", Издательство: "ДМК Пресс", Москва, 2008 - (640 с.)
[http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_cid=25&pl1_id=1335;](http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_cid=25&pl1_id=1335)
3. Дергунов, И. М. Основы моделирования гидрогазодинамики и теплообмена в низкотемпературных устройствах в программе ANSYS Fluent : учебное пособие по курсам "Численные методы в механике сплошных сред" и "Алгоритмы моделирования низкотемпературных процессов" по направлению 14.04.01 "Ядерная энергетика и теплофизика", специальности "Физика и техника низких температур", "Наноматериалы и нанотехнологии в энергетике" / И. М. Дергунов, А. А. Сидоров, Нац. исслед. ун-т "МЭИ" (НИУ"МЭИ"). – Москва : Изд-во МЭИ, 2023. – 144 с. – ISBN 978-5-7046-2778-4.
[http://elib.mpei.ru/elib/view.php?id=12486.](http://elib.mpei.ru/elib/view.php?id=12486)

5.2 Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение:

1. Windows / Операционная система семейства Linux;
2. Ansys / CAE Fidesys.

5.3 Интернет-ресурсы, включая профессиональные базы данных и информационно-справочные системы:

1. База данных Web of Science - <http://webofscience.com/>
2. База данных Scopus - <http://www.scopus.com>

6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

| Тип помещения | Номер аудитории, наименование | Оснащение |
|---|---|---|
| Учебные аудитории для проведения лекционных занятий и текущего контроля | М-409/2, Аудитория каф. "НТ" | стол преподавателя, стол, доска меловая, мультимедийный проектор |
| | М-422/4, Учебная лаборатория криофизики | стол, стул, мультимедийный проектор |
| | М-412, Учебная аудитория | стеллаж для хранения книг, стол, стул, мультимедийный проектор, доска маркерная |
| | Ж-120, Машинный зал ИВЦ | сервер, кондиционер |
| Учебные аудитории для проведения практических занятий, КР и КП | М-409/2, Аудитория каф. "НТ" | стол преподавателя, стол, доска меловая, мультимедийный проектор |
| | М-411/1, Компьютерный класс | стол, стул, доска меловая, мультимедийный проектор, компьютер персональный |
| | М-422/4, Учебная лаборатория криофизики | стол, стул, мультимедийный проектор |
| | М-412, Учебная аудитория | стеллаж для хранения книг, стол, стул, мультимедийный проектор, доска маркерная |
| | Ж-120, Машинный зал ИВЦ | сервер, кондиционер |
| Учебные аудитории для проведения промежуточной аттестации | М-409/2, Аудитория каф. "НТ" | стол преподавателя, стол, доска меловая, мультимедийный проектор |
| | М-411/1, Компьютерный класс | стол, стул, доска меловая, мультимедийный проектор, компьютер персональный |
| | М-422/4, Учебная лаборатория криофизики | стол, стул, мультимедийный проектор |
| | М-412, Учебная аудитория | стеллаж для хранения книг, стол, стул, мультимедийный проектор, доска маркерная |
| | Ж-120, Машинный зал ИВЦ | сервер, кондиционер |
| Помещения для самостоятельной работы | М-411/1, Компьютерный класс | стол, стул, доска меловая, мультимедийный проектор, компьютер персональный |
| Помещения для консультирования | М-402, Аудитория каф. "НТ" | стеллаж для хранения книг, стул, стол письменный |
| Помещения для хранения оборудования и учебного инвентаря | М-407/1, Кладовая | стеллаж для хранения инвентаря, стеллаж для хранения книг, инвентарь специализированный |

БАЛЛЬНО-РЕЙТИНГОВАЯ СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ**Алгоритмы моделирования низкотемпературных процессов**

(название дисциплины)

3 семестр**Перечень контрольных мероприятий текущего контроля успеваемости по дисциплине:**

- КМ-1 Моделирование заполнения и откачки сосудов (Индивидуальный проект)
 КМ-2 Моделирование течения в обогреваемом канале (Индивидуальный проект)
 КМ-3 Моделирование кипения в канале (Индивидуальный проект)
 КМ-4 Моделирование жидкости в сосуде Дьюара (Контрольная работа)

Вид промежуточной аттестации – Экзамен.

| Номер раздела | Раздел дисциплины | Индекс КМ: | КМ-1 | КМ-2 | КМ-3 | КМ-4 |
|---------------|--|------------|------|------|------|------|
| | | Неделя КМ: | 10 | 12 | 14 | 16 |
| 1 | Введение в предмет курса | | | | | |
| 1.1 | Введение в предмет курса | | + | + | + | |
| 2 | Моделирование теплообмена | | | | | |
| 2.1 | Моделирование теплообмена | | | | + | |
| 3 | Моделирование нестационарных процессов | | | | | |
| 3.1 | Моделирование нестационарных процессов | | | | + | |
| 4 | Моделирование многофазных течений | | | | | |
| 4.1 | Моделирование многофазных течений | | | | + | |
| 5 | Моделирование заполнения и откачки сосудов | | | | | |
| 5.1 | Моделирование заполнения и откачки сосудов | | | | | + |
| 6 | Течение в обогреваемых каналах | | | | | |
| 6.1 | Течение в обогреваемых каналах | | + | + | | + |
| 7 | Моделирование кипения криогенной жидкости в канале | | | | | |
| 7.1 | Моделирование кипения криогенной жидкости в канале | | | | | + |
| 8 | Моделирование хранения жидкости в сосуде Дьюара | | | | | |

| | | | | | |
|------------|---|----|----|----|----|
| 8.1 | Моделирование хранения жидкости в сосуде Дьюара | | | | + |
| Вес КМ, %: | | 25 | 25 | 25 | 25 |