

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

| | |
|--|---|
| Блок: | Блок 1 «Дисциплины (модули)» |
| Часть образовательной программы: | Часть, формируемая участниками образовательных отношений |
| № дисциплины по учебному плану: | Б1.Ч.11 |
| Трудоемкость в зачетных единицах: | 7 семестр - 4; |
| Часов (всего) по учебному плану: | 144 часа |
| Лекции | 7 семестр - 32 часа; |
| Практические занятия | не предусмотрено учебным планом |
| Лабораторные работы | 7 семестр - 32 часа; |
| Консультации | 7 семестр - 2 часа; |
| Самостоятельная работа | 7 семестр - 77,5 часа; |
| в том числе на КП/КР | не предусмотрено учебным планом |
| Иная контактная работа | проводится в рамках часов аудиторных занятий |
| включая: | |
| Тестирование | |
| Перекрестный опрос | |
| Промежуточная аттестация: | |
| Экзамен | 7 семестр - 0,5 часа; |

Москва 2022

ПРОГРАММУ СОСТАВИЛ:

Преподаватель

(должность)

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

(подпись)

В.В. Глазков

(расшифровка подписи)

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель образовательной программы

(должность, ученая степень, ученое звание)

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

(подпись)

Г.Г. Яньков

(расшифровка подписи)

Заведующий выпускающей кафедры

(должность, ученая степень, ученое звание)

| | | |
|--|---|-------------------------------|
| | Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» | |
| | Сведения о владельце ЦЭП МЭИ | |
| | 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"> - проводить измерения температуры поверхности теплообмена и температуры жидкости, а также давления, скорости и расхода жидкости, тепловых потоков, потоков массы компонентов смеси; - 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. |

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 | - | <u>Изучение материалов литературных источников:</u> [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 | - | <u>Изучение материалов литературных источников:</u> | |

| | | | | | | | | | | | | | |
|-----|--|--------------|-----------|-----------|----------|----------|----------|----------|------------|------------|-------------|-------------|---|
| | 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 | |
| | Всего за семестр | 144.0 | 32 | 32 | - | - | 2 | - | - | 0.5 | 44 | 33.5 | |
| | Итого за семестр | 144.0 | 32 | 32 | - | 2 | - | - | 0.5 | 44 | 77.5 | | |

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. 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. №1. Исследование теплоотдачи при пузырьковом, переходном и пленочном режимах кипения жидкости в условиях свободной конвекции.;
2. №4. Исследование теплообмена при течении газа в круглой трубе в условиях постоянной и переменной по длине тепловой нагрузки.;
3. №6. Исследование теплообмена в условиях свободной конвекции;
4. №7. Исследование теплоотдачи при обтекании крылового профиля потоком воздуха в аэродинамической трубе..

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 | |
| Знать: | | | | | | |
| 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 |
| Уметь: | | | | | | |
| 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>;
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;
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.

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 |