

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

Направление подготовки/специальность: 14.03.01 Ядерная энергетика и теплофизика

Наименование образовательной программы: Техника и физика низких температур

Уровень образования: высшее образование - бакалавриат

Форма обучения: Очная

Рабочая программа дисциплины
ТЕПЛОМАССОБМЕННЫЕ АППАРАТЫ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНЫХ
УСТАНОВОК

Блок:	Блок 1 «Дисциплины (модули)»
Часть образовательной программы:	Часть, формируемая участниками образовательных отношений
№ дисциплины по учебному плану:	Б1.Ч.09
Трудоемкость в зачетных единицах:	7 семестр - 5; 8 семестр - 3; всего - 8
Часов (всего) по учебному плану:	288 часа
Лекции	7 семестр - 16 часов; 8 семестр - 28 часа; всего - 44 часа
Практические занятия	7 семестр - 32 часа; 8 семестр - 28 часа; всего - 60 часов
Лабораторные работы	не предусмотрено учебным планом
Консультации	7 семестр - 2 часа; 8 семестр - 2 часа; всего - 4 часа
Самостоятельная работа	7 семестр - 129,5 часа; 8 семестр - 49,5 часа; всего - 179,0 часа
в том числе на КП/КР	не предусмотрено учебным планом
Иная контактная работа	проводится в рамках часов аудиторных занятий
включая: Коллоквиум Контрольная работа	
Промежуточная аттестация:	
Экзамен	7 семестр - 0,5 часа;
Экзамен	8 семестр - 0,5 часа;
	всего - 1,0 час

Москва 2026

ПРОГРАММУ СОСТАВИЛ:

Преподаватель

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Ястребов А.К.
	Идентификатор	R0e5b2163-YastrebovAK-2523fea7

А.К. Ястребов

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель
образовательной программы

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Крюков А.П.
	Идентификатор	R9b81f956-KryukovAP-8dacf4ed

А.П. Крюков

Заведующий выпускающей
кафедрой

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Пузина Ю.Ю.
	Идентификатор	Re86e9a56-Puzina-4d2acad1

Ю.Ю. Пузина

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Цель освоения дисциплины: изучение методов теплового и гидравлического расчета тепломассообменных аппаратов различных типов, применяемых в низкотемпературной технике.

Задачи дисциплины

- изучение основных видов тепломассообменных аппаратов, используемых в низкотемпературной технике;
- получение информации о методах теплового и гидравлического расчета тепломассообменных аппаратов различных типов;
- получение навыков применения этих методов при проектировании теплообменного оборудования в инженерной практике;
- получение навыков работы с информационной базой.

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 Готов к расчетно-экспериментальному анализу особенностей низкотемпературных процессов	ИД-1 _{ПК-2} Владеет математическим аппаратом теплогидравлических расчетов при разработке схемных решений низкотемпературных систем	знать: - особенности конструкции и методики теплогидравлического расчета регенеративных теплообменных аппаратов различных типов; - особенности конструкции и методики теплогидравлического расчета рекуперативных теплообменных аппаратов различных типов. уметь: - выполнять теплогидравлический расчет регенеративных теплообменных аппаратов воздухоразделительных установок; - выполнять теплогидравлический расчет рекуперативных теплообменных аппаратов.
ПК-3 Способен к проектированию узлов экспериментальных и промышленных низкотемпературных установок	ИД-2 _{ПК-3} Знает принцип действия и характеристики оборудования и технологических схем низкотемпературных систем	знать: - особенности определения свойств теплоносителей для расчета оборудования низкотемпературных систем; - особенности применения различных конструкционных материалов в оборудовании низкотемпературных систем. уметь: - вычислять характеристики теплообменного оборудования низкотемпературных систем (коэффициент теплопередачи, средний температурный напор и т.д.); - вычислять площадь поверхности

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции	Запланированные результаты обучения
		теплообмена и гидравлическое сопротивление для трубчатых поверхностей теплообмена в низкотемпературных системах.

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ ВО

Дисциплина относится к основной профессиональной образовательной программе Техника и физика низких температур (далее – ОПОП), направления подготовки 14.03.01 Ядерная энергетика и теплофизика, уровень образования: высшее образование - бакалавриат.

Требования к входным знаниям и умениям:

- знать основы дисциплин «Тепломассообмен», «Термодинамика»

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 8 зачетных единиц, 288 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	Основы расчета и конструирования теплообменных аппаратов	144	7	16	-	32	-	-	-	-	-	96	-	<u>Изучение материалов литературных источников:</u> [1], 18-364 [2], 11-154 [3], 2-15 [4], 2-78		
1.1	Теплофизические свойства теплоносителей	24		4	-	8	-	-	-	-	-	-	12		-	
1.2	Конструкционные материалы низкотемпературной техники	12		4	-	-	-	-	-	-	-	-	8		-	
1.3	Основы расчета теплообменных аппаратов	108		8	-	24	-	-	-	-	-	-	76		-	
	Экзамен	36.0		-	-	-	-	2.0	-	-	0.5	-	-		33.5	
	Всего за семестр	180.0		16	-	32	-	2.0	-	-	0.5	-	96		33.5	
	Итого за семестр	180.0		16	-	32	2.0	-	-	0.5	-	129.5	-		-	
2	Виды, особенности и принцип действия теплообменных аппаратов	72	8	28	-	28	-	-	-	-	-	16	-	<u>Подготовка к текущему контролю:</u> Повторение материала по разделу "Виды, особенности и принцип действия теплообменных аппаратов" <u>Подготовка к аудиторным занятиям:</u> Проработка лекции, выполнение и подготовка к защите лаб. работы <u>Подготовка к контрольной работе:</u> Изучение материалов по разделу Виды, особенности и принцип действия		
2.1	Рекуперативные теплообменные аппараты	46		16	-	20	-	-	-	-	-	-	10		-	
2.2	Регенеративные теплообменные аппараты	26		12	-	8	-	-	-	-	-	-	6		-	

														теплообменных аппаратов и подготовка к контрольной работе <u>Подготовка к практическим занятиям:</u> Изучение материала по разделу "Виды, особенности и принцип действия теплообменных аппаратов" подготовка к выполнению заданий на практических занятиях <u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u> Изучение дополнительного материала по разделу "Виды, особенности и принцип действия теплообменных аппаратов" <u>Изучение материалов литературных источников:</u> [2], 155-304 [3], 2-15 [4], 79-164
	Экзамен	36.0		-	-	-	-	2.0	-	-	0.5	-	33.5	
	Всего за семестр	108.0		28	-	28	-	2.0	-	-	0.5	16	33.5	
	Итого за семестр	108.0		28	-	28		2.0	-		0.5		49.5	
	ИТОГО	288.0	-	44	-	60		4.0	-		1.0		179.0	

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. Основы расчета и конструирования теплообменных аппаратов

1.1. Теплофизические свойства теплоносителей

Теплоносители, используемые в низкотемпературных установках. Определение теплофизических свойств газообразных и жидких теплоносителей. Влажный воздух и его свойства, $h - x$ диаграмма влажного воздуха.

1.2. Конструкционные материалы низкотемпературной техники

Конструкционные материалы, применяемые в низкотемпературной технике, их теплофизические, механические и технологические свойства. Особенности применения металлов, сплавов, полимерных материалов в низкотемпературной технике..

1.3. Основы расчета теплообменных аппаратов

Назначение и роль теплообменных аппаратов в низкотемпературных установках. Общая классификация теплообменных аппаратов. Основные расчетные уравнения. Примеры использования тепломассообменных аппаратов в низкотемпературной технике (дроссельные рефрижераторы, воздухоразделительные установки). Особенности расчета коэффициента теплоотдачи и гидравлического сопротивления в теплообменных аппаратах низкотемпературной техники. Определение коэффициента теплопередачи при сложной геометрии поверхности теплообмена. Определение среднего температурного напора в теплообменных аппаратах, в том числе при переменных свойствах теплоносителей. Расчет гидравлического сопротивления теплообменных аппаратов. Показатели качества теплообменных аппаратов. Расчет теплообменных аппаратов с использованием связи между числом единиц переноса и эффективностью..

2. Виды, особенности и принцип действия теплообменных аппаратов

2.1. Рекуперативные теплообменные аппараты

Принцип действия рекуператоров, их преимущества и недостатки по сравнению с другими типами теплообменных аппаратов. Назначение, конструктивные особенности, сравнительные характеристики, методика теплового и гидравлического расчета, особенности расчета теплоотдачи и гидравлического сопротивления для рекуперативных теплообменников следующих типов: 1) труба в трубе; 2) прямотрубные; 3) витые поперечно-точные; 4) пластинчато-ребристые; 5) матричные..

2.2. Регенеративные теплообменные аппараты

Принцип действия регенераторов. Использование регенераторов в криогенных газовых машинах и воздухоразделительных установках. Конструктивные особенности регенераторов различных типов. Температурный режим работы регенераторов. Методика теплового и гидравлического расчета регенераторов, особенности расчета теплоотдачи и гидравлического сопротивления. Очистка воздуха от примесей в регенераторах воздухоразделительных установок..

3.3. Темы практических занятий

1. Тепловой и гидравлический расчет регенераторов воздухоразделительных установок (6 часов).;
2. Тепловой и гидравлический расчет матричных теплообменных аппаратов (4 часа).;
3. Тепловой и гидравлический расчет пластинчато-ребристых теплообменных аппаратов (4 часа).;

4. Тепловой и гидравлический расчет витых поперечно-точных теплообменных аппаратов (4 часа).;
5. Расчет влияния эффективности теплообменного аппарата на выход жидкости в ожигителе, работающем по схеме Линде (2 часа);
6. Определение выходных температур теплоносителей при поверочном расчете теплообменных аппаратов (6 часов);
7. Определение коэффициента теплопередачи при различной геометрии поверхности теплообмена (12 часов);
8. Расчет среднего температурного напора в теплообменных аппаратах (6 часов);
9. Определение параметров влажного воздуха по $h - x$ диаграмме и расчетным путем, расчет процессов нагрева, охлаждения и смешивания влажного воздуха (4 часа);
10. Тепловой и гидравлический расчет змеевиковых теплообменных аппаратов (4 часа);
11. Расчет теплофизических свойств теплоносителей (4 часа);
12. Тепловой и гидравлический расчет прямотрубных теплообменных аппаратов (4 часа);
13. Определение площади поверхности теплообмена с использованием связи между числом единиц переноса и эффективностью (6 часов);
14. Расчет гидравлического сопротивления в теплообменных аппаратах (6 часов);
15. Тепловой и гидравлический расчет регенераторов криогенных газовых машин (2 часа)..

3.4. Темы лабораторных работ не предусмотрено

3.5 Консультации

Групповые консультации по разделам дисциплины (ГК)

1. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Основы расчета и конструирования теплообменных аппаратов"
2. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Виды, особенности и принцип действия теплообменных аппаратов"

Текущий контроль (ТК)

1. Консультации направлены на получение индивидуального задания для выполнения контрольных мероприятий по разделу "Основы расчета и конструирования теплообменных аппаратов"
2. Консультации направлены на получение индивидуального задания для выполнения контрольных мероприятий по разделу "Виды, особенности и принцип действия теплообменных аппаратов"

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	
Знать:				
особенности конструкции и методики теплогидравлического расчета рекуперативных теплообменных аппаратов различных типов	ИД-1ПК-2		+	Коллоквиум/Рекуперативные теплообменные аппараты
особенности конструкции и методики теплогидравлического расчета регенеративных теплообменных аппаратов различных типов	ИД-1ПК-2		+	Коллоквиум/Регенеративные теплообменные аппараты
особенности применения различных конструкционных материалов в оборудовании низкотемпературных систем	ИД-2ПК-3	+		Коллоквиум/Конструкционные материалы низкотемпературной техники
особенности определения свойств теплоносителей для расчета оборудования низкотемпературных систем	ИД-2ПК-3	+		Коллоквиум/Теплофизические свойства теплоносителей
Уметь:				
выполнять теплогидравлический расчет рекуперативных теплообменных аппаратов	ИД-1ПК-2		+	Контрольная работа/Рекуперативные теплообменные аппараты
выполнять теплогидравлический расчет регенеративных теплообменных аппаратов воздухоразделительных установок	ИД-1ПК-2		+	Контрольная работа/Регенеративные теплообменные аппараты
вычислять площадь поверхности теплообмена и гидравлическое сопротивление для трубчатых поверхностей теплообмена в низкотемпературных системах	ИД-2ПК-3	+		Контрольная работа/Основы расчета теплообменных аппаратов
вычислять характеристики теплообменного оборудования низкотемпературных систем (коэффициент теплопередачи, средний температурный напор и т.д.)	ИД-2ПК-3	+		Коллоквиум/Основы расчета теплообменных аппаратов

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: Письменная работа

1. Основы расчета теплообменных аппаратов (Контрольная работа)

Форма реализации: Устная форма

1. Конструкционные материалы низкотемпературной техники (Коллоквиум)
2. Основы расчета теплообменных аппаратов (Коллоквиум)
3. Теплофизические свойства теплоносителей (Коллоквиум)

8 семестр

Форма реализации: Письменная работа

1. Регенеративные теплообменные аппараты (Контрольная работа)
2. Рекуперативные теплообменные аппараты (Контрольная работа)

Форма реализации: Устная форма

1. Регенеративные теплообменные аппараты (Коллоквиум)
2. Рекуперативные теплообменные аппараты (Коллоквиум)

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.

Экзамен (Семестр №8)

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 8 семестр.

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

5. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

5.1 Печатные и электронные издания:

1. Архаров, А. М. Криогенные системы. Основы теории и расчета : учебник для вузов по специальностям "Криогенная техника" и "Холодильные и компрессорные машины и установки" / А. М. Архаров, И. В. Марфенина, Е. И. Микулин. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Машиностроение, 1988. – 464 с. – ISBN 5-217-00083-X.;
2. Григорьев, В. А. Тепло- и массообменные аппараты криогенной техники : учебное пособие для вузов по специальности "Криогенная техника" / В. А. Григорьев, Ю. И. Крохин. – М. : Энергоиздат, 1982. – 312 с.;

3. Ястребов, А. К. Теплообменные аппараты низкотемпературных установок. Сборник задач : учебное пособие по курсу "Теплообменные аппараты низкотемпературных установок" по направлению "Техническая физика" / А. К. Ястребов, Моск. энерг. ин-т (МЭИ ТУ). – М. : Издательский дом МЭИ, 2007. – 16 с. – ISBN 978-5-383-00033-5.;
4. А. Н. Расщепкин, В. А. Ермолаев- "Теплообменные аппараты низкотемпературной техники", (2-е изд., испр. и доп.), Издательство: "Кемеровский технологический институт пищевой промышленности", Кемерово, 2012 - (169 с.)
<https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=141516>.

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 "Университетская библиотека онлайн" -
http://biblioclub.ru/index.php?page=main_ub_red
2. Научная электронная библиотека - <https://elibrary.ru/>
3. База данных Web of Science - <http://webofscience.com/>
4. База данных Scopus - <http://www.scopus.com>
5. Национальная электронная библиотека - <https://rusneb.ru/>
6. Электронная библиотека МЭИ (ЭБ МЭИ) - <http://elib.mpei.ru/login.php>
7. Портал открытых данных Российской Федерации - <https://data.gov.ru>
8. Национальный портал онлайн обучения «Открытое образование» - <https://openedu.ru>
9. Официальный сайт Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии - <http://protect.gost.ru/>
10. 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	М-409/2, Аудитория каф. "НТ"	стол преподавателя, стол, доска меловая, мультимедийный проектор
	М-422/4, Учебная лаборатория криофизики	стол, стул, мультимедийный проектор
	М-412, Учебная аудитория	стеллаж для хранения книг, стол, стул, мультимедийный проектор, доска маркерная
	Ж-120, Машинный зал ИВЦ	сервер, кондиционер
Учебные аудитории для проведения практических занятий, КР и КП	М-409/2, Аудитория каф. "НТ"	стол преподавателя, стол, доска меловая, мультимедийный проектор
	М-422/4, Учебная лаборатория криофизики	стол, стул, мультимедийный проектор
	М-412, Учебная аудитория	стеллаж для хранения книг, стол, стул, мультимедийный проектор, доска маркерная
	Ж-120, Машинный	сервер, кондиционер

	зал ИВЦ	
Учебные аудитории для проведения промежуточной аттестации	М-409/2, Аудитория каф. "НТ"	стол преподавателя, стол, доска меловая, мультимедийный проектор
	М-422/4, Учебная лаборатория криофизики	стол, стул, мультимедийный проектор
	М-412, Учебная аудитория	стеллаж для хранения книг, стол, стул, мультимедийный проектор, доска маркерная
	Ж-120, Машинный зал ИВЦ	сервер, кондиционер
Помещения для самостоятельной работы	М-411/1, Компьютерный класс	стол, стул, доска меловая, мультимедийный проектор, компьютер персональный
Помещения для консультирования	М-402, Аудитория каф. "НТ"	стеллаж для хранения книг, стул, стол письменный
Помещения для хранения оборудования и учебного инвентаря	М-407/1, Кладовая	стеллаж для хранения инвентаря, стеллаж для хранения книг, инвентарь специализированный

БАЛЛЬНО-РЕЙТИНГОВАЯ СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

Тепломассообменные аппараты низкотемпературных установок

(название дисциплины)

7 семестр

Перечень контрольных мероприятий текущего контроля успеваемости по дисциплине:

- КМ-1 Теплофизические свойства теплоносителей (Коллоквиум)
- КМ-2 Конструкционные материалы низкотемпературной техники (Коллоквиум)
- КМ-3 Основы расчета теплообменных аппаратов (Коллоквиум)
- КМ-4 Основы расчета теплообменных аппаратов (Контрольная работа)

Вид промежуточной аттестации – Экзамен.

Номер раздела	Раздел дисциплины	Индекс КМ:	КМ-1	КМ-2	КМ-3	КМ-4
		Неделя КМ:	4	6	11	14
1	Основы расчета и конструирования теплообменных аппаратов					
1.1	Теплофизические свойства теплоносителей		+			
1.2	Конструкционные материалы низкотемпературной техники			+		
1.3	Основы расчета теплообменных аппаратов				+	+
Вес КМ, %:			20	20	35	25

8 семестр

Перечень контрольных мероприятий текущего контроля успеваемости по дисциплине:

- КМ-5 Рекуперативные теплообменные аппараты (Коллоквиум)
- КМ-6 Рекуперативные теплообменные аппараты (Контрольная работа)
- КМ-7 Регенеративные теплообменные аппараты (Коллоквиум)
- КМ-8 Регенеративные теплообменные аппараты (Контрольная работа)

Вид промежуточной аттестации – Экзамен.

Номер раздела	Раздел дисциплины	Индекс КМ:	КМ-5	КМ-6	КМ-7	КМ-8
		Неделя КМ:	4	8	10	12
1	Виды, особенности и принцип действия теплообменных аппаратов					
1.1	Рекуперативные теплообменные аппараты		+	+		
1.2	Регенеративные теплообменные аппараты				+	+
Вес КМ, %:			30	30	20	20

