

**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: Энергетические установки на органическом и ядерном топливе

Уровень образования: высшее образование - магистратура

Форма обучения: Очная

**Рабочая программа дисциплины**  
**ТЕПЛООБМЕННЫЕ АППАРАТЫ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК**

<b>Блок:</b>	Блок 1 «Дисциплины (модули)»
<b>Часть образовательной программы:</b>	Часть, формируемая участниками образовательных отношений
<b>№ дисциплины по учебному плану:</b>	Б1.Ч.08.01.02
<b>Трудоемкость в зачетных единицах:</b>	3 семестр - 4;
<b>Часов (всего) по учебному плану:</b>	144 часа
<b>Лекции</b>	3 семестр - 32 часа;
<b>Практические занятия</b>	3 семестр - 32 часа;
<b>Лабораторные работы</b>	не предусмотрено учебным планом
<b>Консультации</b>	3 семестр - 2 часа;
<b>Самостоятельная работа</b>	3 семестр - 77,5 часа;
<b>в том числе на КП/КР</b>	не предусмотрено учебным планом
<b>Иная контактная работа</b>	проводится в рамках часов аудиторных занятий
<b>включая:</b> Контрольная работа Тестирование Расчетно-графическая работа	
<b>Промежуточная аттестация:</b>	
<b>Экзамен</b>	3 семестр - 0,5 часа;

**Москва 2021**

**ПРОГРАММУ СОСТАВИЛ:**

Преподаватель

(должность)

	<b>Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»</b>	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Тищенко В.А.
	Идентификатор	R4ea77783-TishchenkoVA-c16aaef

(подпись)

В.А. Тищенко

(расшифровка подписи)

**СОГЛАСОВАНО:**

Руководитель образовательной программы

(должность, ученая степень, ученое звание)

	<b>Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»</b>	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Плешанов К.А.
	Идентификатор	R002eb276-PleshanovKA-9092810

(подпись)

К.А. Плешанов

(расшифровка подписи)

Заведующий выпускающей кафедры

(должность, ученая степень, ученое звание)

	<b>Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»</b>	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Плешанов К.А.
	Идентификатор	R002eb276-PleshanovKA-9092810

(подпись)

К.А. Плешанов

(расшифровка подписи)

## 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-1 Способен к проектно-конструкторской деятельности в сфере энергетического машиностроения	ИД-1 <sub>ПК-1</sub> 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-1 Способен к проектно-конструкторской деятельности в сфере энергетического машиностроения	ИД-2 <sub>ПК-1</sub> 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 Энергетические установки на органическом и ядерном топливе (далее – ОПОП), направления подготовки 13.04.03 Энергетическое машиностроение, уровень образования: высшее образование - магистратура.

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	Особенности процессов теплообмена при изменении агрегатного состояния теплоносителей	12	3	4	-	4	-	-	-	-	-	4	-	<p><b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> самостоятельное изучение литературы (см. Методические указания РПД) <b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [1], 263-283 [3], 8-24</p>
1.1	Особенности процессов теплообмена при изменении агрегатного состояния теплоносителей	12		4	-	4	-	-	-	-	-	4	-	
2	Конденсационная установка. Основные компоненты. Классификация конденсаторов. Особенности конструкции конденсаторов	22		8	-	6	-	-	-	-	-	8	-	
2.1	Конденсационная установка. Основные компоненты. Классификация конденсаторов. Особенности конструкции конденсаторов	22	8	-	6	-	-	-	-	-	8	-		

3	Особенности процессов, протекающих в конденсаторах. Расчет коэффициентов теплопередачи	16	4	-	4	-	-	-	-	-	8	-	<b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> самостоятельное изучение литературы (см. Методические указания РПД) <b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [3], 71-77
3.1	Особенности процессов, протекающих в конденсаторах. Расчет коэффициентов теплопередачи	16	4	-	4	-	-	-	-	-	8	-	
4	Конструкторский расчет конденсаторов	18	2	-	10	-	-	-	-	-	6	-	<b><u>Подготовка расчетно-графического задания:</u></b> Выполнение п. 1 РГР <b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> самостоятельное изучение литературы (см. Методические указания РПД) <b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [3], 89-101
4.1	Конструкторский расчет конденсаторов	18	2	-	10	-	-	-	-	-	6	-	
5	Особенности эксплуатации конденсаторов и переменные режимы работы	14	4	-	4	-	-	-	-	-	6	-	<b><u>Подготовка расчетно-графического задания:</u></b> Выполнение п.2 РГР <b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> самостоятельное изучение литературы (см. Методические указания РПД) <b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [2], 129-151
5.1	Особенности эксплуатации конденсаторов и переменные режимы работы	14	4	-	4	-	-	-	-	-	6	-	
6	Сетевые подогреватели ТЭЦ. Теплофикация. Теплофикационные турбины. Особенности конструкции, эксплуатации и	16	6	-	4	-	-	-	-	-	6	-	<b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> самостоятельное изучение литературы (см. Методические указания РПД) <b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [2], 287-309 [3], 134-146

	расчета												
6.1	Сетевые подогреватели ТЭЦ. Теплофикация. Теплофикационные турбины. Особенности конструкции, эксплуатации и расчета	16	6	-	4	-	-	-	-	-	6	-	
7	Основы проектирования теплообменных аппаратов в пакетах САПР	10	4	-	-	-	-	-	-	-	6	-	<i><b>Подготовка расчетно-графического задания:</b></i> Выполнение п.3 РГР <i><b>Изучение материалов литературных источников:</b></i> [4], 169-184
7.1	Основы проектирования теплообменных аппаратов в пакетах САПР	10	4	-	-	-	-	-	-	-	6	-	
	Экзамен	36.0	-	-	-	-	2	-	-	0.5	-	33.5	
	<b>Всего за семестр</b>	<b>144.0</b>	<b>32</b>	-	<b>32</b>	-	<b>2</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>2</b>		<b>-</b>	<b>0.5</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. 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 (4 часа);
3. Определение параметров теплоносителей в конденсаторах (4 часа);
4. Применение уравнения Бермана для расчета коэффициента теплопередачи в конденсаторах (4 часа);
5. Влияние присосов воздуха на характеристики конденсаторов (4 часа);
6. Особенности конструкторского расчета конденсатора (6 часа);
7. Расчет влияния конструкционных и режимных параметров конденсаторов на характер теплообмена (4 часа);
8. Особенности расчета процесса теплообмена в сетевых подогревателях (4 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	
<b>Знать:</b>									
конструктивные особенности двухфазных теплообменных аппаратов тепловых электростанций	ИД-1ПК-1		+					+	Тестирование/Тест «Конденсационные установки» Тестирование/Тест «Сетевые подогреватели»
физические аспекты процессов теплообмена при изменении агрегатного состояния вещества одного из теплоносителей	ИД-1ПК-1	+							Контрольная работа/Контрольная работа «Теплообмен при конденсации пара»
особенности эксплуатации двухфазных теплообменных аппаратов и режимов их работы	ИД-2ПК-1					+			Тестирование/Тест «Особенности эксплуатации конденсаторов»
<b>Уметь:</b>									
подготавливать эскизную модель теплообменного аппарата в пакете САПР	ИД-1ПК-1							+	Расчетно-графическая работа/Выполнение п.3 типового расчета «Конструкторский расчет конденсатора»
проводить конструкторский расчет двухфазного теплообменного аппарата	ИД-1ПК-1				+				Расчетно-графическая работа/Выполнение п.1 типового расчета «Конструкторский расчет конденсатора»
проводить расчет переменного режима работы двухфазного теплообменного аппарата	ИД-2ПК-1					+			Расчетно-графическая работа/Выполнение п.2 типового расчета «Конструкторский расчет конденсатора»
обосновывать выбор оптимальных параметров работы двухфазного теплообменного аппарата	ИД-2ПК-1			+					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**

###### **3 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 №3)*

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 3 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://elib.mpei.ru/action.php?kt\\_path\\_info=ktcore.SecViewPlugin.actions.document&fDocumentId=4180](http://elib.mpei.ru/action.php?kt_path_info=ktcore.SecViewPlugin.actions.document&fDocumentId=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://elib.mpei.ru/action.php?kt\\_path\\_info=ktcore.SecViewPlugin.actions.document&fDocumentId=8724](http://elib.mpei.ru/action.php?kt_path_info=ktcore.SecViewPlugin.actions.document&fDocumentId=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. Майнд Видеоконференции;
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](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
	отсутствует	

## БАЛЛЬНО-РЕЙТИНГОВАЯ СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

### Теплообменные аппараты энергетических установок

(название дисциплины)

#### 3 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