

**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**

**Оценочные материалы  
по дисциплине  
Алгоритмы моделирования низкотемпературных процессов**

**Москва  
2023**

## ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ РАЗРАБОТАЛ:

Преподаватель

(должность)

|  |                                                    |                               |
|--|----------------------------------------------------|-------------------------------|
|  | Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» |                               |
|  | Сведения о владельце ЦЭП МЭИ                       |                               |
|  | Владелец                                           | Дергунов И.М.                 |
|  | Идентификатор                                      | Rfffe7f67-DergunovIM-a272426c |

(подпись)

И.М.

Дергунов

(расшифровка  
подписи)

## СОГЛАСОВАНО:

Руководитель  
образовательной  
программы

(должность, ученая степень, ученое  
звание)

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

(подпись)

А.П. Крюков

(расшифровка  
подписи)

Заведующий  
выпускающей кафедры

(должность, ученая степень, ученое  
звание)

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

(подпись)

Ю.Ю.

Пузина

(расшифровка  
подписи)

## ОБЩАЯ ЧАСТЬ

Оценочные материалы по дисциплине предназначены для оценки: достижения обучающимися запланированных результатов обучения по дисциплине, этапа формирования запланированных компетенций и уровня освоения дисциплины.

Оценочные материалы по дисциплине включают оценочные средства для проведения мероприятий текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации.

Формируемые у обучающегося компетенции:

1. ПК-1 Способен анализировать и моделировать физические процессы в элементах энергетического оборудования

ИД-2 Владеет навыками расчета теплогидравлических процессов в элементах энергетического оборудования, навыки постобработки результатов расчетов и компьютерного моделирования этих процессов

2. ПК-3 Готов самостоятельно определять направление и характер проводимых исследований, учитывать современные тенденции развития низкотемпературной техники

ИД-2 Знает основные направления развития и современные тенденции при расчете и анализе эффективности низкотемпературных установках

и включает:

**для текущего контроля успеваемости:**

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)

## БРС дисциплины

3 семестр

| Раздел дисциплины                      | Веса контрольных мероприятий, % |      |      |      |      |
|----------------------------------------|---------------------------------|------|------|------|------|
|                                        | Индекс КМ:                      | КМ-1 | КМ-2 | КМ-3 | КМ-4 |
|                                        | Срок КМ:                        | 10   | 12   | 14   | 16   |
| Введение в предмет курса               |                                 |      |      |      |      |
| Введение в предмет курса               |                                 | +    | +    | +    |      |
| Моделирование теплообмена              |                                 |      |      |      |      |
| Моделирование теплообмена              |                                 |      |      | +    |      |
| Моделирование нестационарных процессов |                                 |      |      |      |      |
| Моделирование нестационарных процессов |                                 |      |      | +    |      |
| Моделирование многофазных течений      |                                 |      |      |      |      |

|                                                    |    |    |    |    |
|----------------------------------------------------|----|----|----|----|
| Моделирование многофазных течений                  |    |    | +  |    |
| Моделирование заполнения и откачки сосудов         |    |    |    |    |
| Моделирование заполнения и откачки сосудов         |    |    |    | +  |
| Течение в обогреваемых каналах                     |    |    |    |    |
| Течение в обогреваемых каналах                     | +  | +  |    | +  |
| Моделирование кипения криогенной жидкости в канале |    |    |    |    |
| Моделирование кипения криогенной жидкости в канале |    |    |    | +  |
| Моделирование хранения жидкости в сосуде Дьюара    |    |    |    |    |
| Моделирование хранения жидкости в сосуде Дьюара    |    |    |    | +  |
| Вес КМ:                                            | 25 | 25 | 25 | 25 |

\$Общая часть/Для промежуточной аттестации\$

## СОДЕРЖАНИЕ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ

### *I. Оценочные средства для оценки запланированных результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с индикаторами достижения компетенций*

| Индекс компетенции | Индикатор                                                                                                                                                                                                    | Запланированные результаты обучения по дисциплине                                                                                                                                                                                                                        | Контрольная точка                                                                                                                         |
|--------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ПК-1               | 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:<br>основные источники научно-технической информации по технике проведения численного моделирования<br>основные источники научно-технической информации по проведению численного эксперимента                                                                      | Моделирование заполнения и откачки сосудов (Индивидуальный проект)<br>Моделирование течения в обогреваемом канале (Индивидуальный проект) |
| ПК-3               | ИД-2 <sub>ПК-3</sub> Знает основные направления развития и современные тенденции при расчете и анализе эффективности низкотемпературных установках                                                           | Уметь:<br>использовать современные информационные технологии на уровне пользователя для решения задач проектирования разнообразных аппаратов в низкотемпературных установках и системах<br>анализировать информацию о новых методах проведения численного моделирования. | Моделирование кипения в канале (Индивидуальный проект)<br>Моделирование жидкости в сосуде Дьюара (Контрольная работа)                     |

## **II. Содержание оценочных средств. Шкала и критерии оценивания**

### **КМ-1. Моделирование заполнения и откачки сосудов**

**Формы реализации:** Компьютерное задание

**Тип контрольного мероприятия:** Индивидуальный проект

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 25

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Студенту выдается задание, время на выполнение, затем защита.

#### **Краткое содержание задания:**

Провести двумерное моделирование заполнения и откачки сосуда

#### **Контрольные вопросы/задания:**

|                                                                                                        |                                                                                                                                                                                                                                                             |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Знать: основные источники научно-технической информации по технике проведения численного моделирования | 1.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. |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

#### **Описание шкалы оценивания:**

*Оценка:* зачтено

*Описание характеристики выполнения знания:* Задание выполнено

*Оценка:* не зачтено

*Описание характеристики выполнения знания:* Задание не выполнено

### **КМ-2. Моделирование течения в обогреваемом канале**

**Формы реализации:** Компьютерное задание

**Тип контрольного мероприятия:** Индивидуальный проект

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 25

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Студенту выдается задание, время на выполнение, затем защита.

#### **Краткое содержание задания:**

Провести моделирование течения в обогреваемом канале

#### **Контрольные вопросы/задания:**

|                                                                                               |                                                    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|
| Знать: основные источники научно-технической информации по проведению численного эксперимента | 1.Модель кипения жидкости с недогревом Boiling RPI |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|

#### **Описание шкалы оценивания:**

*Оценка:* зачтено

*Описание характеристики выполнения знания:* Задание выполнено

*Оценка:* не зачтено

*Описание характеристики выполнения знания:* Задание не выполнено

### КМ-3. Моделирование кипения в канале

**Формы реализации:** Компьютерное задание

**Тип контрольного мероприятия:** Индивидуальный проект

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 25

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Студенту выдается задание, время на выполнение, затем защита.

**Краткое содержание задания:**

Провести моделирование кипения в канале

**Контрольные вопросы/задания:**

|                                                                                                                                                                                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Уметь: использовать современные информационные технологии на уровне пользователя для решения задач проектирования разнообразных аппаратов в низкотемпературных установках и системах | <ol style="list-style-type: none"><li>1. Моделирование основных механизмов передачи тепла: теплопроводность, вынужденная и естественная конвекция, излучение. Моделирование сложного теплообмена.</li><li>2. 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.</li><li>3. 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.</li><li>4. Постановка задачи откачки сосуда. Использование Fluent Expression Language для задания граничных условий. Управление сходимостью задач.</li><li>5. Пример задачи течения в обогреваемой трубе. Профили скорости и параметров турбулентности. Определение времени заполнения трубы жидкостью.</li><li>6. Модель кипения жидкости с недогревом Boiling RPI. Пример задачи о кипении жидкости в обогреваемой трубе.</li><li>7. Пример задачи о хранении криогенной жидкости в сосуде Дьюара с учетом внешнего теплопритока и многофазности.</li></ol> |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

**Описание шкалы оценивания:**

*Оценка:* зачтено

*Описание характеристики выполнения знания:* Задание выполнено

*Оценка:* не зачтено

*Описание характеристики выполнения знания:* Задание не выполнено

### КМ-4. Моделирование жидкости в сосуде Дьюара

**Формы реализации:** Компьютерное задание

**Тип контрольного мероприятия:** Контрольная работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 25

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Студенту выдается задание, время на выполнение, затем защита.

**Краткое содержание задания:**

Провести моделирование жидкости в сосуде Дьюара

**Контрольные вопросы/задания:**

|                                                                                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|--------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Уметь: анализировать информацию о новых методах проведения численного моделирования. | <ol style="list-style-type: none"><li>1. Моделирование основных механизмов передачи тепла: теплопроводность, вынужденная и естественная конвекция, излучение. Моделирование сложного теплообмена.</li><li>2. 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.</li><li>3. 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.</li></ol> |
|--------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

**Описание шкалы оценивания:**

*Оценка: зачтено*

*Описание характеристики выполнения знания: Задание выполнено*

*Оценка: не зачтено*

*Описание характеристики выполнения знания: Задание не выполнено*

# СОДЕРЖАНИЕ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

## 3 семестр

**Форма промежуточной аттестации:** Экзамен

### Пример билета

Основные физические процессы в низкотемпературных системах. Применяемые физические модели.

### Процедура проведения

Слепой выбор билета, время на подготовку, ответ

### *1. Перечень компетенций/индикаторов и контрольных вопросов проверки результатов освоения дисциплины*

**1. Компетенция/Индикатор:** ИД-2<sub>ПК-1</sub> Владеет навыками расчета теплогидравлических процессов в элементах энергетического оборудования, навыки постобработки результатов расчетов и компьютерного моделирования этих процессов

### Вопросы, задания

- 1.1. Основные физические процессы в низкотемпературных системах. Применяемые физические модели.
2. Пример задачи о хранении криогенной жидкости в сосуде Дьюара с учетом внешнего теплопритока и многофазности.
  - 2.1. 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.
2. 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.
- 3.1. 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.
2. Пример задачи о хранении криогенной жидкости в сосуде Дьюара с учетом внешнего теплопритока и многофазности.
  - 4.1. Постановка задачи откачки сосуда. Использование Fluent Expression Language для задания граничных условий. Управление сходимостью задач.
2. Пример задачи о хранении криогенной жидкости в сосуде Дьюара с учетом внешнего теплопритока и многофазности.
  - 5.1. Моделирование основных механизмов передачи тепла: теплопроводность, вынужденная и естественная конвекция, излучение. Моделирование сложного теплообмена.
2. Основные физические процессы в низкотемпературных системах. Применяемые физические модели.

### Материалы для проверки остаточных знаний

#### 1. Метод конечных объемов

Ответы:

Устный ответ

Верный ответ: Метод конечных объемов – численный метод, построенный на решении определенной системы уравнений (в зависимости от применения) в каждой ячейке расчетной сетки, т.е. в элементарном объеме.

## 2. Расчетная сетка

Ответы:

Устный ответ

Верный ответ: Расчетная сетка – совокупность элементов, получаемое в результате разбиения тела или поверхности на элементарные элементы или объемы в зависимости от применения. Ячейка – элементарный объем, часть расчетной сетки.

## 3. CFD (Computer Fluid Dynamics)

Ответы:

Устный ответ

Верный ответ: CFD (Computer Fluid Dynamics) – общее название технологии и совокупности методов конечных объемов для расчета гидро- газо- аэродинамики и теплообмена.

## 4. Какого типа бывают солверы?

Ответы:

Устный ответ

Верный ответ: Стационарные и нестационарные, pressure-based, density-based.

## 5. Какие бывают сеточные элементы?

Ответы:

Устный ответ

Верный ответ: Гексакогнальные, тетраэдрические, полиэдрические и пр.

**2. Компетенция/Индикатор:** ИД-2ПК-3 Знает основные направления развития и современные тенденции при расчете и анализе эффективности низкотемпературных установках

## Вопросы, задания

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

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

2.1. 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.

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

3.1. 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.

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

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

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

5.1. 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.

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

### **Материалы для проверки остаточных знаний**

#### **1.Метод конечных элементов**

Ответы:

Устный ответ

Верный ответ: Метод конечных элементов – численный метод, построенный на решении определенной системы уравнений (в зависимости от применения) в каждой ячейке поверхностной сетки.

#### **2.Пакет**

Ответы:

Устный ответ

Верный ответ: Пакет – программное обеспечение, позволяющее использовать конкретные методы для решения определенного круга задач, в том числе и междисциплинарных

#### **3.Решатель (солвер, solver)**

Ответы:

Устный ответ

Верный ответ: Решатель (солвер, solver) – графическая оболочка пакета, позволяющая настроить математическую модель: выбрать тип решателя (однокомпонентный, многокомпонентный) выбрать модели турбулентности, подключить уравнения энергии, задать рабочие жидкости, задать граничные и начальные условия и т.д.

#### **4.Для чего применяется метод VOF**

Ответы:

Устный ответ

Верный ответ: для моделирования многофазных потоков в односкоростной и однотемпературной постановках.

#### **5.Основные типы граничных условий в пакете Ansys Fluent**

Ответы:

Устный ответ

Верный ответ: Inlet/outlet: pressure, velocity, mass-flow, и т.д.

### **II. Описание шкалы оценивания**

Оценка: 5

Нижний порог выполнения задания в процентах: 80

Описание характеристики выполнения знания: даны ответы на оба вопроса

Оценка: 4

Нижний порог выполнения задания в процентах: 60

Описание характеристики выполнения знания: Дан полный ответ на один вопрос и частичный на второй

Оценка: 3

Нижний порог выполнения задания в процентах: 50

Описание характеристики выполнения знания: Дан ответ только на один ответ

### **III. Правила выставления итоговой оценки по курсу**