

**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: Теплофизика

Уровень образования: высшее образование - бакалавриат

Форма обучения: Очная

**Рабочая программа дисциплины**  
**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОМАССОБМЕНА**

<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.11</b>
<b>Трудоемкость в зачетных единицах:</b>	<b>7 семестр - 4;</b>
<b>Часов (всего) по учебному плану:</b>	<b>144 часа</b>
<b>Лекции</b>	<b>7 семестр - 32 часа;</b>
<b>Практические занятия</b>	<b>не предусмотрено учебным планом</b>
<b>Лабораторные работы</b>	<b>7 семестр - 32 часа;</b>
<b>Консультации</b>	<b>7 семестр - 2 часа;</b>
<b>Самостоятельная работа</b>	<b>7 семестр - 77,5 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>Тестирование</b>	
<b>Перекрестный опрос</b>	
<b>Промежуточная аттестация:</b>	
<b>Экзамен</b>	<b>7 семестр - 0,5 часа;</b>

**Москва 2023**

**ПРОГРАММУ СОСТАВИЛ:**

Преподаватель

(должность)

	<b>Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»</b>	
	<b>Сведения о владельце ЦЭП МЭИ</b>	
	Владелец	Глазков В.В.
	Идентификатор	R43380c76-GlazkovVV-e4c0a72f

(подпись)

В.В. Глазков

(расшифровка подписи)

**СОГЛАСОВАНО:**

Руководитель образовательной программы

(должность, ученая степень, ученое звание)

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

(подпись)

Г.Г. Яньков

(расшифровка подписи)

Заведующий выпускающей кафедры

(должность, ученая степень, ученое звание)

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

(подпись)

Д.Н. Герасимов

(расшифровка подписи)

## 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

**Цель освоения дисциплины:** изучение методов экспериментального исследования гидродинамики, конвективного однофазного теплообмена, теплообмена при фазовых превращениях и конвективного массообмена и практическое освоение современных методов лабораторного моделирования этих процессов

### Задачи дисциплины

- познакомить обучающихся с методами физического моделирования процессов тепло- и массообмена;
- научить обоснованно выбирать метод исследования основных характеристик процессов тепло- и массообмена с учетом специфики теплоносителя, режимных параметров и ожидаемой погрешности измерения;
- научить проводить измерения коэффициентов гидравлического сопротивления, коэффициентов теплоотдачи и массоотдачи, а также полей давления, скорости, температуры и концентрации в потоках жидкости и газа;
- в процессе выполнения лабораторных работ научить студентов проведению теплофизического эксперимента с использованием современной аппаратуры;
- научить способам обработки и анализа результатов экспериментов по исследованию тепло- и массообмена и расчета погрешностей измерений..

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 к проведению лабораторного и численного теплофизического эксперимента, к проектированию и конструированию с этой целью соответствующих экспериментальных стендов, к обработке опытных данных	ИД-1ПК-2 Обосновывает методику исследования конкретных процессов гидродинамики и теплообмена	знать: - основные методы физического моделирования процессов гидродинамики, тепло- и массообмена; - источники научно-технической информации (журналы, сайты Интернет) по различным проблемам теплообмена.  уметь: - обоснованно выбирать метод, схему экспериментальной установки и приборы для измерения заданной характеристики тепло- или массообмена с учетом допустимой погрешности измерения; - проводить оценку погрешностей полученных экспериментальных данных и их сравнение с результатами других исследований.
ПК-2 Способен к проведению лабораторного и численного теплофизического эксперимента, к проектированию и	ИД-3ПК-2 Способен к организации лабораторного эксперимента и обработке полученных экспериментальных данных	знать: - методы измерения коэффициентов гидравлического сопротивления, коэффициентов теплоотдачи и массоотдачи, полей давления, скорости, температуры и концентрации в потоках жидкости и газа;

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции	Запланированные результаты обучения
<p>конструированию с этой целью соответствующих экспериментальных стендов, к обработке опытных данных</p>		<p>- основные источники научно-технической информации о методах расчета процессов теплообмена и теплофизических свойствах веществ.</p> <p>уметь:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- проводить измерения температуры поверхности теплообмена и температуры жидкости, а также давления, скорости и расхода жидкости, тепловых потоков, потоков массы компонентов смеси;</li> <li>- определять по первичным экспериментальным данным, полученным в процессе физического моделирования, коэффициенты гидравлического сопротивления, теплои массоотдачи, а также связь между безразмерными числами подобия, характеризующими изучаемые процессы.</li> </ul>

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ ВО

Дисциплина относится к основной профессиональной образовательной программе Теплофизика (далее – ОПОП), направления подготовки 14.03.01 Ядерная энергетика и теплофизика, уровень образования: высшее образование - бакалавриат.

Базируется на уровне среднего общего образования.

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	Методы моделирования процессов гидродинамики, тепло- и массообмена. Схемы экспериментальных установок	24	7	6	8	-	-	-	-	-	-	10	-	<b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [1], 5-16 [2], 455-460 [3], 455-461
1.1	Методы моделирования процессов гидродинамики, тепло- и массообмена. Схемы экспериментальных установок	24		6	8	-	-	-	-	-	-	10	-	
2	Стационарные и нестационарные методы измерения коэффициентов теплоотдачи.	32		10	8	-	-	-	-	-	-	14	-	
2.1	Стационарные и нестационарные методы измерения коэффициентов теплоотдачи.	32	10	8	-	-	-	-	-	-	14	-		
3	Методы измерения коэффициентов	26		8	8	-	-	-	-	-	-	10	-	<b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b>

	гидравлического сопротивления.												[1], 42-55 [2], 468-471 [3], 471-475
3.1	Методы измерения коэффициентов гидравлического сопротивления.	26	8	8	-	-	-	-	-	-	10	-	
4	Методы измерений полей давления, скорости, температуры и концентрации.	26	8	8	-	-	-	-	-	-	10	-	<u>Изучение материалов литературных источников:</u> [1], 60-88 [2], 472-480 [3], 476-480
4.1	Методы измерений полей давления, скорости, температуры и концентрации.	26	8	8	-	-	-	-	-	-	10	-	
	Экзамен	36.0	-	-	-	-	2	-	-	0.5	-	33.5	
	<b>Всего за семестр</b>	<b>144.0</b>	<b>32</b>	<b>32</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>2</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>0.5</b>	<b>44</b>	<b>33.5</b>	
	<b>Итого за семестр</b>	<b>144.0</b>	<b>32</b>	<b>32</b>	<b>-</b>	<b>2</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>0.5</b>	<b>44</b>	<b>77.5</b>		

**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. Методы моделирования процессов гидродинамики, тепло- и массообмена. Схемы экспериментальных установок

1.1. Методы моделирования процессов гидродинамики, тепло- и массообмена. Схемы экспериментальных установок

#### 2. Стационарные и нестационарные методы измерения коэффициентов теплоотдачи.

2.1. Стационарные и нестационарные методы измерения коэффициентов теплоотдачи.

#### 3. Методы измерения коэффициентов гидравлического сопротивления.

3.1. Методы измерения коэффициентов гидравлического сопротивления.

#### 4. Методы измерений полей давления, скорости, температуры и концентрации.

4.1. Методы измерений полей давления, скорости, температуры и концентрации.

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

не предусмотрено

### **3.4. Темы лабораторных работ**

1. №7. Исследование теплоотдачи при обтекании крылового профиля потоком воздуха в

аэродинамической трубе.;

2. №6. Исследование теплообмена в условиях свободной конвекции;

3. №4. Исследование теплообмена при течении газа в круглой трубе в условиях постоянной

и переменной по длине тепловой нагрузки.;

4. №1. Исследование теплоотдачи при пузырьковом, переходном и пленочном режимах кипения жидкости в условиях свободной конвекции..

### **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>						
источники научно-технической информации (журналы, сайты Интернет) по различным проблемам теплообмена	ИД-1ПК-2	+				Тестирование/КМ №1. Выполнение лабораторных работ №1, 4. Тест по лекциям 1-4.
основные методы физического моделирования процессов гидродинамики, тепло- и массообмена	ИД-1ПК-2		+			Тестирование/КМ №2. Выполнение лабораторных работ №6, 7. Тест по лекциям 5-9.
основные источники научно-технической информации о методах расчета процессов теплообмена и теплофизических свойствах веществ	ИД-3ПК-2				+	Перекрестный опрос/КМ №5. Защита лабораторных работ №6, 7. Тест по лекциям 10-13.
методы измерения коэффициентов гидравлического сопротивления, коэффициентов теплоотдачи и массоотдачи, полей давления, скорости, температуры и концентрации в потоках жидкости и газа	ИД-3ПК-2				+	Перекрестный опрос/КМ №3. Защита лабораторных работ №1, 4. Перекрестный опрос/КМ №4. Расчетное задание
<b>Уметь:</b>						
проводить оценку погрешностей полученных экспериментальных данных и их сравнение с результатами других исследований	ИД-1ПК-2				+	Тестирование/КМ №2. Выполнение лабораторных работ №6, 7. Тест по лекциям 5-9.
обоснованно выбирать метод, схему экспериментальной установки и приборы для измерения заданной характеристики тепло- или массообмена с учетом допустимой погрешности измерения	ИД-1ПК-2	+				Тестирование/КМ №1. Выполнение лабораторных работ №1, 4. Тест по лекциям 1-4.



определять по первичным экспериментальным данным, полученным в процессе физического моделирования, коэффициенты гидравлического сопротивления, теплои массоотдачи, а также связь между безразмерными числами подобия, характеризующими изучаемые процессы	ИД-3ПК-2			+		Перекрестный опрос/КМ №5. Защита лабораторных работ № 6, 7. Тест по лекциям 10-13.
проводить измерения температуры поверхности теплообмена и температуры жидкости, а также давления, скорости и расхода жидкости, тепловых потоков, потоков массы компонентов смеси	ИД-3ПК-2			+		Перекрестный опрос/КМ №3. Защита лабораторных работ №1, 4.

## **4. КОМПЕТЕНТНОСТНО-ОРИЕНТИРОВАННЫЕ ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ КОНТРОЛЯ ОСВОЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (ТЕКУЩИЙ КОНТРОЛЬ УСПЕВАЕМОСТИ, ПРОМЕЖУТОЧНАЯ АТТЕСТАЦИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ)**

### **4.1. Текущий контроль успеваемости**

**7 семестр**

Форма реализации: Проверка задания

1. КМ №4. Расчетное задание (Перекрестный опрос)

Форма реализации: Смешанная форма

1. КМ №1. Выполнение лабораторных работ №1, 4. Тест по лекциям 1-4. (Тестирование)
2. КМ №2. Выполнение лабораторных работ №6, 7. Тест по лекциям 5-9. (Тестирование)
3. КМ №3. Защита лабораторных работ №1, 4. (Перекрестный опрос)
4. КМ №5. Защита лабораторных работ № 6, 7. Тест по лекциям 10-13. (Перекрестный опрос)

Балльно-рейтинговая структура дисциплины является приложением А.

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

*Экзамен (Семестр №7)*

Оценка по курсу выставляется как средняя от оценки за работу в семестре и оценки на экзамене, с округлением в большую сторону.

В диплом выставляется оценка за 7 семестр.

**Примечание:** Оценочные материалы по дисциплине приведены в фонде оценочных материалов ОПОП.

## **5. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **5.1 Печатные и электронные издания:**

1. Н. И. Стоянов, С. С. Смирнов, А. В. Смирнова, Л. В. Фомущенко- "Теплотехнические измерения", Издательство: "Северо-Кавказский Федеральный университет (СКФУ)", Ставрополь, 2017 - (92 с.)  
[https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=562683;](https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=562683)
2. "Теплоэнергетика и теплотехника: Справочная серия: В 4 кн. Кн. 2. Теоретические основы теплотехники. Теплотехнический эксперимент: справочник", (4-е изд., стереот.), Издательство: "Издательский дом МЭИ", Москва, 2007 - (564 с.)  
[http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1\\_id=72301;](http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=72301)
3. Теплоэнергетика и теплотехника : справочник : в 4 кн. / Общ. ред. А. В. Клименко, В. М. Зорин . – 4-е изд., стер . – М. : Издательский дом МЭИ, 2007 . - ISBN 978-5-383-00015-1 . Кн.2 : Теоретические основы теплотехники. Теплотехнический эксперимент / А. А. Александров, и др. ; Общ. ред. А. В. Клименко, В. М. Зорин . – 2007 . – 564 с. - ISBN 978-5-383-00017-5 .  
[http://elibr.mpei.ru/action.php?kt\\_path\\_info=ktcore.SecViewPlugin.actions.document&fDocumentId=4274.](http://elibr.mpei.ru/action.php?kt_path_info=ktcore.SecViewPlugin.actions.document&fDocumentId=4274)

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

1. Office / Российский пакет офисных программ;
2. Python;

3. ANES;
4. Яндекс Браузер.

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

1. ЭБС Лань - <https://e.lanbook.com/>
2. Научная электронная библиотека - <https://elibrary.ru/>
3. База данных Web of Science - <http://webofscience.com/>
4. База данных Scopus - <http://www.scopus.com>
5. Национальная электронная библиотека - <https://rusneb.ru/>
6. Журнал Science - <https://www.sciencemag.org/>

### 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-408, Учебная аудитория	стол преподавателя, стол учебный, стул, шкаф, компьютерная сеть с выходом в Интернет, мультимедийный проектор, доска маркерная, компьютер персональный
Учебные аудитории для проведения лабораторных занятий	Т-108, Учебная лаборатория механики жидкости и газа; Учебная лаборатория автоматизированных систем измерения; Учебная лаборатория теплообмена	стол преподавателя, стол учебный, стул, шкаф, вешалка для одежды, компьютерная сеть с выходом в Интернет, мультимедийный проектор, доска маркерная, оборудование учебное, компьютер персональный
Учебные аудитории для проведения промежуточной аттестации	Т-408, Учебная аудитория	стол преподавателя, стол учебный, стул, шкаф, компьютерная сеть с выходом в Интернет, мультимедийный проектор, доска маркерная, компьютер персональный
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

### Экспериментальное исследование теплообмена

(название дисциплины)

#### 7 семестр

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

- КМ-1 КМ №1. Выполнение лабораторных работ №1, 4. Тест по лекциям 1-4. (Тестирование)  
 КМ-2 КМ №2. Выполнение лабораторных работ №6, 7. Тест по лекциям 5-9. (Тестирование)  
 КМ-3 КМ №3. Защита лабораторных работ №1, 4. (Перекрестный опрос)  
 КМ-4 КМ №4. Расчетное задание (Перекрестный опрос)  
 КМ-5 КМ №5. Защита лабораторных работ № 6, 7. Тест по лекциям 10-13. (Перекрестный опрос)

**Вид промежуточной аттестации – Экзамен.**

Номер раздела	Раздел дисциплины	Индекс КМ:	КМ-1	КМ-2	КМ-3	КМ-4	КМ-5
		Неделя КМ:	6	10	12	14	16
1	Методы моделирования процессов гидродинамики, тепло- и массообмена. Схемы экспериментальных установок						
1.1	Методы моделирования процессов гидродинамики, тепло- и массообмена. Схемы экспериментальных установок		+				
2	Стационарные и нестационарные методы измерения коэффициентов теплоотдачи.						
2.1	Стационарные и нестационарные методы измерения коэффициентов теплоотдачи.			+	+		
3	Методы измерения коэффициентов гидравлического сопротивления.						
3.1	Методы измерения коэффициентов гидравлического сопротивления.				+	+	+
4	Методы измерений полей давления, скорости, температуры и концентрации.						
4.1	Методы измерений полей давления, скорости, температуры и концентрации.			+			+
Вес КМ, %:			15	15	20	30	20