

**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: Прикладная физика плазмы и управляемый термоядерный синтез**

**Уровень образования: высшее образование - магистратура**

**Форма обучения: Очная**

**Оценочные материалы  
по дисциплине  
Теплообмен и гидродинамика в термоядерных установках**

**Москва  
2023**

## ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ РАЗРАБОТАЛ:

Разработчик

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

А.В. Дедов

## СОГЛАСОВАНО:

Руководитель  
образовательной  
программы

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Лукашевский М.В.
	Идентификатор	Re4b7e3cb-LukashevskyMV-6844ab

М.В.  
Лукашевский

Заведующий  
выпускающей  
кафедрой

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

А.В. Дедов

## 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-2 Способен применять расчетно-теоретические методы и экспериментальные навыки исследования процессов, используемых в атомной энергетике, термоядерных исследованиях, плазменных установках

ИД-1 Владеет методами моделирования физических процессов в элементах конструкций термоядерных и ядерных установок и реакторов

и включает:

**для текущего контроля успеваемости:**

Форма реализации: Защита задания

1. Защита расчетного задания (Доклад)

Форма реализации: Письменная работа

1. Расчет теплообмена в термоядерных установках (Контрольная работа)

Форма реализации: Смешанная форма

1. Защита лабораторной работы №1 "ИЗУЧЕНИЕ ОСНОВНЫХ СИСТЕМ ТЕПЛОГИДРАВЛИЧЕСКОГО КОНТУРА СТЕНДА ТВС", Защита лабораторной работы №2 "МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЯ ДАВЛЕНИЯ. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ДАВЛЕНИЯ НАСЫЩЕННОГО ПАРА ОТ ТЕМПЕРАТУРЫ НАСЫЩЕНИЯ" (Лабораторная работа)

2. Защита лабораторной работы №3 "ИЗУЧЕНИЕ МЕТОДОВ ИЗМЕРЕНИЯ РАСХОДА ЖИДКОСТИ. ИЗМЕРЕНИЕ ПОТЕРЬ ДАВЛЕНИЯ ПРИ ТЕЧЕНИИ ЖИДКОСТИ В КАНАЛАХ", защита лабораторной работы №4 ИЗУЧЕНИЕ СИСТЕМЫ НАГРЕВА СТЕНДА ТВС. РАСЧЕТ ТЕПЛООВОГО БАЛАНСА (Лабораторная работа)

## БРС дисциплины

2 семестр

Раздел дисциплины	Веса контрольных мероприятий, %				
	Индекс КМ:	КМ-1	КМ-2	КМ-3	КМ-4
	Срок КМ:	4	12	14	15
Термоядерные экспериментальные установки и реакторы. Системы охлаждения и термостабилизации.					
Термоядерные экспериментальные установки и реакторы.	+				
Системы охлаждения и термостабилизации.	+				
Основы экспериментальных методов исследования теплообмена и гидродинамики.					

Основы экспериментальных методов исследования теплообмена и гидродинамики.			+	
Режимы течения и теплообмена. Особенности течения и теплообмена в термоядерных реакторах и установках. Методы интенсификации теплообмена и критических тепловых потоков при кипении.				
Режимы течения и теплообмена.		+		
Особенности течения и теплообмена в термоядерных реакторах и установках.		+		
Методы интенсификации теплообмена и критических тепловых потоков при кипении.		+		
Численное моделирование течения и теплообмена в элементах конструкций термоядерных реакторах и установках.				
Численное моделирование течения и теплообмена в элементах конструкций термоядерных реакторах и установках.				+
Вес КМ:	20	20	20	40

\$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-2	ИД-1ПК-2 Владеет методами моделирования физических процессов в элементах конструкций термоядерных и ядерных установок и реакторов	<p>Знать:</p> <p>Основные конструктивные элементы систем теплообмена термоядерных и гибридных установок и реакторов. Методы экспериментального и численного моделирования задач течения и теплообмена в термоядерных и гибридных установках и реакторах</p> <p>Основы теории одно и двухфазного теплообмена, гидродинамики. Проблемы и процессы охлаждения и термостабилизации элементов термоядерных реакторов и установок, методы интенсификации теплообмена</p> <p>Уметь:</p> <p>Рассчитывать тепловые</p>	<p>Защита лабораторной работы №1 "ИЗУЧЕНИЕ ОСНОВНЫХ СИСТЕМ ТЕПЛОГИДРАВЛИЧЕСКОГО КОНТУРА СТЕНДА ТВС", Защита лабораторной работы №2 "МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЯ ДАВЛЕНИЯ. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ДАВЛЕНИЯ НАСЫЩЕННОГО ПАРА ОТ ТЕМПЕРАТУРЫ НАСЫЩЕНИЯ" (Лабораторная работа)</p> <p>Расчет теплообмена в термоядерных установках (Контрольная работа)</p> <p>Защита лабораторной работы №3 "ИЗУЧЕНИЕ МЕТОДОВ ИЗМЕРЕНИЯ РАСХОДА ЖИДКОСТИ. ИЗМЕРЕНИЕ ПОТЕРЬ ДАВЛЕНИЯ ПРИ ТЕЧЕНИИ ЖИДКОСТИ В КАНАЛАХ", защита лабораторной работы №4 ИЗУЧЕНИЕ СИСТЕМЫ НАГРЕВА СТЕНДА ТВС. РАСЧЕТ ТЕПЛООВОГО БАЛАНСА (Лабораторная работа)</p> <p>Защита расчетного задания (Доклад)</p>

		<p>режимы работы теплообменного и тепловоспринимающего оборудования термоядерных реакторов и установок. Выполнять численное моделирование гидродинамики и теплообмена в модельных элементах теплообменных и тепловоспринимающих устройств Планировать и проводить экспериментальные исследования гидродинамики и теплообмена в модельных элементах теплообменных и тепловоспринимающих устройств</p>	
--	--	--	--

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

**КМ-1. Защита лабораторной работы №1 "ИЗУЧЕНИЕ ОСНОВНЫХ СИСТЕМ ТЕПЛОГИДРАВЛИЧЕСКОГО КОНТУРА СТЕНДА ТВС", Защита лабораторной работы №2 "МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЯ ДАВЛЕНИЯ. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ДАВЛЕНИЯ НАСЫЩЕННОГО ПАРА ОТ ТЕМПЕРАТУРЫ НАСЫЩЕНИЯ"**

**Формы реализации:** Смешанная форма

**Тип контрольного мероприятия:** Лабораторная работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 20

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Подготовка ответов на вопросы по билету, ответ с обсуждением результатов лабораторной работы

### Краткое содержание задания:

ЛРН№1

1. Какую функцию выполняет автоматизированная система управления стендом?
2. Объясните назначение компенсатора давления.

ЛРН№2

1. Дайте определение понятиям давление, абсолютное и избыточное давление. В чем их отличие? Запишите их связь.
2. Какими способами можно определить давление в системе? Опишите принцип работы приборов для измерения давления.

### Контрольные вопросы/задания:

<p><b>Знать:</b> Основные конструктивные элементы систем термоядерных и гибридных установок и реакторов. Методы экспериментального и численного моделирования задач течения и теплообмена в термоядерных и гибридных установках и реакторах</p>	<p>1. Из каких основных систем состоит экспериментальный стенд «Тепловыделяющая сборка»? Кратко расскажите о каждой из них.</p>
---	---

### Описание шкалы оценивания:

*Оценка: 5*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 70*

*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: 60*

*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: 50*

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

*Оценка:* 2

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка "неудовлетворительно" выставляется если задание выполнено неверно или преимущественно не выполнено

## **КМ-2. Расчет теплообмена в термоядерных установках**

**Формы реализации:** Письменная работа

**Тип контрольного мероприятия:** Контрольная работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 20

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Письменные ответы на вопросы по вариантам.

### **Краткое содержание задания:**

Расчет теплообмена при кипении. Критические тепловые потоки при кипении. Расчет гидравлического сопротивления при движении жидкости в каналах. Расчет теплообмена при вынужденном течении.

### **Контрольные вопросы/задания:**

Знать: Основы теории одно и двухфазного теплообмена, гидродинамики. Проблемы и процессы охлаждения и термостабилизации элементов термоядерных реакторов и установок, методы интенсификации теплообмена	1. С какой скоростью следует прокачивать воду, имеющую среднюю арифметическую температуру 150 °С, по трубе $d = 20$ мм и $l = 2,3$ м, чтобы при турбулентном режиме течения и средней температуре внутренней поверхности трубы 170 °С количество отводимой теплоты было равно 10 кВт? Определить также температуры воды на входе и выходе из трубы. При расчете учесть, что коэффициент теплоотдачи относится к среднеарифметической разности температур между стенкой и жидкостью.
--	---

### **Описание шкалы оценивания:**

*Оценка:* 5

*Нижний порог выполнения задания в процентах:* 70

*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:* 60

*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:* 50

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

*Оценка:* 2

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка "неудовлетворительно" выставляется если задание выполнено неверно или преимущественно не выполнено

**КМ-3. Защита лабораторной работы №3 "ИЗУЧЕНИЕ МЕТОДОВ ИЗМЕРЕНИЯ РАСХОДА ЖИДКОСТИ. ИЗМЕРЕНИЕ ПОТЕРЬ ДАВЛЕНИЯ ПРИ ТЕЧЕНИИ ЖИДКОСТИ В КАНАЛАХ", защита лабораторной работы №4 ИЗУЧЕНИЕ СИСТЕМЫ НАГРЕВА СТЕНДА ТВС. РАСЧЕТ ТЕПЛОВОГО БАЛАНСА**

**Формы реализации:** Смешанная форма

**Тип контрольного мероприятия:** Лабораторная работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 20

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Подготовка ответов на вопросы по билету, ответ с обсуждением результатов лабораторной работы

**Краткое содержание задания:**

1. Дайте определение понятиям массовый и объемный расход теплоносителя. От чего зависят эти величины? Запишите их связь.
  2. Зачем по ходу выполнения работы необходимо соблюдать условие стационарности параметров?
- 
1. Какие типы электронагревательных элементов вы знаете? В чем их отличие?
  2. Опишите методику определения тепловых потерь на рабочем участке.

**Контрольные вопросы/задания:**

Уметь: Планировать и проводить экспериментальные исследования гидродинамики и теплообмена в модельных элементах теплообменных и тепловоспринимающих устройств	1. Как определить мощность и максимальную силу тока нагревательного элемента?
---	---

**Описание шкалы оценивания:**

*Оценка: 5*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 70*

*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: 60*

*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: 50*

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

*Оценка: 2*

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка "неудовлетворительно" выставляется если задание выполнено неверно или преимущественно не выполнено

**КМ-4. Защита расчетного задания**

**Формы реализации:** Защита задания

**Тип контрольного мероприятия:** Доклад

**Вес контрольного мероприятия в БРС: 40**

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Студентами выполняется единое расчетное задание по дисциплине, состоящее из набора индивидуальных подзадач для каждого студента или бригад студентов. Студенты выполняют подзадачи, готовят общий отчет и презентацию, оформляют доклад на конференцию по итогам работы. При выполнении всех заданий проводится защита. Каждый из студентов(бригад) защищает свою часть работы, получая индивидуальную оценку.

**Краткое содержание задания:**

Моделирование гидродинамики и теплообмена в теплообменных и тепловоспринимающих устройствах термоядерных реакторов и установок

**Контрольные вопросы/задания:**

Уметь: Рассчитывать тепловые режимы работы теплообменного и тепловоспринимающего оборудования термоядерных реакторов и установок. Выполнять численное моделирование гидродинамики и теплообмена в модельных элементах теплообменных и тепловоспринимающих устройств	1.Поясните этапы решения теплогидравлической задачи с помощью CFD?
---	--

**Описание шкалы оценивания:**

*Оценка: 5*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 70*

*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: 60*

*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: 50*

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

*Оценка: 2*

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка "неудовлетворительно" выставляется если задание выполнено неверно или преимущественно не выполнено

# СОДЕРЖАНИЕ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

## 2 семестр

**Форма промежуточной аттестации:** Экзамен

### Пример билета

1. Термоядерные экспериментальные установки – основные типы и достигнутые результаты.
2. Метод решения дифференциальных уравнений сохранения, используемый в Ansys Fluent
3. На наружной поверхности трубы кипит вода под давлением 3,3 МПа. Плотность теплового потока на поверхности трубы составляет 175 кВт/м<sup>2</sup>. Определить температуру поверхности трубы.

### Процедура проведения

Устный экзамен.

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

**1. Компетенция/Индикатор:** ИД-1<sub>ПК-2</sub> Владеет методами моделирования физических процессов в элементах конструкций термоядерных и ядерных установок и реакторов

#### **Вопросы, задания**

- 1.1. Возможности использования энергии термоядерного синтеза.
2. Особенности течения и теплообмена в закрученном потоке. Методики расчета теплообмена и КТП в закрученных потоках.
3. Вода с температурой 30 °С поступает в трубу с диаметром 12 мм и длиной 2,2 м. Определить температуру воды на выходе из трубы, если расход воды равен 0,10 кг/с и средняя температура внутренней поверхности трубы составляет 60 °С. Коэффициент теплоотдачи определен по среднеарифметической разности температур между стенкой и жидкостью.

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

1. Какие преимущества и недостатки при использовании интенсификации теплообмена и КТП за счет нарезки резьбы и применения пористого покрытия?

Ответы:

- А) ухудшение теплоотдачи
- Б) недостатков нет
- В) нарушение целостности поверхности канала в следствии обработки и появление усталостных трещин
- Г) недостаточность экспериментального подтверждения значений критических тепловых нагрузок

Верный ответ: Г)

2. Как определить теплогидравлическую эффективность при интенсификации теплообмена?

Ответы:

- А) соотнести относительную интенсификацию теплообмена с относительным увеличением коэффициента гидравлического сопротивления в условиях одинаковой мощности на прокачку теплоносителя
- Б) соотнести относительную интенсификацию теплообмена с относительным увеличением коэффициента гидравлического сопротивления в условиях одинаковых скоростей течения теплоносителя
- В) соотнести относительную интенсификацию теплообмена с относительным увеличением коэффициента гидравлического сопротивления в условиях нормального атмосферного давления
- Г) соотнести относительную интенсификацию теплообмена с относительным увеличением коэффициента гидравлического сопротивления в условиях одинаковых потерь давления

Верный ответ: А

3. Что такое кризис теплообмена при кипении?

Ответы:

- А) значительное улучшение теплоотдачи в конце ветви пузырькового кипения
- Б) значительное ухудшение теплоотдачи в конце ветви пузырькового кипения
- В) переход от кипения к однофазной конвекции
- Г) прекращение генерации пара

Верный ответ: А)

4. Какие значения коэффициента теплоотдачи характерны для кипения воды в состоянии насыщения при атмосферном давлении в большом объеме?

Ответы:

- А) 100 Вт/м<sup>2</sup>К
- Б) 1 кВт/м<sup>2</sup>К
- В) 100 кВт/м<sup>2</sup>К
- Г) 1 МВт/м<sup>2</sup>К

Верный ответ: В

5. Какие основные отличия теплообмена при кипении в потоке насыщенной жидкости от теплообмена при вынужденной однофазной конвекции?

Ответы:

- А) нет отличий
- Б) уменьшение коэффициента теплоотдачи в двухфазном потоке в сравнении с однофазным
- В) наличие паровой фазы приводит к увеличению гидравлического сопротивления и прекращению циркуляции теплоносителя
- Г) нелинейная зависимость теплового потока от температурного напора

Верный ответ: Г

## **II. Описание шкалы оценивания**

*Оценка: 5*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 70*

*Описание характеристики выполнения знания: Работа выполнена в рамках "продвинутого" уровня. Ответы даны верно, четко сформулированные особенности практических решений*

*Оценка: 4*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 60*

*Описание характеристики выполнения знания: Работа выполнена в рамках "базового" уровня. Большинство ответов даны верно. В части материала есть незначительные недостатки*

*Оценка: 3*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 50*

*Описание характеристики выполнения знания:* Работа выполнена в рамках "порогового" уровня. Основная часть задания выполнена верно. на вопросы углубленного уровня

*Оценка:* 2

*Описание характеристики выполнения знания:* Работа не выполнена или выполнена преимущественно неправильно

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

Оценка за освоение дисциплины рассчитывается на основании балла текущего контроля за семестр и оценки за экзамен по формуле, определяемой БАРС.