

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: Промышленная теплоэнергетика

Уровень образования: высшее образование - бакалавриат

Форма обучения: Очная

Рабочая программа дисциплины
ОСНОВЫ ТРАНСФОРМАЦИИ ТЕПЛА И ПРОЦЕССОВ ОХЛАЖДЕНИЯ

Блок:	Блок 1 «Дисциплины (модули)»
Часть образовательной программы:	Часть, формируемая участниками образовательных отношений
№ дисциплины по учебному плану:	Б1.Ч.09.02
Трудоемкость в зачетных единицах:	5 семестр - 5;
Часов (всего) по учебному плану:	180 часов
Лекции	5 семестр - 48 часа;
Практические занятия	5 семестр - 16 часов;
Лабораторные работы	5 семестр - 16 часов;
Консультации	5 семестр - 2 часа;
Самостоятельная работа	5 семестр - 97,5 часа;
в том числе на КП/КР	не предусмотрено учебным планом
Иная контактная работа	проводится в рамках часов аудиторных занятий
включая: Проверочная работа Контрольная работа Видеофильм Интервью Лабораторная работа	
Промежуточная аттестация:	
Экзамен	5 семестр - 0,5 часа;

Москва 2022

ПРОГРАММУ СОСТАВИЛ:

Преподаватель

(должность)

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Козлов С.А.
	Идентификатор	R184c2bd3-KozlovSA-5cd0fdbc

(подпись)

С.А. Козлов

(расшифровка подписи)

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель
образовательной
программы

(должность, ученая степень, ученое звание)

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Шелгинский А.Я.
	Идентификатор	Rf4e216f4-ShelginskyAY-88390edf

(подпись)

А.Я.

Шелгинский

(расшифровка подписи)

Заведующий выпускающей
кафедры

(должность, ученая степень, ученое звание)

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Яворовский Ю.В.
	Идентификатор	R7e35b260-YavorovskyYV-dabb149

(подпись)

Ю.В.

Яворовский

(расшифровка подписи)

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 _{ПК-1} Принимает участие в разработке принципиальных схем и оборудования для объектов теплоэнергетики и теплотехники	знать: - основные источники научно-технической информации по холодильным и теплонасосным установкам; - 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; - источники научно-технической информации (журналы, сайты Интернет); - основные экономические положения при разработке установок трансформаторов тепла.
ПК-1 Способен участвовать в проектировании и эксплуатации объектов теплоэнергетики и теплотехники	ИД-4 _{ПК-1} Принимает участие в оценке энергетической эффективности объектов теплоэнергетики и теплотехники	уметь: - самостоятельно разбираться в типовых методиках расчета и применять их для решения поставленной задачи; - осуществлять поиск и анализировать научно-техническую информацию и выбирать необходимые рабочие вещества (хладагенты); - анализировать информацию о новых схемах, процессах и циклах трансформаторов тепла; - самостоятельно проводить

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции	Запланированные результаты обучения
		эксперименты на трансформаторах тепла.

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ ВО

Дисциплина относится к основной профессиональной образовательной программе Промышленная теплоэнергетика (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 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	Введение	37.0	5	14	4	3.0	-	-	-	-	-	16	-	<p><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u> Изучение дополнительного материала по разделу "Введение"</p> <p><u>Изучение материалов литературных источников:</u> [2], стр. 5–23 стр.39-47 [3], стр. 12-14 [5], стр. 5 - 31</p> <p><u>Подготовка расчетных заданий:</u> Выполнение расчетного задания по разделу "Парожидкостные и газовые компрессионные трансформаторы тепла". Студенты необходимо повторить теоретический материал, разобрать примеры решения аналогичных задач, провести расчеты по варианту задания и сделать выводы.</p> <p><u>Изучение материалов литературных источников:</u> [2], стр.48-68 стр. 248-265 [3], стр.14-35 стр. 122-137</p> <p><u>Подготовка к текущему контролю:</u> Повторение материала по разделу "Абсорбционные и струйные трансформаторы тепла"</p> <p><u>Изучение материалов литературных</u></p>	
1.1	Эксергетический метод термодинамического анализа	18.5		7	2	1.5	-	-	-	-	-	-	8		-
1.2	Хладагенты и хладоносители	18.5		7	2	1.5	-	-	-	-	-	-	8		-
2	Парожидкостные и газовые компрессионные трансформаторы тепла	49		20	4	9	-	-	-	-	-	-	16		-
2.1	Парожидкостные компрессионные холодильные и теплонаносные установки	25		10	2	5	-	-	-	-	-	-	8		-
2.2	Газовые компрессионные трансформаторы тепла	24		10	2	4	-	-	-	-	-	-	8		-
3	Абсорбционные и струйные трансформаторы тепла	32		10	4	2	-	-	-	-	-	-	16		-
3.1	Абсорбционные	16	5	2	1	-	-	-	-	-	-	8	-		

	трансформаторы тепла												<u>источников:</u> [2], стр.109-138 стр. 138-175 [3], стр. 49-58 стр. 62-92
3.2	Струйные трансформаторы тепла	16	5	2	1	-	-	-	-	-	8	-	
4	Ожижение газов и термоэлектрические трансформаторы тепла.	13	2	2	1	-	-	-	-	-	8	-	<u>Подготовка к текущему контролю:</u> Повторение материала по разделу "Ожижение газов и термоэлектрические трансформаторы тепла." <u>Изучение материалов литературных источников:</u> [2], стр. 204-221 [3], стр. 107-116
4.1	Ожижение и замораживание газов	13	2	2	1	-	-	-	-	-	8	-	
5	Термоэлектрические трансформаторы тепла	13	2	2	1	-	-	-	-	-	8	-	<u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u> Изучение дополнительного материала по разделу "Термоэлектрические трансформаторы тепла" <u>Подготовка к текущему контролю:</u> Повторение материала по разделу "Термоэлектрические трансформаторы тепла" <u>Изучение материалов литературных источников:</u> [2], стр. 284-291 [3], стр. 142-144
5.1	Термоэлектрические трансформаторы тепла	13	2	2	1	-	-	-	-	-	8	-	
	Экзамен	36.0	-	-	-	-	2.0	-	-	0.5	-	-	33.5
	Всего за семестр	180.0	48	16	16. 0	-	2.0	-	-	0.5	64	-	33.5
	Итого за семестр	180.0	48	16	16. 0	2.0	-	-	-	0.5	97.5	-	

Примечание: Лек – лекции; Лаб – лабораторные работы; Пр – практические занятия; КПП – 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-lgr).. Схемы одноступенчатых и многоступенчатых трансформаторов тепла, метод расчета. Удельные затраты энергии и эксергический КПД термотрансформаторов и систем термостабилизации. Методы расчета многоступенчатых и каскадных трансформаторов тепла.. Тепловые насосы. Схемы и метод расчета. Определение коэффициента трансформации (μ) и КПД (η). 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. Ожижение газов и термоэлектрические трансформаторы тепла.

4.1. Ожижение и замораживание газов

Использование ожиженных и замороженных газов в качестве криоагентов. Основные процессы ожижения и замораживания газов. Идеальные и реальные процессы ожижения. Минимальная работа ожижения.. Технические процессы Линде, Клауда, Гейландта, Капицы. Методика расчета основных характеристик установок ожижения и замораживания газов. Методы низкотемпературного разделения газовых смесей.. Параметры продуктов разделения используемые для систем жизнеобеспечения. Схема и метод расчета установки для производства твердого диоксида углерода. Схема и процесс газификации ожиженных газов..

5. Термоэлектрические трансформаторы тепла

5.1. Термоэлектрические трансформаторы тепла

Термоэлектрические трансформаторы тепла. Эффект Пельтье. Схема и метод расчета полупроводниковых термоэлементов и полупроводниковых микрохолодильников для систем термостабилизации.. Увеличение интервала рабочих температур, каскадные термобатареи. Эффективность термоэлектрических трансформаторов тепла. Магнитные трансформаторы тепла. Схема и принцип работы. Метод адиабатного размагничивания. Получение ультранизких криогенных температур.

3.3. Темы практических занятий

1. Парокомпрессионных трансформаторов тепла;
2. Теплонасосных трансформаторов тепла;
3. Газовых трансформаторов тепла с замкнутыми и разомкнутыми процессами;
4. Абсорбционных холодильных установок;
5. Пароэжекторных холодильных установок;
6. Вихревых установок;

7. Полупроводниковых холодильных установок.

3.4. Темы лабораторных работ

1. Испытание парожидкостных компрессионных холодильных установок;
2. Испытание адиабатной вихревой трубы;
3. Испытание микродетандера с внутренним приводом клапанов;
4. Испытание теплового насоса;
5. Испытание полупроводниковой микрохолодильной.

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 "Ожижение газов и термоэлектрические трансформаторы тепла."
5. 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	5	
Знать:							
основные экономические положения при разработке установок трансформаторов тепла	ИД-2ПК-1			+			Видеофильм/А и С трансформаторы тепла
источники научно-технической информации (журналы, сайты Интернет)	ИД-2ПК-1	+					Проверочная работа/Терминология
рабочие вещества и материалы, применяемые в холодильных и теплонасосных трансформаторах тепла	ИД-2ПК-1				+		Интервью/Ожжижение газов
методические материалы для расчёта схем трансформаторов тепла, термодинамический (эксергетический) метод анализа определения потерь в энергетических установках	ИД-2ПК-1					+	Лабораторная работа/Термоэлектрические трансформаторы тепла
основные источники научно-технической информации по холодильным и теплонасосным установкам	ИД-2ПК-1		+				Контрольная работа/ПЖ и ГК трансформаторы тепла
Уметь:							
самостоятельно проводить эксперименты на трансформаторах тепла	ИД-4ПК-1			+			Видеофильм/А и С трансформаторы тепла
анализировать информацию о новых схемах, процессах и циклах трансформаторов тепла	ИД-4ПК-1					+	Лабораторная работа/Термоэлектрические трансформаторы тепла
осуществлять поиск и анализировать научно-техническую информацию и выбирать необходимые рабочие вещества (хладагенты)	ИД-4ПК-1	+					Проверочная работа/Терминология
самостоятельно разбираться в типовых методиках расчета и применять их для решения поставленной задачи	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

5 семестр

Форма реализации: Билеты (письменный опрос)

1. Терминология (Проверочная работа)

Форма реализации: Обмен электронными документами

1. Термоэлектрические трансформаторы тепла (Лабораторная работа)

Форма реализации: Письменная работа

1. ПЖ и ГК трансформаторы тепла (Контрольная работа)

Форма реализации: Проверка задания

1. А и С трансформаторы тепла (Видеофильм)

Форма реализации: Устная форма

1. Ожжижение газов (Интервью)

Балльно-рейтинговая структура дисциплины является приложением А.

4.2 Промежуточная аттестация по дисциплине

Экзамен (Семестр №5)

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 5 семестр.

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

5. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

5.1 Печатные и электронные издания:

1. Соколов, Е. Я. Энергетические основы трансформации тепла и процессов охлаждения : учебное пособие для вузов / Е. Я. Соколов, В. М. Бродянский . – 2-е изд., перераб . – М. : Энергоиздат, 1981 . – 320 с.;
2. Мартынов, А. В. Установки для трансформации тепла и охлаждения. Сборник задач : учебное пособие для теплоэнергетических специальностей вузов / А. В. Мартынов . – М. : Энергоатомиздат, 1989 . – 200 с. - ISBN 5-283-00060-5 .;
3. Бродянский, В. М. Эксергетический метод термодинамического анализа / В. М. Бродянский . – М. : Энергия, 1973 . – 296 с.;
4. Справочник по физико-техническим основам криогеники / М. П. Малков, и др. – 2-е изд., перераб. и доп . – М. : Энергия, 1973 . – 392 с.;
5. Охотин, В. С. Таблицы термодинамических свойств фреонов и других хладагентов : Методическое пособие по курсам "Термодинамика" и "Теоретические основы теплотехники" по направлениям "Теплоэнергетика", "Энергомашиностроение" и "Техническая физика" / В. С. Охотин, А. А. Александров, Моск. энерг. ин-т (МЭИ ТУ) . – М. : Изд-во МЭИ, 2001 . – 31 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. Майнд Видеоконференции.

5.3 Интернет-ресурсы, включая профессиональные базы данных и информационно-справочные системы:

1. ЭБС Лань - <https://e.lanbook.com/>
2. База данных Web of Science - <http://webofscience.com/>
3. База данных Scopus - <http://www.scopus.com>
4. Электронная библиотека МЭИ (ЭБ МЭИ) - <http://elib.mpei.ru/login.php>
5. Портал открытых данных Российской Федерации - <https://data.gov.ru>
6. Электронная открытая база данных "Polpred.com Обзор СМИ" - <https://www.polpred.com>
7. Национальный портал онлайн обучения «Открытое образование» - <https://openedu.ru>
8. 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

Основы трансформации тепла и процессов охлаждения

(название дисциплины)

5 семестр

Перечень контрольных мероприятий текущего контроля успеваемости по дисциплине:

- КМ-1 Терминология (Проверочная работа)
- КМ-2 ПЖ и ГК трансформаторы тепла (Контрольная работа)
- КМ-3 А и С трансформаторы тепла (Видеофильм)
- КМ-4 Ожжижение газов (Интервью)
- КМ-5 Термоэлектрические трансформаторы тепла (Лабораторная работа)

Вид промежуточной аттестации – Экзамен.

Номер раздела	Раздел дисциплины	Индекс КМ:	КМ-1	КМ-2	КМ-3	КМ-4	КМ-5
		Неделя КМ:	4	8	10	12	16
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	Ожижение газов и термоэлектрические трансформаторы тепла.						
4.1	Ожижение и замораживание газов					+	
5	Термоэлектрические трансформаторы тепла						
5.1	Термоэлектрические трансформаторы тепла						+
Вес КМ, %:			25	25	20	15	15