

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

---

Направление подготовки/специальность: 13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника

Наименование образовательной программы: Теплоснабжение и теплотехническое оборудование

Уровень образования: высшее образование - бакалавриат

Форма обучения: Заочная

**Рабочая программа дисциплины**  
**ОСНОВЫ ТРАНСФОРМАЦИИ ТЕПЛА И ПРОЦЕССОВ ОХЛАЖДЕНИЯ**

<b>Блок:</b>	<b>Блок 1 «Дисциплины (модули)»</b>
<b>Часть образовательной программы:</b>	<b>Часть, формируемая участниками образовательных отношений</b>
<b>№ дисциплины по учебному плану:</b>	<b>Б1.Ч.02.03</b>
<b>Трудоемкость в зачетных единицах:</b>	<b>7 семестр - 4;</b>
<b>Часов (всего) по учебному плану:</b>	<b>144 часа</b>
<b>Лекции</b>	<b>7 семестр - 8 часов;</b>
<b>Практические занятия</b>	<b>7 семестр - 4 часа;</b>
<b>Лабораторные работы</b>	<b>не предусмотрено учебным планом</b>
<b>Консультации</b>	<b>7 семестр - 2 часа;</b>
<b>Самостоятельная работа</b>	<b>7 семестр - 128,5 часа;</b>
<b>в том числе на КП/КР</b>	<b>не предусмотрено учебным планом</b>
<b>Иная контактная работа</b>	<b>7 семестр - 1,2 часа;</b>
<b>включая:</b> <b>Тестирование</b> <b>Контрольная работа</b>	
<b>Промежуточная аттестация:</b>	
<b>Экзамен</b>	<b>7 семестр - 0,3 часа;</b>

**Москва 2021**

**ПРОГРАММУ СОСТАВИЛ:**

Преподаватель

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Кутько Н.Е.
	Идентификатор	R8d5bd572-KutkoNY-cb4af18a

Н.Е. Кутько

**СОГЛАСОВАНО:**

Руководитель  
образовательной программы

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Хомченко Н.В.
	Идентификатор	Rpd1b9495-KhomchenkoNV-644530

Н.В. Хомченко

Заведующий выпускающей  
кафедрой

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Щербатов И.А.
	Идентификатор	R6b2590a8-ShcherbatovIA-d91ec17

И.А. Щербатов

## 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

**Цель освоения дисциплины:** Освоение общих термодинамических и эксергетических позиций и основ теории трансформации тепла для различных установок компрессионного, абсорбционного, струйного типа. Изучение трансформаторов тепла (тепловых насосов, холодильных и комбинированных установок) и методик расчета основных параметров и энергетической эффективности.

### Задачи дисциплины

- освоение физико-технических процессов, происходящих в трансформаторах тепла различного типа;
- приобретение навыков применять методики расчета схем и процессов, происходящих в трансформаторах тепла, с определением целевых коэффициентов и КПД;
- приобретение навыков о рабочих веществах (хладагентах), применяемых в трансформаторах тепла и влиянию их свойств на эффективность работы трансформаторов тепла;
- освоение навыка принимать конкретные решения по применению трансформаторов тепла различных типов (компрессионных, абсорбционных, струйных и д.р.).

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 участвовать в проектировании и эксплуатации объектов теплоэнергетики и теплотехники	ИД-2 <sub>ПК-1</sub> Принимает участие в разработке принципиальных схем и оборудования для объектов теплоэнергетики и теплотехники	знать: - методические материалы для расчёта схем трансформаторов тепла, термодинамический (эксергетический) метод анализа определения потерь в энергетических установках; - рабочие вещества и материалы, применяемые в холодильных и теплонасосных трансформаторах тепла.
ПК-1 Способен участвовать в проектировании и эксплуатации объектов теплоэнергетики и теплотехники	ИД-4 <sub>ПК-1</sub> Принимает участие в оценке энергетической эффективности объектов теплоэнергетики и теплотехники	уметь: - анализировать информацию о новых схемах, процессах и циклах трансформаторов тепла; - осуществлять поиск и анализировать научно-техническую информацию и выбирать необходимые рабочие вещества (хладагенты).

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ ВО

Дисциплина относится к основной профессиональной образовательной программе Теплоснабжение и теплотехническое оборудование (далее – ОПОП), направления подготовки 13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника, 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	Введение	31.5	7	2	-	1.0	-	0.5	-	0.2	-	27.8	-	<p><b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> Изучение дополнительного материала по разделу "Введение"</p> <p><b><u>Подготовка к текущему контролю:</u></b> Повторение материала по разделу "Введение"</p> <p><b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> Изучение дополнительного материала по разделу "Парожидкостные и газовые компрессионные трансформаторы тепла"</p> <p><b><u>Подготовка к текущему контролю:</u></b> Повторение материала по разделу "Парожидкостные и газовые компрессионные трансформаторы тепла"</p> <p><b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [1], стр. 2-12 [2], стр. 10-56</p> <p><b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> Изучение дополнительного материала по разделу "Абсорбционные и струйные трансформаторы тепла"</p> <p><b><u>Подготовка к текущему контролю:</u></b> Повторение материала по разделу</p>
1.1	Эксергетический метод термодинамического анализа	17.6		1	-	0.5	-	0.2	-	0.1	-	15.8	-	
1.2	Хладагенты и хладоносители	13.9		1	-	0.5	-	0.3	-	0.1	-	12	-	
2	Парожидкостные и газовые компрессионные трансформаторы тепла	30.0		2	-	1.0	-	0.6	-	0.4	-	26	-	
2.1	Парожидкостные компрессионные холодильные и теплонаосные установки	16.0		1	-	0.5	-	0.3	-	0.2	-	14	-	
2.2	Газовые компрессионные трансформаторы тепла	14.0		1	-	0.5	-	0.3	-	0.2	-	12	-	
3	Абсорбционные и струйные трансформаторы тепла	29.0		2	-	1.0	-	0.6	-	0.4	-	25	-	
3.1	Абсорбционные трансформаторы тепла	14.0		1	-	0.5	-	0.3	-	0.2	-	12	-	

3.2	Струйные трансформаторы тепла	15.0	1	-	0.5	-	0.3	-	0.2	-	13	-	"Абсорбционные и струйные трансформаторы тепла" <b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [1], стр. 15-25 [2], стр. 57-111
4	Термоэлектрические трансформаторы тепла	17.5	2	-	1	-	0.3	-	0.2	-	14	-	<b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> Изучение дополнительного материала по разделу "Термоэлектрические трансформаторы тепла"
4.1	Термоэлектрические трансформаторы тепла. Принцип действия	17.5	2	-	1	-	0.3	-	0.2	-	14	-	<b><u>Подготовка к текущему контролю:</u></b> Повторение материала по разделу "Термоэлектрические трансформаторы тепла"
4.2	Теория и расчет термоэлектрических ТТ	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	<b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [1], стр. 26-32 [2], стр. 156-207
	Экзамен	36.0	-	-	-	-	-	-	0.3	-	-	35.7	
	<b>Всего за семестр</b>	<b>144.0</b>	<b>8</b>	<b>-</b>	<b>4.0</b>	<b>-</b>	<b>2.0</b>	<b>-</b>	<b>1.2</b>	<b>0.3</b>	<b>92.8</b>	<b>35.7</b>	
	<b>Итого за семестр</b>	<b>144.0</b>	<b>8</b>	<b>-</b>	<b>4.0</b>	<b>2.0</b>	<b>1.2</b>	<b>0.3</b>	<b>128.5</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. Введение

#### 1.1. Эксергетический метод термодинамического анализа

Назначение трансформаторов тепла. Классификация. Области применения трансформаторов тепла. Перспективы развития установок трансформации тепла. Роль трансформаторов тепла в системах термостабилизации различных объектов. Основные требования по удельным затратам энергии, эффективности и надежности. Коэффициенты, определяющие эффективность. Целевые коэффициенты и КПД. Эксергетический метод термодинамического анализа трансформаторов тепла. Упорядоченные и неупорядоченные виды энергии. Определение эксэргии различных видов энергии. Коэффициенты работоспособности. Характерные зоны искусственного холода. Применение эксергетического метода анализа к установкам и системам. Эксергетический КПД, энергетический и эксергетический балансы.

#### 1.2. Хладагенты и хладоносители

Выбор хладагентов и хладоносителей для трансформаторов тепла. Основные требования к свойствам этих рабочих агентов: термодинамические, технические и экологические. Зависимость свойств фреонов от их состава. Определение озonoактивных фреонов и выбор альтернативных хладагентов.

### 2. Парожидкостные и газовые компрессионные трансформаторы тепла

#### 2.1. Парожидкостные компрессионные холодильные и теплонаносные установки

Реальные процессы работы парожидкостных трансформаторов тепла. Схемы и процессы в термодинамических диаграммах (T- S, e-h, h-lgp). Схемы одноступенчатых и многоступенчатых трансформаторов тепла, метод расчета. Удельные затраты энергии и эксергетический КПД термотрансформаторов и систем термостабилизации. Методы расчета многоступенчатых и каскадных трансформаторов тепла. Тепловые насосы. Схемы и метод расчета. Определение коэффициента трансформации ( $\mu$ ) и КПД ( $\eta$ ). Схемы теплогенерирующих систем на базе тепловых насосов.

#### 2.2. Газовые компрессионные трансформаторы тепла

Особенности процессов газовых трансформаторов тепла необходимые для условий работы объектов термостабилизации. Преимущества и недостатки газовых установок. Основные показатели. Схемы и реальные процессы работы газовых трансформаторов тепла. Газовые трансформаторы с регенерацией. Регенераторы газовых установок. Схема включения, конструкции и системы переключения, принцип работы и основные преимущества их применение в системах хладоснабжения. Методы расчета газовых трансформаторов со стационарными процессами. Газовые трансформаторы с разомкнутыми процессами. Газовые установки с нестационарными процессами. Машина «Филиппс» (цикл Стирлинга, схема, принцип работы).

### 3. Абсорбционные и струйные трансформаторы тепла

#### 3.1. Абсорбционные трансформаторы тепла

Особенности режимов работы абсорбционных трансформаторов тепла, позволяющие использовать нетрадиционные и вторичные энергоресурсы. Абсорбционные трансформаторы тепла непрерывного действия. Методика расчета параметров абсорбционных установок. Оценка эффективности абсорбционных трансформаторов тепла. Двухступенчатые абсорбционные трансформаторы тепла; принципиальные схемы и

основные процессы. Абсорбционные трансформаторами тепла периодического действия. Абсорбционно-диффузионные холодильные установки.

### 3.2. Струйные трансформаторы тепла

Принципиальные схемы струйных трансформаторов тепла. Газодинамические функции необходимые для расчета струйных аппаратов. Принцип работы прямотруйных трансформаторов тепла. Метод расчета коэффициента инжекции, степени сжатия и геометрических размеров прямотруйных компрессоров и эжекторов. Характеристики прямотруйных трансформаторов тепла. Принципиальная схема низкотемпературного рефрижератора с дроссельно-эжекторной ступенью. Пароэжекторная холодильная установка. Схема, метод расчета, холодильный коэффициент и КПД. Определение эффективности и надежности работы эжекторного рефрижератора в системах термостабилизации. Вихревые трансформаторы тепла, их особенности и преимущества. Принципиальная схема и процесс работы. Характеристика вихревой трубы. Эффект Ранка-Хильша и его зависимость от режимных параметров. Закон квазитвердого вихря и описание процессов перераспределения энергии между центральными и внешними потоками. Методика расчета вихревой трубы. Зависимость относительного снижения температуры холодного потока и относительного повышения температуры горячего потока от относительных геометрических размеров трубы и степени расширения рабочего потока. Повышение эффективности вихревой трубы. Неадиабатные трубы. Анализ работы вихревых установок в системах термостабилизации. Схема установки для кондиционирования кабины с вихревыми трубами. Схема вихревой установки для выделения конденсата при эксплуатации газоконденсатных скважин.

## 4. Термоэлектрические трансформаторы тепла

### 4.1. Термоэлектрические трансформаторы тепла. Принцип действия

Термоэлектрические трансформаторы тепла. Эффект Пельтье.. Увеличение интервала рабочих температур, каскадные термобатареи.. Магнитные трансформаторы тепла. Схема и принцип работы. Метод адиабатного размагничивания..

### 4.2. Теория и расчет термоэлектрических ТТ

Схема и метод расчета полупроводниковых термоэлементов и полупроводниковых микрохолодильников для систем термостабилизации. Эффективность термоэлектрических трансформаторов тепла. Получение ультранизких криогенных температур.

## **3.3. Темы практических занятий**

1. Хладагенты и хладоносители;
2. Термоэлектрические трансформаторы тепла;
3. Струйные трансформаторы тепла;
4. Абсорбционные трансформаторы тепла;
5. Газовые компрессионные трансформаторы тепла;
6. Парожидкостные компрессионные холодильные и теплоносные установки;
7. Эксергетический метод термодинамического анализа.

## **3.4. Темы лабораторных работ**

не предусмотрено

## **3.5 Консультации**

Групповые консультации по разделам дисциплины (ГК)

1. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Введение"
2. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Парожидкостные и газовые компрессионные трансформаторы тепла"
3. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Абсорбционные и струйные трансформаторы тепла"
4. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Термоэлектрические трансформаторы тепла"

### **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	
<b>Знать:</b>						
рабочие вещества и материалы, применяемые в холодильных и теплонасосных трансформаторах тепла	ИД-2ПК-1			+		Контрольная работа/А и С трансформаторы тепла
методические материалы для расчёта схем трансформаторов тепла, термодинамический (эксергетический) метод анализа определения потерь в энергетических установках	ИД-2ПК-1	+				Тестирование/Терминология
<b>Уметь:</b>						
осуществлять поиск и анализировать научно-техническую информацию и выбирать необходимые рабочие вещества (хладагенты)	ИД-4ПК-1				+	Контрольная работа/Термоэлектрические трансформаторы тепла
анализировать информацию о новых схемах, процессах и циклах трансформаторов тепла	ИД-4ПК-1		+			Контрольная работа/ПЖ и ГК трансформаторы тепла

## **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: Компьютерное задание

1. Терминология (Тестирование)
2. Термоэлектрические трансформаторы тепла (Контрольная работа)

Форма реализации: Письменная работа

1. А и С трансформаторы тепла (Контрольная работа)
2. ПЖ и ГК трансформаторы тепла (Контрольная работа)

Балльно-рейтинговая структура дисциплины является приложением А.

### **4.2 Промежуточная аттестация по дисциплине**

*Экзамен (Семестр №7)*

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 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. Белова О. В., Чернышев А. В. - "Трансформация теплоты в компрессорных установках холодильной и криогенной техники. Часть 1" Ч. 1, Издательство: "МГТУ им. Н.Э. Баумана", Москва, 2010 - (34 с.)  
[http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1\\_id=52165;](http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=52165)
2. Соколов, Е. Я. Энергетические основы трансформации тепла и процессов охлаждения / Е. Я. Соколов, В. М. Бродянский . – М. : Энергия, 1968 . – 336 с..

### **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).

### **5.3 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. Электронная библиотека МЭИ (ЭБ МЭИ) - <http://elib.mpei.ru/login.php>

5. Портал открытых данных Российской Федерации - <https://data.gov.ru>
6. База открытых данных Министерства труда и социальной защиты РФ - <https://rosmintrud.ru/opendata>
7. База открытых данных профессиональных стандартов Министерства труда и социальной защиты РФ - <http://profstandart.rosmintrud.ru/obshchiy-informatsionnyy-blok/natsionalnyy-reestr-professionalnykh-standartov/>
8. База открытых данных Министерства экономического развития РФ - <http://www.economy.gov.ru>
9. База открытых данных Росфинмониторинга - <http://www.fedsfm.ru/opendata>
10. 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-417/6, Белая мультимедийная студия	стол компьютерный, доска интерактивная, компьютерная сеть с выходом в Интернет, мультимедийный проектор, компьютер персональный
	Ж-417/7, Световая черная студия	стул, компьютерная сеть с выходом в Интернет, микрофон, мультимедийный проектор, экран, оборудование специализированное, компьютер персональный
Учебные аудитории для проведения практических занятий, КР и КП	Ж-417/1, Компьютерный класс ИДДО	стол преподавателя, стол компьютерный, шкаф для документов, шкаф для одежды, стол письменный, компьютерная сеть с выходом в Интернет, доска маркерная передвижная, компьютер персональный, принтер, кондиционер, стенд информационный
Учебные аудитории для проведения промежуточной аттестации	Ж-417/1, Компьютерный класс ИДДО	стол преподавателя, стол компьютерный, шкаф для документов, шкаф для одежды, стол письменный, компьютерная сеть с выходом в Интернет, доска маркерная передвижная, компьютер персональный, принтер, кондиционер, стенд информационный
Помещения для самостоятельной работы	НТБ-303, Лекционная аудитория	стол компьютерный, стул, стол письменный, вешалка для одежды, компьютерная сеть с выходом в Интернет, компьютер персональный, принтер, кондиционер
Помещения для консультирования	Ж-200б, Конференц-зал ИДДО	стол, стул, компьютер персональный, кондиционер
Помещения для хранения оборудования и учебного инвентаря	Ж-417 /2а, Помещение для инвентаря	стеллаж для хранения инвентаря, экран, указка, архивные документы, дипломные и курсовые работы студентов, канцелярский принадлежности, спортивный инвентарь, хозяйственный инвентарь, запасные комплектующие для оборудования

**БАЛЛЬНО-РЕЙТИНГОВАЯ СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ****Основы трансформации тепла и процессов охлаждения**

(название дисциплины)

**7 семестр****Перечень контрольных мероприятий текущего контроля успеваемости по дисциплине:**

КМ-1 Терминология (Тестирование)

КМ-2 ПЖ и ГК трансформаторы тепла (Контрольная работа)

КМ-3 А и С трансформаторы тепла (Контрольная работа)

КМ-4 Термоэлектрические трансформаторы тепла (Контрольная работа)

**Вид промежуточной аттестации – Экзамен.**

Номер раздела	Раздел дисциплины	Индекс КМ:	КМ-1	КМ-2	КМ-3	КМ-4
		Неделя КМ:	3	6	9	12
1	Введение					
1.1	Эксергетический метод термодинамического анализа		+			
1.2	Хладагенты и хладоносители		+			
2	Парожидкостные и газовые компрессионные трансформаторы тепла					
2.1	Парожидкостные компрессионные холодильные и теплонаносные установки			+		
2.2	Газовые компрессионные трансформаторы тепла			+		
3	Абсорбционные и струйные трансформаторы тепла					
3.1	Абсорбционные трансформаторы тепла				+	
3.2	Струйные трансформаторы тепла				+	
4	Термоэлектрические трансформаторы тепла					
4.1	Термоэлектрические трансформаторы тепла. Принцип действия					+
4.2	Теория и расчет термоэлектрических ТТ					+
Вес КМ, %:			25	25	25	25