

**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**

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

**Москва 2025**

**ПРОГРАММУ СОСТАВИЛ:**

Преподаватель

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Дергунов И.М.
	Идентификатор	Rfffe7f67-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-2 <sub>ПК-1</sub> 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-2 <sub>ПК-3</sub> 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-1 <sub>РПК-2</sub> 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	-	-	-	-	-	-	-	-	-	<b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [2], 3-15 [3], 6-17	
1.1	Введение в предмет курса	1		1	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
2	Моделирование теплообмена	1		1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	<b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [2], 201-250 [3], 26-38	
2.1	Моделирование теплообмена	1		1	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
3	Моделирование нестационарных процессов	8		8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	<b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [2], 180-201 [3], 38-39	
3.1	Моделирование нестационарных процессов	8		8	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
4	Моделирование многофазных течений	2		2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	<b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [2], 270-320 [3], 29-38	
4.1	Моделирование многофазных течений	2		2	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
5	Моделирование заполнения и откачки сосудов	20		6	-	4	-	-	-	-	-	-	10	-	<b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [1], 50-68
5.1	Моделирование заполнения и откачки сосудов	20		6	-	4	-	-	-	-	-	-	10	-	
6	Течение в обогреваемых каналах	20	6	-	4	-	-	-	-	-	-	10	-	<b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [1], 112-154	
6.1	Течение в	20	6	-	4	-	-	-	-	-	-	10	-		

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

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

### **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	
<b>Знать:</b>										
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
<b>Уметь:</b>										
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