

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 2026

ПРОГРАММУ СОСТАВИЛ:

Преподаватель

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Минко К.Б.
	Идентификатор	Rес6adeab-MinkoKB-6c41f784

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	Ra5495398-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: - особенности теплогидравлических процессов при фазовых превращениях; - конструкцию рекуперативных поверхностных теплообменников с однофазным теплоносителем; - общую теорию теплообменников; - конструкцию теплообменников с фазовым переходом. уметь: - анализировать и рассчитывать теплогидравлические процессы при фазовых превращениях; - анализировать и рассчитывать теплогидравлические процессы в теплообменниках с фазовым переходом; - анализировать и рассчитывать процессы в рекуперативных поверхностных теплообменниках с однофазным теплоносителем; - анализировать и рассчитывать процессы в рекуперативных поверхностных теплообменниках с фазовым переходом одного из теплоносителей.

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

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

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. Клименко А.В., 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