

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

**Направление подготовки/специальность: 14.03.01 Ядерная энергетика и теплофизика**

**Наименование образовательной программы: Термоядерные реакторы и плазменные установки**

**Уровень образования: высшее образование - бакалавриат**

**Форма обучения: Очная**

**Оценочные материалы  
по дисциплине  
Методы инженерных расчетов**

**Москва  
2023**

## ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ РАЗРАБОТАЛ:

Преподаватель  
(должность)

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Вершинина Ю.В.
	Идентификатор	Rf52fe8a1-SmorchkovaYV-ce7575e

(подпись)

Ю.В.  
Вершинина  
(расшифровка  
подписи)

## СОГЛАСОВАНО:

Руководитель  
образовательной  
программы

(должность, ученая степень, ученое  
звание)

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Дедов А.В.
	Идентификатор	R72c90f41-DedovAV-d71cc7f4

(подпись)

А.В. Дедов  
(расшифровка  
подписи)

Заведующий  
выпускающей кафедры

(должность, ученая степень, ученое  
звание)

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Дедов А.В.
	Идентификатор	R72c90f41-DedovAV-d71cc7f4

(подпись)

А.В. Дедов  
(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-3 Способен к участию в лабораторном и численном эксперименте, обработке опытных данных

ИД-5 Владеет навыками выполнения расчетов гидродинамики и теплообмена с использованием современных программных средств

и включает:

**для текущего контроля успеваемости:**

Форма реализации: Компьютерное задание

1. КМ-3 (Расчетно-графическая работа)
2. КМ-4 (Расчетно-графическая работа)

Форма реализации: Устная форма

1. КМ-1 (Тестирование)
2. КМ-2 (Тестирование)

### БРС дисциплины

7 семестр

Раздел дисциплины	Веса контрольных мероприятий, %				
	Индекс КМ:	КМ-1	КМ-2	КМ-3	КМ-4
	Срок КМ:	4	8	12	16
Архитектура современных CFD кодов. Общие принципы использования программных комплексов для инженерного анализа задач гидродинамики и теплообмена					
Архитектура современных CFD кодов. Общие принципы использования программных комплексов для инженерного анализа задач гидродинамики и теплообмена	+				
Математическое описание процессов гидродинамики и теплообмена					
Математическое описание процессов гидродинамики и теплообмена			+		
Постановка задачи. Создание геометрии расчетной области и расчетной сетки					
Постановка задачи. Создание геометрии расчетной области и расчетной сетки				+	
Решение задачи. Визуализация и анализ полученных результатов численного моделирование гидродинамики и теплообмена					

Решение задачи. Визуализация и анализ полученных результатов численного моделирование гидродинамики и теплообмена				+
Вес КМ:	20	20	30	30

\$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-3	ИД-5 <sub>ПК-3</sub> Владеет навыками выполнения расчетов гидродинамики и теплообмена с использованием современных программных средств	<p>Знать:</p> <p>Принципы использования программных комплексов для инженерного анализа задач гидродинамики и теплообмена</p> <p>Математические модели типовых задач гидродинамики и теплообмена</p> <p>Уметь:</p> <p>Выполнять численное моделирование гидродинамики и теплообмена в различных устройствах с помощью современных программных комплексов</p> <p>Визуализировать и анализировать полученные результаты численного моделирования гидродинамики и теплообмена</p>	<p>КМ-1 (Тестирование)</p> <p>КМ-2 (Тестирование)</p> <p>КМ-3 (Расчетно-графическая работа)</p> <p>КМ-4 (Расчетно-графическая работа)</p>

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

### КМ-1. КМ-1

**Формы реализации:** Устная форма

**Тип контрольного мероприятия:** Тестирование

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 20

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Студент получает вариант с заданием и отвечает на вопросы.

#### Краткое содержание задания:

Проверка знаний принципов использования программных комплексов для инженерного анализа задач гидродинамики и теплообмена

#### Контрольные вопросы/задания:

Знать: Принципы использования программных комплексов для инженерного анализа задач гидродинамики и теплообмена	<ol style="list-style-type: none"><li>1. Сформулируйте основные этапы численного решения задачи гидродинамики и теплообмена</li><li>2. Как можно упростить геометрию задачи</li><li>3. В чем преимущества и недостатки численного моделирования перед натурным экспериментом</li><li>4. Что необходимо определить перед построением сетки контрольных объемов?</li><li>5. Какие программные комплексы для численного решения задач гидродинамики и теплообмена Вам известны? В чем их преимущества и недостатки?</li></ol>
--	--

#### Описание шкалы оценивания:

*Оценка: 5*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 80*

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка "отлично" выставляется если задание выполнено в полном объеме или выполнено преимущественно верно

*Оценка: 4*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 70*

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка "хорошо" выставляется если большинство вопросов раскрыто. выбрано верное направление для решения задач

*Оценка: 3*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 60*

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка "удовлетворительно" выставляется если задание преимущественно выполнено

### КМ-2. КМ-2

**Формы реализации:** Устная форма

**Тип контрольного мероприятия:** Тестирование

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 20

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Студент получает задание, выполняет его на компьютере и сдает преподавателю.

#### Краткое содержание задания:

Проверка знаний принципов использования программных комплексов для инженерного анализа задач гидродинамики и теплообмен

**Контрольные вопросы/задания:**

Знать: Математические модели типовых задач гидродинамики и теплообмена	<ol style="list-style-type: none"><li>1. Назовите основные уравнения, входящие в математическую модель</li><li>2. Какие сложности возникают при моделировании турбулентных течений?</li><li>3. Назовите известные Вам модели турбулентности, их преимущества и недостатки.</li><li>4. Какие граничные и начальные условия для задач гидродинамики и теплообмена необходимо задать.</li><li>5. Какой метод численного решения дифференциальных уравнений сохранения используется в программных комплексах вычислительной гидродинамики?</li></ol>
--	--

**Описание шкалы оценивания:**

*Оценка: 5*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 80*

*Описание характеристики выполнения знания: Оценка "отлично" выставляется если задание выполнено в полном объеме или выполнено преимущественно верно*

*Оценка: 4*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 70*

*Описание характеристики выполнения знания: Оценка "хорошо" выставляется если большинство вопросов раскрыто. выбрано верное направление для решения задач*

*Оценка: 3*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 60*

*Описание характеристики выполнения знания: Оценка "удовлетворительно" выставляется если задание преимущественно выполнено*

**КМ-3. КМ-3**

**Формы реализации:** Компьютерное задание

**Тип контрольного мероприятия:** Расчетно-графическая работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 30

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Выполнения задания на компьютере в программном комплексе вычислительной гидродинамики

**Краткое содержание задания:**

Защита первой части расчетного задания

**Контрольные вопросы/задания:**

Уметь: Выполнять численное моделирование гидродинамики и теплообмена в различных устройствах с помощью современных программных комплексов	<ol style="list-style-type: none"><li>1. Жидкость течет в толстостенной трубе круглого сечения. Внешний диаметр трубы 20 мм, толщина стенки 5 мм, длина трубы 100 мм. Данные задачи: жидкость – вода, скорость жидкости на входе в трубу 0,1 м/с, температура жидкости на входе в трубу 20 °С, материал трубы – медь, стенка трубы нагревается объемно с объемной плотностью энергии <math>qv = 100 \text{ МВт/м}^3</math>.</li></ol>
---	---

	<p>Построить: геометрию задачи и расчетную сетку</p> <p>2. Жидкость течет в кольцевом канале. Внутренний диаметр канала 10 мм, внешний диаметр канала 50 мм.</p> <p>Данные задачи: жидкость – вода, скорость жидкости на входе в трубу 0,01 м/с, температура жидкости на входе в трубу 20 °С, внешняя поверхность канала воспринимает тепловой поток <math>q = 2</math> МВт/м<sup>2</sup>, внутренняя поверхность канала воспринимает тепловой поток <math>q = 1</math> МВт/м<sup>2</sup>.</p> <p>Построить: геометрию задачи и расчетную сетку</p> <p>3. Жидкость течет в тонкостенной трубе с плавным поворотом на 90 градусов. Диаметр трубы 20 мм, длина отрезков трубы до и после поворота 50 мм.</p> <p>Данные задачи: жидкость – вода, скорость жидкости на входе в трубу 0,02 м/с, температура жидкости на входе в трубу 20 °С, температура стенки трубы 80 °С.</p> <p>Построить: геометрию задачи и расчетную сетку</p> <p>4. Жидкость течет в тонкостенной трубе с плавным поворотом на 180 градусов. Диаметр трубы 10 мм, длина отрезков трубы до и после поворота 30 мм.</p> <p>Данные задачи: жидкость – вода, скорость жидкости на входе в трубу 0,015 м/с, температура жидкости на входе в трубу 20 °С, стенка трубы воспринимает тепловой поток <math>q = 1</math> МВт/м<sup>2</sup>.</p> <p>Построить: геометрию задачи и расчетную сетку</p> <p>5. Жидкость течет в тонкостенной трубе с плавным сужением (конфузор). Размеры: <math>D1 = 60</math> мм, <math>D2 = 30</math> мм, <math>L1 = 100</math> мм, <math>L2 = 70</math> мм.</p> <p>Данные задачи: жидкость – вода, скорость жидкости на входе 0,01 м/с, температура жидкости на входе 20 °С, стенка трубы воспринимает тепловой поток <math>q = 1</math> МВт/м<sup>2</sup>.</p> <p>Построить: геометрию задачи и расчетную сетку</p>
--	--

**Описание шкалы оценивания:**

*Оценка: 5*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 80*

*Описание характеристики выполнения знания: Оценка "отлично" выставляется если задание выполнено в полном объеме или выполнено преимущественно верно*

*Оценка: 4*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 70*

*Описание характеристики выполнения знания: Оценка "хорошо" выставляется если большинство вопросов раскрыто. выбрано верное направление для решения задач*

*Оценка: 3*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 60*

*Описание характеристики выполнения знания: Оценка "удовлетворительно" выставляется если задание преимущественно выполнено*



## КМ-4. КМ-4

**Формы реализации:** Компьютерное задание

**Тип контрольного мероприятия:** Расчетно-графическая работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 30

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Выполнения задания на компьютере в программном комплексе вычислительной гидродинамики

**Краткое содержание задания:**

Защита второй части расчетного задания

**Контрольные вопросы/задания:**

<p>Уметь: Визуализировать и анализировать полученные результаты численного моделирование гидродинамики и теплообмена</p>	<p>1. Жидкость течет в толстостенной трубе круглого сечения. Внешний диаметр трубы 20 мм, толщина стенки 5 мм, длина трубы 100 мм. Данные задачи: жидкость – вода, скорость жидкости на входе в трубу 0,1 м/с, температура жидкости на входе в трубу 20 °С, материал трубы – медь, стенка трубы нагревается объемно с объемной плотностью энергии <math>qv = 100</math> МВт/м<sup>3</sup>. Построить: Поле температуры в осевом сечении, поле скорости в осевом сечении, график зависимости температуры от поперечной координаты в выходном сечении.</p> <p>2. Жидкость течет в кольцевом канале. Внутренний диаметр канала 10 мм, внешний диаметр канала 50 мм. Данные задачи: жидкость – вода, скорость жидкости на входе в трубу 0,01 м/с, температура жидкости на входе в трубу 20 °С, внешняя поверхность канала воспринимает тепловой поток <math>q = 2</math> МВт/м<sup>2</sup>, внутренняя поверхность канала воспринимает тепловой поток <math>q = 1</math> МВт/м<sup>2</sup>. Построить: Поле температуры в осевом сечении, поле давления в осевом сечении, график зависимости температуры от поперечной координаты в выходном сечении.</p> <p>3. Жидкость течет в тонкостенной трубе с плавным поворотом на 90 градусов. Диаметр трубы 20 мм, длина отрезков трубы до и после поворота 50 мм. Данные задачи: жидкость – вода, скорость жидкости на входе в трубу 0,02 м/с, температура жидкости на входе в трубу 20 °С, температура стенки трубы 80 °С. Построить: Поле температуры в осевом сечении, поле давления в осевом сечении, график зависимости скорости жидкости от поперечной координаты в выходном сечении.</p> <p>4. Жидкость течет в тонкостенной трубе с плавным поворотом на 180 градусов. Диаметр трубы 10 мм, длина отрезков трубы до и после поворота 30 мм. Данные задачи: жидкость – вода, скорость жидкости</p>
--	--

	<p>на входе в трубу 0,015 м/с, температура жидкости на входе в трубу 20 °С, стенка трубы воспринимает тепловой поток <math>q = 1</math> МВт/м<sup>2</sup>.</p> <p>Построить: Поле температуры в осевом сечении, поле давления в осевом сечении, график зависимости скорости жидкости от поперечной координаты в выходном сечении.</p> <p>5. Жидкость течет в тонкостенной трубе с плавным сужением (конфузор). Размеры: <math>D1 = 60</math> мм, <math>D2 = 30</math> мм, <math>L1 = 100</math> мм, <math>L2 = 70</math> мм.</p> <p>Данные задачи: жидкость – вода, скорость жидкости на входе 0,01 м/с, температура жидкости на входе 20 °С, стенка трубы воспринимает тепловой поток <math>q = 1</math> МВт/м<sup>2</sup>.</p> <p>Построить: Поле температуры в осевом сечении, линии тока жидкости, график зависимости давления жидкости от осевой координаты.</p>
--	---

**Описание шкалы оценивания:**

*Оценка: 5*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 80*

*Описание характеристики выполнения знания: Оценка "отлично" выставляется если задание выполнено в полном объеме или выполнено преимущественно верно*

*Оценка: 4*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 70*

*Описание характеристики выполнения знания: Оценка "хорошо" выставляется если большинство вопросов раскрыто. выбрано верное направление для решения задач*

*Оценка: 3*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 60*

*Описание характеристики выполнения знания: Оценка "удовлетворительно" выставляется если задание преимущественно выполнено*

# СОДЕРЖАНИЕ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

7 семестр

**Форма промежуточной аттестации:** Зачет с оценкой

## Пример билета

1. Сформулируйте основные этапы численного решения задачи гидродинамики и теплообмена  
Жидкость течет в толстостенной трубе круглого сечения. Внешний диаметр трубы 20 мм, толщина стенки 5 мм, длина трубы 100 мм.
2. Данные задачи: жидкость – вода, скорость жидкости на входе в трубу 0,1 м/с, температура жидкости на входе в трубу 20 °С, материал трубы – медь, стенка трубы нагревается объемно с объемной плотностью энергии  $qv = 100$  МВт/м<sup>3</sup>.  
Получить: Поле температуры в осевом сечении, поле скорости в осевом сечении, график зависимости температуры от поперечной координаты в выходном сечении.

## Процедура проведения

Устный зачет по билетам.

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

**1. Компетенция/Индикатор:** ИД-5<sub>ПК-3</sub> Владеет навыками выполнения расчетов гидродинамики и теплообмена с использованием современных программных средств

## Вопросы, задания

- 1.1. Сформулируйте основные этапы численного решения задачи гидродинамики и теплообмена  
Жидкость течет в толстостенной трубе круглого сечения. Внешний диаметр трубы 20 мм, толщина стенки 5 мм, длина трубы 100 мм.
2. Данные задачи: жидкость – вода, скорость жидкости на входе в трубу 0,1 м/с, температура жидкости на входе в трубу 20 °С, материал трубы – медь, стенка трубы нагревается объемно с объемной плотностью энергии  $qv = 100$  МВт/м<sup>3</sup>.  
Получить: Поле температуры в осевом сечении, поле скорости в осевом сечении, график зависимости температуры от поперечной координаты в выходном сечении.
- 2.1. В чем преимущества и недостатки численного моделирования перед натурным экспериментом
2. Жидкость течет в кольцевом канале. Внутренний диаметр канала 10 мм, внешний диаметр канала 50 мм.  
Данные задачи: жидкость – вода, скорость жидкости на входе в трубу 0,01 м/с, температура жидкости на входе в трубу 20 °С, внешняя поверхность канала воспринимает тепловой поток  $q = 2$  МВт/м<sup>2</sup>, внутренняя поверхность канала воспринимает тепловой поток  $q = 1$  МВт/м<sup>2</sup>.  
Получить: Поле температуры в осевом сечении, поле давления в осевом сечении, график зависимости температуры от поперечной координаты в выходном сечении.
- 3.1. Что необходимо определить перед построением сетки контрольных объемов?
2. Жидкость течет в тонкостенной трубе с плавным поворотом на 90 градусов. Диаметр трубы 20 мм, длина отрезков трубы до и после поворота 50 мм.  
Данные задачи: жидкость – вода, скорость жидкости на входе в трубу 0,02 м/с, температура жидкости на входе в трубу 20 °С, температура стенки трубы 80 °С.

Получить: Поле температуры в осевом сечении, поле давления в осевом сечении, график зависимости скорости жидкости от поперечной координаты в выходном сечении.

4.1. Назовите основные уравнения, входящие в математическую модель

2. Жидкость течет в тонкостенной трубе с плавным поворотом на 180 градусов. Диаметр трубы 10 мм, длина отрезков трубы до и после поворота 30 мм.

Данные задачи: жидкость – вода, скорость жидкости на входе в трубу 0,015 м/с, температура жидкости на входе в трубу 20 °С, стенка трубы воспринимает тепловой поток  $q = 1$  МВт/м<sup>2</sup>.

Построить: Поле температуры в осевом сечении, поле давления в осевом сечении, график зависимости скорости жидкости от поперечной координаты в выходном сечении.

5.1. Назовите известные Вам модели турбулентности, их преимущества и недостатки.

2. Жидкость течет в тонкостенной трубе с плавным сужением (конфузор). Размеры:  $D1 = 60$  мм,  $D2 = 30$  мм,  $L1 = 100$  мм,  $L2 = 70$  мм.

Данные задачи: жидкость – вода, скорость жидкости на входе 0,01 м/с, температура жидкости на входе 20 °С, стенка трубы воспринимает тепловой поток  $q = 1$  МВт/м<sup>2</sup>.

Построить: Поле температуры в осевом сечении, линии тока жидкости, график зависимости давления жидкости от осевой координаты.

### Материалы для проверки остаточных знаний

1.1. Определите режим течения теплоносителя в круглой трубе диаметром  $d = 10$  мм. Теплоноситель вода, скорость течения - 0,5 м/с, температура 20 С, давление 1 МПа.

Ответы:

1. Ламинарный
2. Турбулентный
3. Переходный

Верный ответ: 2. Турбулентный

2.2. Какой подход к моделированию турбулентности используют в большинстве инженерных расчетов?

Ответы:

1. RANS
2. DNS
3. LES

Верный ответ: 1. RANS

3.3. Какой подход к моделированию турбулентности является самым точным?

Ответы:

1. LES
2. RANS
3. DNS

Верный ответ: 3. DNS

4.4. Как замыкается математическая модель в случае использования RANS подхода для моделирования турбулентности?

Ответы:

1. С помощью моделей турбулентности
2. Замкнуть математическую модель нельзя
3. С помощью точного решения уравнений Навье-Стокса

Верный ответ: 1. С помощью моделей турбулентности

5.5. Какие значения принимает безразмерная координата  $y^+$  при использовании  $k-\epsilon$  модели турбулентности?

Ответы:

1.  $< 1$
2.  $> 1000$

3.30 - 100

Верный ответ: 3. 30 - 100

6.6. Какие значения принимает безразмерная координата  $y^+$  при использовании SST  $k-\omega$  модели турбулентности?

Ответы:

1. ~1

2. >1000

3. 30 - 100

Верный ответ: 1. ~1

7.7. Теплоноситель течет в круглой трубе диаметром  $d = 10$  мм. Теплоноситель вода, скорость течения - 0,5 м/с, температура 20 С, давление 1 МПа.

Рассчитайте высоту первого контрольного объема у стенки,  $y^+$  принять равной 50.

Ответы:

1. 2,08 мм

2. 0,73 мм

3. 0,52 мм

Верный ответ: 2. 0,73 мм

8.8. Теплоноситель течет в круглой трубе диаметром  $d = 16$  мм. Теплоноситель вода, скорость течения - 0,2 м/с, температура 20 С, давление 1 МПа.

Рассчитайте высоту первого контрольного объема у стенки,  $y^+$  принять равной 1.

Ответы:

1. 0,035 мм

2. 0,95 мм

3. 2,15 мм

Верный ответ: 1. 0,035 мм

9.9. Сколько дополнительных уравнений включается в математическую модель при использовании стандартной  $k-\epsilon$  модели турбулентности?

Ответы:

1. 5

2. 1

3. 2

Верный ответ: 3. 2

10.10. Теплоноситель течет в круглой трубе диаметром  $d = 20$  мм. Теплоноситель вода, скорость течения - 0,3 м/с, температура 20 С, давление 1 МПа.

Рассчитайте высоту первого контрольного объема у стенки,  $y^+$  принять равной 30.

Ответы:

1. 3,00 мм

2. 0,13 мм

3. 0,75 мм

Верный ответ: 3. 0,75 мм

## **II. Описание шкалы оценивания**

*Оценка: 5*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 80*

*Описание характеристики выполнения знания: Оценка "отлично" выставляется если задание выполнено в полном объеме или выполнено преимущественно верно*

*Оценка: 4*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 70*

*Описание характеристики выполнения знания: Оценка "хорошо" выставляется если большинство вопросов раскрыто. выбрано верное направление для решения задач*

*Оценка: 3*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 60*

*Описание характеристики выполнения знания: Оценка "удовлетворительно" выставляется если задание преимущественно выполнено*

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

Оценка определяется по совокупности результатов текущего контроля успеваемости в соответствии с Положением о балльно-рейтинговой системе для студентов НИУ «МЭИ»