

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
ТЕПЛОПЕРЕДАЧА В ПРОМЫШЛЕННЫХ АППАРАТАХ

Блок:	Блок 1 «Дисциплины (модули)»
Часть образовательной программы:	Часть, формируемая участниками образовательных отношений
№ дисциплины по учебному плану:	Б1.Ч.05
Трудоемкость в зачетных единицах:	2 семестр - 5;
Часов (всего) по учебному плану:	180 часов
Лекции	2 семестр - 32 часа;
Практические занятия	2 семестр - 32 часа;
Лабораторные работы	не предусмотрено учебным планом
Консультации	2 семестр - 2 часа;
Самостоятельная работа	2 семестр - 113,5 часов;
в том числе на КП/КР	не предусмотрено учебным планом
Иная контактная работа	проводится в рамках часов аудиторных занятий
включая: Контрольная работа Индивидуальный проект	
Промежуточная аттестация:	
Экзамен	2 семестр - 0,5 часа;

Москва 2025

ПРОГРАММУ СОСТАВИЛ:


Преподаватель

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Минко К.Б.
	Идентификатор	Rесbаdeаb-MinkоKB-6с41f784

К.Б. Минко


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	Rа5495398-GerasimovDN-6b58615

Д.Н. Герасимов

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Цель освоения дисциплины: изучение типичных конструкций современных теплообменных устройств и практическое освоение основных методов их теплогидравлического расчета.

Задачи дисциплины

- понимание сути происходящих в теплообменном устройстве теплофизических процессов;
- приобретение знаний о типичных конструкциях современных теплообменных аппаратов, материалах и теплоносителях, применяемых в современном теплообменном оборудовании;
- освоение основного содержания и методик теплового и гидравлического расчета типичных теплообменных устройств;
- приобретение навыков проведения теплогидравлических расчетов реальных теплообменных устройств, в том числе с применением современных компьютерных расчетных программ;
- приобретение навыков использования справочной литературы по теории, методам расчета и конструирования теплообменного оборудования.

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: - конструкцию рекуперативных поверхностных теплообменников с однофазным теплоносителем; - общую теорию теплообменников; - конструкцию теплообменников с фазовым переходом; - особенности теплогидравлических процессов при фазовых превращениях. уметь: - анализировать и рассчитывать теплогидравлические процессы в теплообменниках с фазовым переходом; - анализировать и рассчитывать теплогидравлические процессы при фазовых превращениях; - анализировать и рассчитывать процессы в рекуперативных поверхностных теплообменниках с фазовым переходом одного из теплоносителей; - анализировать и рассчитывать процессы в рекуперативных поверхностных теплообменниках с однофазным теплоносителем.

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.

Требования к входным знаниям и умениям:

- знать терминологию в области гидродинамики и теплообмена
- знать методы расчета гидравлического сопротивления при течении вязкой жидкости
- знать физические механизмы переноса тепла при вынужденной однофазной конвекции и методы расчета соответствующих процессов теплообмена
- знать закономерности процессов и методы расчета гидродинамики и теплообмена при фазовых превращениях
- уметь самостоятельно разбираться в методиках расчета процессов теплообмена и применять их для решения поставленной задачи
- уметь использовать стандартные программные средства и самостоятельно составлять программы для проведения расчетов соответствующих процессов теплообмена

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 5 зачетных единиц, 180 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	Общая теория теплообменников	20	2	6	-	4	-	-	-	-	-	10	-	<u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u> Изучение дополнительного материала по разделу "Введение" <u>Изучение материалов литературных источников:</u> [3], п. 4.1.1-4.1.3 [5], п. 1.1-1.5	
1.1	Введение	4		2	-	-	-	-	-	-	-	2	-		
1.2	Общая теория теплообменников	16		4	-	4	-	-	-	-	-	8	-		
2	Рекуперативные поверхностные теплообменники с однофазным теплоносителем	28		8	-	10	-	-	-	-	-	-	10	-	<u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u> Изучение дополнительного материала по разделу "Рекуперативные поверхностные теплообменники с однофазным теплоносителем" <u>Изучение материалов литературных источников:</u> [3], п. 4.1.5-4.1.13 [4], п. 3.2, 3.3, 3.7, 3.8, 3.9
2.1	Рекуперативные поверхностные теплообменники с однофазным теплоносителем	28		8	-	10	-	-	-	-	-	-	10	-	
3	Основные закономерности гидродинамики и теплообмена в аппаратах с фазовым переходом одного из теплоносителей	24	6	-	4	-	-	-	-	-	-	14	-	<u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u> Изучение дополнительного материала по разделу "Основные закономерности гидродинамики и теплообмена в аппаратах с фазовым переходом одного из теплоносителей" <u>Изучение материалов литературных источников:</u> [1], гл. 7-9 [2], гл. 7-8	
3.1	Основные закономерности гидродинамики и	24	6	-	4	-	-	-	-	-	-	14	-		

	теплообмена в аппаратах с фазовым переходом одного из теплоносителей												
4	Рекуперативные поверхностные теплообменники с фазовым переходом одного из теплоносителей. Регенеративные и специальные теплообменники.	72	12	-	14	-	-	-	-	-	46	-	<p><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u> Изучение дополнительного материала по разделу "Рекуперативные поверхностные теплообменники с фазовым переходом одного из теплоносителей"</p> <p><u>Изучение материалов литературных источников:</u></p> <p>[3], п. 4.1.4 [4], п. 3.10</p>
4.1	Рекуперативные поверхностные теплообменники с фазовым переходом одного из теплоносителей	54	8	-	10	-	-	-	-	-	36	-	
4.2	Регенеративные и специальные теплообменники	18	4	-	4	-	-	-	-	-	10	-	
	Экзамен	36.0	-	-	-	-	2	-	-	0.5	-	33.5	
	Всего за семестр	180.0	32	-	32	-	2	-	-	0.5	80	33.5	
	Итого за семестр	180.0	32	-	32	2	-	-	-	0.5	113.5		

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. Общая теория теплообменников

1.1. Введение

Классификация теплообменных устройств. Общая характеристика рекуперативных поверхностных и смесительных теплообменников; принципиальная схема регенеративных теплообменников. Поверочный и конструкторский расчет теплообменника. Характеристика теплоносителей, конструкционных материалов, используемых в теплообменниках. Вопросы эксплуатации теплообменников. Влияние отложений (загрязнений) на теплопередачу, способы снижения отрицательного влияния загрязнений..

1.2. Общая теория теплообменников

Понятие идеального теплообменника. Уравнение теплового баланса и теплопередачи, определение среднего температурного напора в идеальном прямоточном и противоточном теплообменнике. Водяной эквивалент. Изменение среднемассовых температур теплоносителей по длине идеального прямоточного и противоточного теплообменников в зависимости от соотношения водяных эквивалентов теплоносителей. «Среднеарифметический» температурный напор. «Число единиц переноса» и термодинамическая эффективность теплообменников. Вывод формул для эффективности идеального прямоточного и противоточного теплообменников; зависимость эффективности от «числа единиц переноса» и соотношения водяных эквивалентов теплоносителей. Поверочный и конструкторский расчет теплообменника с помощью методики «эффективность - число единиц переноса» и поправки для средней разности температур. Эффективность и расчет среднего температурного напора для перекрестного и смешанного течения теплоносителей. Многоходовые теплообменные аппараты..

2. Рекуперативные поверхностные теплообменники с однофазным теплоносителем

2.1. Рекуперативные поверхностные теплообменники с однофазным теплоносителем

Теплообменники типа «труба в трубе». Особенности конструкции и расчет теплопередачи. Параллельная и последовательно-параллельная схема соединения теплообменников. Кожухотрубные теплообменники. Основные типы и особенности конструкции. Способы компенсации температурных деформаций. Методика расчета теплопередачи в кожухотрубных теплообменниках с поперечными перегородками. Эффективность кожухотрубных теплообменников. Расчет теплопередачи через оребренную стенку. Эффективность простых по геометрии ребер, эффективность оребренной поверхности. Пластинчатые и спиральные теплообменники. Пластинчато-ребристые (компактные) теплообменники. Теплообменники из изогнутых труб: змеевиковые аппараты, теплообменники из спиральных и витых труб. Теплообменники воздушного охлаждения..

3. Основные закономерности гидродинамики и теплообмена в аппаратах с фазовым переходом одного из теплоносителей

3.1. Основные закономерности гидродинамики и теплообмена в аппаратах с фазовым переходом одного из теплоносителей

Классификация многофазных потоков. Расходные и истинные паросодержания двухфазных потоков; истинные и приведенные скорости фаз, скорость смеси и скорость циркуляции; гомогенная (расходная) и истинная плотности смеси. Структура (режимы течения) двухфазных потоков в вертикальных и горизонтальных каналах. Определение (расчет) границ режимов течения. Влияние профилей скорости и истинного объемного паросодержания на эффективное скольжение фаз в двухфазных потоках. Связь истинного и

расходного объемного паросодержаний в потоках с локальным скольжением фаз (модели Д.А. Лабунцова и Зубера-Финдлея). Одномерные уравнения сохранения импульса и энергии в двухфазных потоках квазигомогенной структуры. Гомогенная модель расчета сопротивления трения в двухфазном потоке. Уточнение гомогенной модели с учетом фактического скольжения фаз. Моделирование кольцевого двухфазного потока. Качественный анализ смены режимов течения и теплообмена по длине парогенерирующего канала. Теплообмен при развитом пузырьковом кипении в условиях свободного движения жидкости (в большом объеме). Начало закипания и теплообмен при кипении в каналах..

4. Рекуперативные поверхностные теплообменники с фазовым переходом одного из теплоносителей. Регенеративные и специальные теплообменники.

4.1. Рекуперативные поверхностные теплообменники с фазовым переходом одного из теплоносителей

Основные типы промышленных конденсаторов и особенности их теплового расчета. Классификация и общая характеристика теплообменников с парообразованием. Сепарация пара и поддержание чистоты кипящего теплоносителя в испарителях. Испарители. Парогенераторы АЭС с ВВЭР. Котельные установки ТЭС. Методика расчета испарителя с естественной циркуляцией кипящего теплоносителя. Качественные закономерности кризиса кипения в трубах. Скелетные таблицы рекомендуемых значений КТП при кипении воды в круглых трубах. Кризис кипения в каналах при высоких скоростях течения и больших недогревах жидкости. Термодинамический кризис кипения в трубах..

4.2. Регенеративные и специальные теплообменники

Особенности течения и теплообмена в каналах малого поперечного сечения (микро- и мини-каналах). Тепловые трубы. Термосифон. Область применения, принцип действия, факторы, определяющие эффективность работы. Принципиальные конструкции и основное содержание тепло-гидравлического расчета тепловых труб..

3.3. Темы практических занятий

1. Общая теория теплообменников. Поверочный и конструкторский расчет теплообменного аппарата;
2. Рекуперативные теплообменные аппараты с однофазным теплоносителем. Расчет теплообменника типа «труба в трубе»;
3. Рекуперативные теплообменные аппараты с однофазным теплоносителем. Расчет кожухотрубного теплообменника;
4. Рекуперативные теплообменные аппараты с однофазным теплоносителем. Расчет теплообменников с оребренной стенкой. Расчет теплообменника воздушного охлаждения;
5. Расчет гидравлического сопротивления в контурах теплообменных устройств с фазовым превращением теплоносителей;
6. Расчет истинного объемного паросодержания в контурах теплообменных устройств;
7. Рекуперативные теплообменные аппараты с фазовым переходом теплоносителей. Расчет испарителя (паропреобразователя) с вынужденной циркуляцией;
8. Рекуперативные теплообменные аппараты с фазовым переходом теплоносителей. Расчет испарителя (паропреобразователя) с естественной циркуляцией;
9. Регенеративные и специальные теплообменники. Расчет термосифона;
10. Общая теория теплообменников. Идеальный противоточный и прямоточный теплообменные аппараты. Аппараты с перекрестным током теплоносителей.

3.4. Темы лабораторных работ не предусмотрено

3.5 Консультации

Групповые консультации по разделам дисциплины (ГК)

1. Обсуждение материалов раздела "Введение"
2. Обсуждение материалов по разделу "Рекуперативные поверхностные теплообменники с однофазным теплоносителем"
3. Обсуждение материалов по разделу "Основные закономерности гидродинамики и теплообмена в аппаратах с фазовым переходом одного из теплоносителей"
4. Обсуждение материалов по разделу "Рекуперативные поверхностные теплообменники с фазовым переходом одного из теплоносителей"

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:						
особенности теплогидравлических процессов при фазовых превращениях	ИД-2ПК-2			+		Контрольная работа/Основные закономерности гидродинамики и теплообмена в аппаратах с фазовым переходом одного из теплоносителей
конструкцию теплообменников с фазовым переходом	ИД-2ПК-2				+	Индивидуальный проект/Типовой расчет
общую теорию теплообменников	ИД-2ПК-2	+				Контрольная работа/Общая теория теплообменников
конструкцию рекуперативных поверхностных теплообменников с однофазным теплоносителем	ИД-2ПК-2		+			Контрольная работа/Рекуперативные поверхностные теплообменники с однофазным теплоносителем
Уметь:						
анализировать и рассчитывать процессы в рекуперативных поверхностных теплообменниках с однофазным теплоносителем	ИД-2ПК-2		+			Контрольная работа/Рекуперативные поверхностные теплообменники с однофазным теплоносителем
анализировать и рассчитывать процессы в рекуперативных поверхностных теплообменниках с фазовым переходом одного из теплоносителей	ИД-2ПК-2				+	Контрольная работа/Рекуперативные поверхностные теплообменники с фазовым переходом одного из теплоносителей
анализировать и рассчитывать теплогидравлические процессы при фазовых превращениях	ИД-2ПК-2			+		Контрольная работа/Основные закономерности гидродинамики и теплообмена в аппаратах с фазовым переходом одного из теплоносителей
анализировать и рассчитывать теплогидравлические процессы в теплообменниках с фазовым переходом	ИД-2ПК-2				+	Индивидуальный проект/Типовой расчет

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

4.1. Текущий контроль успеваемости

2 семестр

Форма реализации: Письменная работа

1. Общая теория теплообменников (Контрольная работа)
2. Основные закономерности гидродинамики и теплообмена в аппаратах с фазовым переходом одного из теплоносителей (Контрольная работа)
3. Рекуперативные поверхностные теплообменники с однофазным теплоносителем (Контрольная работа)
4. Рекуперативные поверхностные теплообменники с фазовым переходом одного из теплоносителей (Контрольная работа)

Форма реализации: Проверка задания

1. Типовой расчет (Индивидуальный проект)

Балльно-рейтинговая структура дисциплины является приложением А.

4.2 Промежуточная аттестация по дисциплине

Экзамен (Семестр №2)

Оценка определяется в соответствии с Положением о балльно-рейтинговой системе для студентов НИУ "МЭИ" на основании семестровой и аттестационной составляющих.

В диплом выставляется оценка за 2 семестр.

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

5. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

5.1 Печатные и электронные издания:

1. Ягов В.В.- "Теплообмен в однофазных средах и при фазовых превращениях", Издательство: "МЭИ", Москва, 2019
<https://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785383012451.html>;
2. Лабунцов Д.А. , Ягов В.В. - "Механика двухфазных систем", Издательство: "Издательский дом МЭИ", Москва, 2016 - (384 с.)
http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=72240;
3. Зорин В.М.- "Теплоэнергетика и теплотехника Кн. 4. Промышленная теплоэнергетика и теплотехника", Издательство: "МЭИ", Москва, 2017
<https://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785383011713.html>;
4. Справочник по теплообменникам: В 2 т. Т.2. : пер. с англ. – М. : Энергоатомиздат, 1987 . – 352 с.;
5. Справочник по теплообменникам: В 2 т. Т.1. : пер. с англ. – М. : Энергоатомиздат, 1987 . – 560 с..

5.2 Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение:

1. Office / Российский пакет офисных программ;
2. Windows / Операционная система семейства Linux.

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
3. Электронная библиотека МЭИ (ЭБ МЭИ) - <http://elib.mpei.ru/login.php>
4. Электронная открытая база данных "Polpred.com Обзор СМИ" - <https://www.polpred.com>

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-417, Учебная аудитория	стол преподавателя, стол учебный, стул, шкаф, компьютерная сеть с выходом в Интернет, мультимедийный проектор, доска маркерная, компьютер персональный
Учебные аудитории для проведения практических занятий, КР и КП	Т-417, Учебная аудитория	стол преподавателя, стол учебный, стул, шкаф, компьютерная сеть с выходом в Интернет, мультимедийный проектор, доска маркерная, компьютер персональный
Учебные аудитории для проведения промежуточной аттестации	Т-417, 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

Теплопередача в промышленных аппаратах

(название дисциплины)

2 семестр

Перечень контрольных мероприятий текущего контроля успеваемости по дисциплине:

- КМ-1 Общая теория теплообменников (Контрольная работа)
- КМ-2 Рекуперативные поверхностные теплообменники с однофазным теплоносителем (Контрольная работа)
- КМ-3 Основные закономерности гидродинамики и теплообмена в аппаратах с фазовым переходом одного из теплоносителей (Контрольная работа)
- КМ-4 Рекуперативные поверхностные теплообменники с фазовым переходом одного из теплоносителей (Контрольная работа)
- КМ-5 Типовой расчет (Индивидуальный проект)

Вид промежуточной аттестации – Экзамен.

Номер раздела	Раздел дисциплины	Индекс КМ:	КМ-1	КМ-2	КМ-3	КМ-4	КМ-5
		Неделя КМ:	4	7	11	14	15
1	Общая теория теплообменников						
1.1	Введение		+				
1.2	Общая теория теплообменников		+				
2	Рекуперативные поверхностные теплообменники с однофазным теплоносителем						
2.1	Рекуперативные поверхностные теплообменники с однофазным теплоносителем			+			
3	Основные закономерности гидродинамики и теплообмена в аппаратах с фазовым переходом одного из теплоносителей						
3.1	Основные закономерности гидродинамики и теплообмена в аппаратах с фазовым переходом одного из теплоносителей				+		
4	Рекуперативные поверхностные теплообменники с фазовым переходом одного из теплоносителей. Регенеративные и специальные теплообменники.						
4.1	Рекуперативные поверхностные теплообменники с фазовым переходом одного из теплоносителей					+	+
4.2	Регенеративные и специальные теплообменники						+
Вес КМ, %:			20	20	20	20	20