

Министерство науки и высшего образования РФ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Национальный исследовательский университет «МЭИ»

Направление подготовки/специальность: 13.04.03 Энергетическое машиностроение

Наименование образовательной программы: Газотурбинные, паротурбинные установки и двигатели

Уровень образования: высшее образование - магистратура

Форма обучения: Очная

Рабочая программа дисциплины
ТЕПЛООБМЕННЫЕ АППАРАТЫ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК

Блок:	Блок 1 «Дисциплины (модули)»
Часть образовательной программы:	Часть, формируемая участниками образовательных отношений
№ дисциплины по учебному плану:	Б1.Ч.04
Трудоемкость в зачетных единицах:	1 семестр - 4;
Часов (всего) по учебному плану:	144 часа
Лекции	1 семестр - 32 часа;
Практические занятия	1 семестр - 16 часов;
Лабораторные работы	не предусмотрено учебным планом
Консультации	1 семестр - 2 часа;
Самостоятельная работа	1 семестр - 93,5 часа;
в том числе на КП/КР	не предусмотрено учебным планом
Иная контактная работа	проводится в рамках часов аудиторных занятий
включая: Контрольная работа Тестирование Расчетно-графическая работа	
Промежуточная аттестация:	
Экзамен	1 семестр - 0,5 часа;

Москва 2024

ПРОГРАММУ СОСТАВИЛ:

Преподаватель

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Тищенко В.А.
	Идентификатор	R4ea77783-TishchenkoVA-c16aaeb

В.А. Тищенко

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель
образовательной программы

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Митрохова О.М.
	Идентификатор	R1d0f453c-FichoriakOM-ee811867

О.М.
Митрохова

Заведующий выпускающей
кафедрой

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Грибин В.Г.
	Идентификатор	R44612ca0-GribinVG-8231e2ff

В.Г. Грибин

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Цель освоения дисциплины: изучение основных принципов расчета и проектирования двухфазных теплообменных аппаратов тепловых электростанций

Задачи дисциплины

- овладение основными принципами расчета процессов теплообмена в двухфазных теплообменных аппаратах;
- изучение базовых конструкций конденсаторов и сетевых подогревателей;
- овладение основами конструкторского расчета двухфазных теплообменных аппаратов;
- овладение методами проектирования двухфазных теплообменных аппаратов с применением САПР.

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 проектно-конструкторской деятельности в сфере энергетического машиностроения	ИД-1 _{ПК-2} Выполняет расчеты и разрабатывает конструкцию объекта профессиональной деятельности	знать: - физические аспекты процессов теплообмена при изменении агрегатного состояния вещества одного из теплоносителей; - конструктивные особенности двухфазных теплообменных аппаратов тепловых электростанций. уметь: - проводить конструкторский расчет двухфазного теплообменного аппарата; - подготавливать эскизную модель теплообменного аппарата в пакете САПР.
ПК-2 Способен к проектно-конструкторской деятельности в сфере энергетического машиностроения	ИД-2 _{ПК-2} Демонстрирует понимание влияния отдельных факторов на работу и конструкцию объекта профессиональной деятельности	знать: - особенности эксплуатации двухфазных теплообменных аппаратов и режимов их работы. уметь: - обосновывать выбор оптимальных параметров работы двухфазного теплообменного аппарата; - проводить расчет переменного режима работы двухфазного теплообменного аппарата.

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ ВО

Дисциплина относится к основной профессиональной образовательной программе Газотурбинные, паротурбинные установки и двигатели (далее – ОПОП), направления подготовки 13.04.03 Энергетическое машиностроение, 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 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	Особенности процессов теплообмена при изменении агрегатного состояния теплоносителей	14	1	4	-	4	-	-	-	-	-	6	-	<p><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u> самостоятельное изучение литературы (см. Методические указания РПД) <u>Изучение материалов литературных источников:</u> [1], стр. 263-283 [3], стр. 8-24</p>
1.1	Особенности процессов теплообмена при изменении агрегатного состояния теплоносителей	14		4	-	4	-	-	-	-	-	6	-	
2	Конденсационная установка. Основные компоненты. Классификация конденсаторов. Особенности конструкции конденсаторов	16		8	-	2	-	-	-	-	-	6	-	
2.1	Конденсационная установка. Основные компоненты. Классификация конденсаторов. Особенности конструкции конденсаторов	16		8	-	2	-	-	-	-	-	6	-	

3	Особенности процессов, протекающих в конденсаторах. Расчет коэффициентов теплопередачи	14	4	-	4	-	-	-	-	-	6	-	<u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u> самостоятельное изучение литературы (см. Методические указания РПД) <u>Изучение материалов литературных источников:</u> [3], стр. 71-77
3.1	Особенности процессов, протекающих в конденсаторах. Расчет коэффициентов теплопередачи	14	4	-	4	-	-	-	-	-	6	-	
4	Конструкторский расчет конденсаторов	16	2	-	2	-	-	-	-	-	12	-	<u>Подготовка расчетно-графического задания:</u> Выполнение п. 1 РГР <u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u> самостоятельное изучение литературы (см. Методические указания РПД) <u>Изучение материалов литературных источников:</u> [3], стр. 89-101
4.1	Конструкторский расчет конденсаторов	16	2	-	2	-	-	-	-	-	12	-	
5	Особенности эксплуатации конденсаторов и переменные режимы работы	18	4	-	2	-	-	-	-	-	12	-	<u>Подготовка расчетно-графического задания:</u> Выполнение п.2 РГР <u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u> самостоятельное изучение литературы (см. Методические указания РПД) <u>Изучение материалов литературных источников:</u> [2], стр. 129-151
5.1	Особенности эксплуатации конденсаторов и переменные режимы работы	18	4	-	2	-	-	-	-	-	12	-	
6	Сетевые подогреватели ТЭЦ. Теплофикация. Теплофикационные турбины. Особенности конструкции, эксплуатации и	16	6	-	2	-	-	-	-	-	8	-	<u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u> самостоятельное изучение литературы (см. Методические указания РПД) <u>Изучение материалов литературных источников:</u> [2], стр. 287-309 [3], стр. 134-146

	расчета												
6.1	Сетевые подогреватели ТЭЦ. Теплофикация. Теплофикационные турбины. Особенности конструкции, эксплуатации и расчета	16	6	-	2	-	-	-	-	-	8	-	
7	Основы проектирования теплообменных аппаратов в пакетах САПР	14	4	-	-	-	-	-	-	-	10	-	<i>Подготовка расчетно-графического задания:</i> Выполнение п.3 РГР <i>Изучение материалов литературных источников:</i> [4], стр. 169-184
7.1	Основы проектирования теплообменных аппаратов в пакетах САПР	14	4	-	-	-	-	-	-	-	10	-	
	Экзамен	36.0	-	-	-	-	2	-	-	0.5	-	33.5	
	Всего за семестр	144.0	32	-	16	-	2	-	-	0.5	60	33.5	
	Итого за семестр	144.0	32	-	16	2	-	-	0.5	0.5	93.5		

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. Особенности процессов теплообмена при изменении агрегатного состояния теплоносителей

1.1. Особенности процессов теплообмена при изменении агрегатного состояния теплоносителей

Основные понятия и определения. Уравнения теплообмена для случаев рекуперативного и смешивающего теплообменника. Расчет тепловых потоков при наличии конденсата. Основные числа подобия пленочного течения. Режимы течения водяной пленки и их влияние на теплообмен для горизонтального и вертикального расположения поверхностей в поле силы тяжести.

2. Конденсационная установка. Основные компоненты. Классификация конденсаторов. Особенности конструкции конденсаторов

2.1. Конденсационная установка. Основные компоненты. Классификация конденсаторов. Особенности конструкции конденсаторов

Конденсационная установка и ее место в тепловой схеме ТЭС. Основные компоненты конденсационной установки и их назначение. Сопряжение паровой турбины и конденсатора. Классификация конденсаторов по различным признакам. Компоновка конденсатора, основные элементы. Трубные пучки. Особенности конструкции конденсаторов.

3. Особенности процессов, протекающих в конденсаторах. Расчет коэффициентов теплопередачи

3.1. Особенности процессов, протекающих в конденсаторах. Расчет коэффициентов теплопередачи

Паровоздушная смесь. Влияние присосов воздуха на теплообмен. Коэффициент теплопередачи, методики его расчета. Основные уравнения расчета конденсаторов. Характеристики конденсатора. Влияние параметров теплообмена на значение вакуума в конденсаторе.

4. Конструкторский расчет конденсаторов

4.1. Конструкторский расчет конденсаторов

Назначение конструкторского расчета. Исходные данные, цель, порядок проведения расчета. Влияние параметров конденсатора на его геометрические характеристики.

5. Особенности эксплуатации конденсаторов и переменные режимы работы

5.1. Особенности эксплуатации конденсаторов и переменные режимы работы

Особенности работы конденсаторов. Основные негативные факторы, определяющие безотказность работы конденсатора, коррозионный и эрозионный износ трубок. Основные причины аварий оборудования конденсационной установки. Чистка конденсаторов, профилактика аварийных ситуаций. Влияние режимов работы ПСУ на характеристики конденсаторов.

6. Сетевые подогреватели ТЭЦ. Теплофикация. Теплофикационные турбины. Особенности конструкции, эксплуатации и расчета

6.1. Сетевые подогреватели ТЭЦ. Теплофикация. Теплофикационные турбины. Особенности конструкции, эксплуатации и расчета

Теплофикация. Тепловые сети. Устройство схемы ТЭЦ. График отпуска тепла, когенерация. Особенности работы тепловых сетей. Теплофикационная турбина, особенности конструкции и работы. Сетевые подогреватели. Классификация, особенности конструкции и расчета. Схемы подключения и типы сетевых подогревателей. Основные методы расчета коэффициентов теплопередачи. Основные факторы, влияющие на надежность и эффективность работы.

7. Основы проектирования теплообменных аппаратов в пакетах САПР

7.1. Основы проектирования теплообменных аппаратов в пакетах САПР

Эскизное проектирование теплообменного аппарата с помощью современной САПР. Особенности проектирования узлов двухфазного теплообменного аппарата, его компоновка и сборка.

3.3. Темы практических занятий

1. Теплообмен при изменении агрегатного состояния теплоносителей (2 часа);
2. Применение основных уравнений расчета процессов теплообмена в двухфазных теплообменниках (2 часа);
3. Определение параметров теплоносителей в конденсаторах (2 часа);
4. Применение уравнения Бермана для расчета коэффициента теплопередачи в конденсаторах (2 часа);
5. Влияние присосов воздуха на характеристики конденсаторов (2 часа);
6. Особенности конструкторского расчета конденсатора (2 часа);
7. Расчет влияния конструкционных и режимных параметров конденсаторов на характер теплообмена (2 часа);
8. Особенности расчета процесса теплообмена в сетевых подогревателях (2 часа).

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	5	6	7	
Знать:									
конструктивные особенности двухфазных теплообменных аппаратов тепловых электростанций	ИД-1ПК-2		+					+	Тестирование/Тест «Конденсационные установки» Тестирование/Тест «Сетевые подогреватели»
физические аспекты процессов теплообмена при изменении агрегатного состояния вещества одного из теплоносителей	ИД-1ПК-2	+							Контрольная работа/Контрольная работа «Теплообмен при конденсации пара»
особенности эксплуатации двухфазных теплообменных аппаратов и режимов их работы	ИД-2ПК-2					+			Тестирование/Тест «Особенности эксплуатации конденсаторов»
Уметь:									
подготавливать эскизную модель теплообменного аппарата в пакете САПР	ИД-1ПК-2							+	Расчетно-графическая работа/Выполнение п.3 типового расчета «Конструкторский расчет конденсатора»
проводить конструкторский расчет двухфазного теплообменного аппарата	ИД-1ПК-2				+				Расчетно-графическая работа/Выполнение п.1 типового расчета «Конструкторский расчет конденсатора»
проводить расчет переменного режима работы двухфазного теплообменного аппарата	ИД-2ПК-2					+			Расчетно-графическая работа/Выполнение п.2 типового расчета «Конструкторский расчет конденсатора»
обосновывать выбор оптимальных параметров работы двухфазного теплообменного аппарата	ИД-2ПК-2			+					Контрольная работа/Контрольная работа «Теплообмен в конденсаторах»

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

4.1. Текущий контроль успеваемости

1 семестр

Форма реализации: Письменная работа

1. Контрольная работа «Теплообмен в конденсаторах» (Контрольная работа)
2. Контрольная работа «Теплообмен при конденсации пара» (Контрольная работа)
3. Тест «Конденсационные установки» (Тестирование)
4. Тест «Особенности эксплуатации конденсаторов» (Тестирование)
5. Тест «Сетевые подогреватели» (Тестирование)

Форма реализации: Проверка задания

1. Выполнение п.1 типового расчета «Конструкторский расчет конденсатора» (Расчетно-графическая работа)
2. Выполнение п.2 типового расчета «Конструкторский расчет конденсатора» (Расчетно-графическая работа)
3. Выполнение п.3 типового расчета «Конструкторский расчет конденсатора» (Расчетно-графическая работа)

Балльно-рейтинговая структура дисциплины является приложением А.

4.2 Промежуточная аттестация по дисциплине

Экзамен (Семестр №1)

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

В диплом выставляется оценка за 1 семестр.

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

5. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

5.1 Печатные и электронные издания:

1. Исаченко, В. П. Теплопередача : Учебник для энергетических вузов и факультетов / В. П. Исаченко, В. А. Осипова, А. С. Сукомел . – 4-е изд., перераб. и доп . – М. : Энергоиздат, 1981 . – 416 с.;
2. Справочник по теплообменным аппаратам паротурбинных установок / Ю. М. Бродов, и др. – М. : Издательский дом МЭИ, 2008 . – 480 с. - ISBN 978-5-383-00079-3 .
<http://elibr.mpei.ru/elibr/view.php?id=4180>;
3. Вертелин, С. Н. Теплообменники энергетических установок : учебное пособие по курсу "Теплообменники энергетических установок" по направлению "Энергетическое машиностроение" / С. Н. Вертелин, Т. В. Богомолова, Нац. исслед. ун-т "МЭИ" . – М. : Изд-во МЭИ, 2017 . – 164 с. - ISBN 978-5-7046-1794-5 .
<http://elibr.mpei.ru/elibr/view.php?id=8724>;
4. Зиновьев Д. В.- "Основы моделирования в SolidWorks", Издательство: "ДМК Пресс", Москва, 2017 - (240 с.)
<https://e.lanbook.com/book/97361>.

5.2 Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение:

1. СДО "Прометей";
2. Office / Российский пакет офисных программ;
3. Windows / Операционная система семейства Linux;
4. Видеоконференции (Майнд, Сберджаз, ВК и др);
5. Компас 3D;
6. SmathStudio.

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. Научная электронная библиотека - <https://elibrary.ru/>
4. База данных ВИНТИ online - <http://www.viniti.ru/>
5. База данных журналов издательства Elsevier - <https://www.sciencedirect.com/>
6. Электронные ресурсы издательства Springer - <https://link.springer.com/>
7. База данных Web of Science - <http://webofscience.com/>
8. База данных Scopus - <http://www.scopus.com>
9. Национальная электронная библиотека - <https://rusneb.ru/>
10. ЭБС "Консультант студента" - <http://www.studentlibrary.ru/>
11. Журналы American Chemical Society - <https://www.acs.org/content/acs/en.html>
12. Журналы American Institute of Physics - <https://www.scitation.org/>
13. Журналы American Physical Society - <https://journals.aps.org/about>
14. Электронная библиотека МЭИ (ЭБ МЭИ) - <http://elib.mpei.ru/login.php>
15. Национальный портал онлайн обучения «Открытое образование» - <https://openedu.ru>
16. Официальный сайт Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии - <http://protect.gost.ru/>
17. Открытая университетская информационная система «РОССИЯ» - <https://uisrussia.msu.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
	П-21, Учебная аудитория	стол преподавателя, стол учебный, стул, доска интерактивная, компьютерная сеть с выходом в Интернет, кондиционер, мел, маркер, стилус
Учебные аудитории для проведения практических занятий, КР и КП	Ж-120, Машинный зал ИВЦ	сервер, кондиционер
	П-21, Учебная аудитория	стол преподавателя, стол учебный, стул, доска интерактивная, компьютерная сеть с выходом в Интернет, кондиционер, мел, маркер, стилус
Учебные аудитории для проведения промежуточной аттестации	Ж-120, Машинный зал ИВЦ	сервер, кондиционер
	П-21, Учебная аудитория	стол преподавателя, стол учебный, стул, доска интерактивная, компьютерная сеть с выходом в Интернет, кондиционер, мел,

		маркер, стилус
Помещения для самостоятельной работы	П-28, Комната для самостоятельных занятий студентов	
Помещения для консультирования	П-03а, Кабинет сотрудников	
	П-27, Переговорная	
Помещения для хранения оборудования и учебного инвентаря	П-42, Кафедральная библиотека	кресло рабочее, стеллаж для хранения книг, стол компьютерный, стул, стол письменный, вешалка для одежды, тумба, компьютерная сеть с выходом в Интернет, многофункциональный центр, компьютер персональный, инвентарь учебный, книги, учебники, пособия
	П-05а, Лаборатория аэродинамики	
	П-03б, Подсобное помещение	

БАЛЛЬНО-РЕЙТИНГОВАЯ СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

Теплообменные аппараты энергетических установок

(название дисциплины)

1 семестр

Перечень контрольных мероприятий текущего контроля успеваемости по дисциплине:

- КМ-1 Контрольная работа «Теплообмен при конденсации пара» (Контрольная работа)
- КМ-2 Тест «Конденсационные установки» (Тестирование)
- КМ-3 Контрольная работа «Теплообмен в конденсаторах» (Контрольная работа)
- КМ-4 Выполнение п.1 типового расчета «Конструкторский расчет конденсатора» (Расчетно-графическая работа)
- КМ-5 Тест «Особенности эксплуатации конденсаторов» (Тестирование)
- КМ-6 Выполнение п.2 типового расчета «Конструкторский расчет конденсатора» (Расчетно-графическая работа)
- КМ-7 Тест «Сетевые подогреватели» (Тестирование)
- КМ-8 Выполнение п.3 типового расчета «Конструкторский расчет конденсатора» (Расчетно-графическая работа)

Вид промежуточной аттестации – Экзамен.

Номер раздела	Раздел дисциплины	Индекс КМ:	КМ-1	КМ-2	КМ-3	КМ-4	КМ-5	КМ-6	КМ-7	КМ-8
		Неделя КМ:	3	7	9	11	12	13	14	15
1	Особенности процессов теплообмена при изменении агрегатного состояния теплоносителей									
1.1	Особенности процессов теплообмена при изменении агрегатного состояния теплоносителей		+							
2	Конденсационная установка. Основные компоненты. Классификация конденсаторов. Особенности конструкции конденсаторов									
2.1	Конденсационная установка. Основные компоненты. Классификация конденсаторов. Особенности конструкции конденсаторов			+					+	
3	Особенности процессов, протекающих в конденсаторах. Расчет коэффициентов теплопередачи									
3.1	Особенности процессов, протекающих в конденсаторах.				+					

	Расчет коэффициентов теплопередачи								
4	Конструкторский расчет конденсаторов								
4.1	Конструкторский расчет конденсаторов				+				
5	Особенности эксплуатации конденсаторов и переменные режимы работы								
5.1	Особенности эксплуатации конденсаторов и переменные режимы работы					+	+		
6	Сетевые подогреватели ТЭЦ. Теплофикация. Теплофикационные турбины. Особенности конструкции, эксплуатации и расчета								
6.1	Сетевые подогреватели ТЭЦ. Теплофикация. Теплофикационные турбины. Особенности конструкции, эксплуатации и расчета		+					+	
7	Основы проектирования теплообменных аппаратов в пакетах САПР								
7.1	Основы проектирования теплообменных аппаратов в пакетах САПР								+
Вес КМ, %:		10	20	10	20	10	10	10	10