

**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: Теплофизика и молекулярная физика

Уровень образования: высшее образование - магистратура

Форма обучения: Очная

**Рабочая программа дисциплины**  
**МЕТОДЫ ИНТЕНСИФИКАЦИИ ТЕПЛООБМЕНА**

<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.08</b>
<b>Трудоемкость в зачетных единицах:</b>	<b>3 семестр - 3;</b>
<b>Часов (всего) по учебному плану:</b>	<b>108 часов</b>
<b>Лекции</b>	<b>3 семестр - 16 часов;</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 - 73,5 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>Творческая задача</b> <b>Доклад</b>	
<b>Промежуточная аттестация:</b>	
<b>Экзамен</b>	<b>3 семестр - 0,5 часа;</b>

**Москва 2024**

**ПРОГРАММУ СОСТАВИЛ:**

Преподаватель

---

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Кузма-Кичта Ю.А.
	Идентификатор	R2af2c04d-KuzmakichtaYA-22ef358

Ю.А. Кузма-Кичта

---

**СОГЛАСОВАНО:**

Руководитель  
образовательной программы

---

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Яньков Г.Г.
	Идентификатор	Rbb1f0c84-YankovGG-11a2e4dc

Г.Г. Яньков

---

Заведующий выпускающей  
кафедрой

---

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Герасимов Д.Н.
	Идентификатор	Ra5495398-GerasimovDN-6b58615

Д.Н. Герасимов

---

## 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

**Цель освоения дисциплины:** изучение методов интенсификации теплообмена на макро-, микро- и наномасштабах

### Задачи дисциплины

- овладение основными представлениями о методах интенсификации теплообмена в одно- и двухфазных средах;
- овладение методами расчета теплообмена и гидродинамики при интенсификации процессов перенос в одно- и двухфазных средах;
- умение рассчитывать теплообмен и гидродинамику при интенсификации теплообмена в одно- и двухфазных средах.

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-2 Способен владеть расчетно-теоретическими и экспериментальными методами исследования теплогидравлических процессов в энергетическом оборудовании	ИД-2ПК-2 Владеет расчетно-теоретическими методами анализа процессов в энергетическом оборудовании	знать: - основные представления о методах интенсификации теплообмена и расчетных рекомендациях в одно- и двухфазных средах.  уметь: - рассчитывать теплообмен и гидродинамику при интенсификации теплообмена в одно- и двухфазных средах..

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ ВО

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

Базируется на уровне высшего образования (бакалавриат, специалитет).

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 3 зачетных единицы, 108 часов.

№ 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	Интенсификация теплоотдачи при течении однофазной среды	18	3	4	-	4	-	-	-	-	-	10	-	<p><b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> Изучение дополнительного материала по разделу "Интенсификация теплоотдачи при течении однофазной среды"</p> <p><b><u>Подготовка расчетных заданий:</u></b> Задания ориентированы на решения минизаданий по разделу "Интенсификация теплоотдачи при течении однофазной среды". Студенты необходимо повторить теоретический материал, разобрать примеры решения аналогичных задач. провести расчеты по варианту задания и сделать выводы. В качестве задания используются следующие упражнения:</p> <p><b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b></p> <p>[3], 55-235</p>
1.1	Гидравлическое сопротивление в трубе. Режим течения без проявления и с проявлением шероховатости. Теплоотдача и сопротивление в каналах с кольцевой накаткой. Влияние интенсификации теплоотдачи на солеотложения в трубах. Теплообмен и гидродинамика при до- и сверхзвуковом обтекании поверхности с лунками. Отложения при обтекании облуненных поверхностей соленосодержащими средами.	18		4	-	4	-	-	-	-	-	-	10	

2	Интенсификация теплоотдачи при кипении в трубе с микро- и нанопористым покрытием	18		4	-	4	-	-	-	-	-	10	-	<b><u>Подготовка к практическим занятиям:</u></b> Изучение материала по разделу "Интенсификация теплоотдачи при кипении в трубе с микро- и нанопористым покрытием" подготовка к выполнению заданий на практических занятиях
2.1	Влияние микро- и нанопористого покрытия на теплоотдачу при кипении в большом объеме, прямолинейных и спиральных каналах. Интенсификация теплоотдачи при кипении в трубе с микропористым покрытием в докризисной, переходной и закризисной областях. Влияние закрутки потока на кризис теплообмена в области отрицательных и положительных паросодержаний	18		4	-	4	-	-	-	-	-	10	-	<b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> Изучение дополнительного материала по разделу "Интенсификация теплоотдачи при кипении в трубе с микро- и нанопористым покрытием" <b><u>Подготовка расчетных заданий:</u></b> Задания ориентированы на решения минизаданий по разделу "Интенсификация теплоотдачи при кипении в трубе с микро- и нанопористым покрытием". Студенты необходимо повторить теоретический материал, разобрать примеры решения аналогичных задач. провести расчеты по варианту задания и сделать выводы. В качестве задания используются следующие упражнения: <b><u>Подготовка реферата:</u></b> В рамках реферативной части студенту необходимо провести обзор литературных источников по выбранной теме, комплексно осветить вопрос в соответствии с темой реферата, подготовить презентацию для выступления по результатам работы на семинарском занятии. В качестве тем реферата студенту предлагаются следующие варианты: <b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [1], 1-232
3	Интенсификация теплоотдачи при кипении в мини- и микроканалах	18		4	-	4	-	-	-	-	-	10	-	<b><u>Подготовка к текущему контролю:</u></b> Повторение материала по разделу "Интенсификация теплоотдачи при кипении в мини- и микроканалах"
3.1	Влияние пористого	18		4	-	4	-	-	-	-	-	10	-	<b><u>Проведение исследований:</u></b> Работа

	покрытия из наночастиц на теплоотдачу при кипении в мини – и микроканалах. Гидродинамика и кризис теплообмена при кипении в микроканале.												выполняется по индивидуальному заданию. Для проведения исследования применяется следующие материалы: <b><u>Подготовка к контрольной работе:</u></b> Изучение материалов по разделу Интенсификация теплоотдачи при кипении в мини- и микроканалах и подготовка к контрольной работе <b><u>Подготовка курсовой работы:</u></b> Курсовая работа представлена в виде крупной задачи по учебному кейсу, охватывающей несколько расчетных вопросов и выбор варианта проектного решения. Пример задания: <b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [2], 98-154
4	Интенсификация теплообмена при конденсации пара	18	4	-	4	-	-	-	-	-	10	-	<b><u>Подготовка доклада, выступления:</u></b> Задание связано с углубленным изучением разделов дисциплины и самостоятельным поиском материалов для раскрытия темы доклада. Материалы выполненной работы представляются в электронном виде или в форме распечатанных презентационных слайдов. В качестве тем докладов студентам предлагаются следующие варианты: <b><u>Подготовка курсовой работы:</u></b> Курсовая работа представлена в виде крупной задачи по учебному кейсу, охватывающей несколько расчетных вопросов и выбор варианта проектного решения. Пример задания: <b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [1], 1-232
4.1	Интенсификация теплообмена при конденсации пара на горизонтальных и вертикальных трубах. Примеры внедрения методов интенсификации теплообмена в технике.	18	4	-	4	-	-	-	-	-	10	-	<b><u>Подготовка доклада, выступления:</u></b> Задание связано с углубленным изучением разделов дисциплины и самостоятельным поиском материалов для раскрытия темы доклада. Материалы выполненной работы представляются в электронном виде или в форме распечатанных презентационных слайдов. В качестве тем докладов студентам предлагаются следующие варианты: <b><u>Подготовка курсовой работы:</u></b> Курсовая работа представлена в виде крупной задачи по учебному кейсу, охватывающей несколько расчетных вопросов и выбор варианта проектного решения. Пример задания: <b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [1], 1-232
	Экзамен	36.0	-	-	-	-	2	-	-	0.5	-	33.5	
	Всего за семестр	108.0	16	-	16	-	2	-	-	0.5	40	33.5	
	Итого за семестр	108.0	16	-	16	2	-	-	0.5	73.5			

**Примечание:** Лек – лекции; Лаб – лабораторные работы; Пр – практические занятия; КПр – 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. Интенсификация теплоотдачи при течении однофазной среды*

1.1. Гидравлическое сопротивление в трубе. Режим течения без проявления и с проявлением шероховатости. Теплоотдача и сопротивление в каналах с кольцевой накаткой. Влияние интенсификации теплоотдачи на солеотложения в трубах. Теплообмен и гидродинамика при до- и сверхзвуковом обтекании поверхности с лунками. Отложения при обтекании облуненных поверхностей солесодержащими средами.

Гидравлическое сопротивление в трубе. Режим течения без проявления и с проявлением шероховатости. Теплоотдача и сопротивление в каналах с кольцевой накаткой. Влияние интенсификации теплоотдачи на солеотложения в трубах. Теплообмен и гидродинамика при до- и сверхзвуковом обтекании поверхности с лунками. Отложения при обтекании облуненных поверхностей солесодержащими средами..

#### *2. Интенсификация теплоотдачи при кипении в трубе с микро- и нанопористым покрытием*

2.1. Влияние микро- и нанопористого покрытия на теплоотдачу при кипении в большом объеме, прямолинейных и спиральных каналах. Интенсификация теплоотдачи при кипении в трубе с микропористым покрытием в докризисной, переходной и закризисной областях. Влияние закрутки потока на кризис теплообмена в области отрицательных и положительных паросодержаний

Влияние микро- и нанопористого покрытия на теплоотдачу при кипении в большом объеме, прямолинейных и спиральных каналах. Интенсификация теплоотдачи при кипении в трубе с микропористым покрытием в докризисной, переходной и закризисной областях. Влияние закрутки потока на кризис теплообмена в области отрицательных и положительных паросодержаний.

#### *3. Интенсификация теплоотдачи при кипении в мини- и микроканалах*

3.1. Влияние пористого покрытия из наночастиц на теплоотдачу при кипении в мини – и микроканалах. Гидродинамика и кризис теплообмена при кипении в микроканале.

Влияние пористого покрытия из наночастиц на теплоотдачу при кипении в мини – и микроканалах. Гидродинамика и кризис теплообмена при кипении в микроканале..

#### *4. Интенсификация теплообмена при конденсации пара*

4.1. Интенсификация теплообмена при конденсации пара на горизонтальных и вертикальных трубах. Примеры внедрения методов интенсификации теплообмена в технике.

Интенсификация теплообмена при конденсации пара на горизонтальных и вертикальных трубах. Примеры внедрения методов интенсификации теплообмена в технике..

### **3.3. Темы практических занятий**

1. Интенсификация теплоотдачи при течении однофазной среды;
2. Интенсификация теплоотдачи при кипении в трубе с микро- и нанопористым покрытием;
3. Интенсификация теплоотдачи при кипении в мини- и микроканалах;
4. Интенсификация теплоотдачи при конденсации.

**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	
<b>Знать:</b>						
основные представления о методах интенсификации теплообмена и расчетных рекомендациях в одно- и двухфазных средах	ИД-2ПК-2	+			+	Доклад/Защита реферата Творческая задача/Проведение расчета по алгоритму
<b>Уметь:</b>						
рассчитывать теплообмен и гидродинамику при интенсификации теплообмена в одно- и двухфазных средах.	ИД-2ПК-2		+	+		Доклад/Защита реферата Творческая задача/Проведение расчета по алгоритму Творческая задача/Проверка литературного обзора

## **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: Выступление (доклад)

1. Защита реферата (Доклад)

Форма реализации: Обмен электронными документами

1. Проверка литературного обзора (Творческая задача)

Форма реализации: Устная форма

1. Проведение расчета по алгоритму (Творческая задача)

Балльно-рейтинговая структура дисциплины является приложением А.

### **4.2 Промежуточная аттестация по дисциплине**

*Экзамен (Семестр №3)*

Прибавление оценки итоговой аттестации к промежуточной

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. Интенсификация тепло- и массообмена в энергетике / Б. В. Дзюбенко, и др. ; Ред. Ю. А. Кузма-Кичта . – М. : ЦНИИАтоминформ, 2003 . – 232 с. - ISBN 5-87911-110-5 .;
2. Попов, И. А. Физические основы и промышленное применение интенсификации теплообмена. Интенсификация теплообмена / И. А. Попов, Х. М. Махьянов, В. М. Гуреев, М-во образования и науки Рос. Федерации, Казан. гос. техн. ун-т им. А.Н. Туполева, Упр. компания "КЭР-Холдинг" ; Общ. ред. Ю. Ф. Гортышов . – Казань : Центр инновационных технологий, 2009 . – 560 с. - ISBN 978-5-93962-383-4 .;
3. Ягов В. В.- "Теплообмен в однофазных средах и при фазовых превращениях", Издательство: "Издательский дом МЭИ", Москва, 2014 - (542 с.)  
[http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1\\_id=72295](http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=72295).

### **5.2 Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение:**

1. Office / Российский пакет офисных программ.

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

1. ЭБС Лань - <https://e.lanbook.com/>
2. ЭБС "Университетская библиотека онлайн" - [http://biblioclub.ru/index.php?page=main\\_ub\\_red](http://biblioclub.ru/index.php?page=main_ub_red)
3. Научная электронная библиотека - <https://elibrary.ru/>
4. База данных ВИНТИ online - <http://www.viniti.ru/>

## 6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Тип помещения	Номер аудитории, наименование	Оснащение
Учебные аудитории для проведения лекционных занятий и текущего контроля	Ж-120, Машинный зал ИВЦ	сервер, кондиционер
	Т-205, Учебная аудитория	стол преподавателя, стол учебный, стул, шкаф, доска маркерная
Учебные аудитории для проведения практических занятий, КР и КП	Т-205, Учебная аудитория	стол преподавателя, стол учебный, стул, шкаф, доска маркерная
Учебные аудитории для проведения промежуточной аттестации	Т-205, Учебная аудитория	стол преподавателя, стол учебный, стул, шкаф, доска маркерная
Помещения для самостоятельной работы	Т-412, Учебная лаборатория вычислительной техники	стол преподавателя, стол учебный, стул, компьютерная сеть с выходом в Интернет, доска маркерная, компьютер персональный
Помещения для консультирования	Т-205, Учебная аудитория	стол преподавателя, стол учебный, стул, шкаф, доска маркерная
Помещения для хранения оборудования и учебного инвентаря	Т-213, Подсобное помещение	

## БАЛЛЬНО-РЕЙТИНГОВАЯ СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

## Методы интенсификации теплообмена

(название дисциплины)

## 3 семестр

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

КМ-1 Проверка литературного обзора (Творческая задача)

КМ-2 Проведение расчета по алгоритму (Творческая задача)

КМ-3 Защита реферата (Доклад)

**Вид промежуточной аттестации – Экзамен.**

Номер раздела	Раздел дисциплины	Индекс КМ:	КМ-1	КМ-2	КМ-3
		Неделя КМ:	5	10	15
1	Интенсификация теплоотдачи при течении однофазной среды				
1.1	Гидравлическое сопротивление в трубе. Режим течения без проявления и с проявлением шероховатости. Теплоотдача и сопротивление в каналах с кольцевой накаткой. Влияние интенсификации теплоотдачи на солеотложения в трубах. Теплообмен и гидродинамика при до- и сверхзвуковом обтекании поверхности с лунками. Отложения при обтекании облуненных поверхностей солесодержащими средами.			+	+
2	Интенсификация теплоотдачи при кипении в трубе с микро- и нанопористым покрытием				
2.1	Влияние микро- и нанопористого покрытия на теплоотдачу при кипении в большом объеме, прямолинейных и спиральных каналах. Интенсификация теплоотдачи при кипении в трубе с микропористым покрытием в докризисной, переходной и закризисной областях. Влияние закрутки потока на кризис теплообмена в области отрицательных и положительных паросодержаний		+	+	+
3	Интенсификация теплоотдачи при кипении в мини- и микроканалах				
3.1	Влияние пористого покрытия из наночастиц на теплоотдачу при кипении в мини – и микроканалах. Гидродинамика и кризис теплообмена при кипении в микроканале.		+	+	+
4	Интенсификация теплообмена при конденсации пара				
4.1	Интенсификация теплообмена при конденсации пара на горизонтальных и вертикальных трубах. Примеры внедрения методов интенсификации теплообмена в технике.			+	+
Вес КМ, %:			30	20	50