

**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**  
**УСТАНОВКИ И СИСТЕМЫ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ТЕХНИКИ**


<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.12</b>
<b>Трудоемкость в зачетных единицах:</b>	<b>8 семестр - 4;</b>
<b>Часов (всего) по учебному плану:</b>	<b>144 часа</b>
<b>Лекции</b>	<b>8 семестр - 28 часа;</b>
<b>Практические занятия</b>	<b>8 семестр - 28 часа;</b>
<b>Лабораторные работы</b>	<b>8 семестр - 14 часов;</b>
<b>Консультации</b>	<b>8 семестр - 2 часа;</b>
<b>Самостоятельная работа</b>	<b>8 семестр - 71,5 часа;</b>
<b>в том числе на КП/КР</b>	<b>не предусмотрено учебным планом</b>
<b>Иная контактная работа</b>	<b>проводится в рамках часов аудиторных занятий</b>
<b>включая:</b>	
<b>Контрольная работа</b>	
<b>Промежуточная аттестация:</b>	
<b>Экзамен</b>	<b>8 семестр - 0,5 часа;</b>

**Москва 2023**

## ПРОГРАММУ СОСТАВИЛ:

Преподаватель

(должность)

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

(подпись)

Ю.Ю. Пузина

(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	Крюков А.П.
	Идентификатор	R9b81f956-KryukovAP-8dacf4ed

(подпись)

А.П. Крюков

(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	Пузина Ю.Ю.
	Идентификатор	Re86e9a56-Puzina-4d2acad1

(подпись)

Ю.Ю. Пузина

(расшифровка  
подписи)

## 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

**Цель освоения дисциплины:** изучение установок и систем низкотемпературной и криогенной техники для последующего использования при эксплуатации, разработке и проведении научно-исследовательских работ в области физики и техники низких температур

### Задачи дисциплины

- изучение основных современных процессы получения холода и основ системного анализа эффективности низкотемпературных систем и отдельных элементов таких систем;
- овладение информацией о современных криогенных системах и низкотемпературных технологиях;
- изучение и обоснование конкретных технических решений при эксплуатации и конструировании низкотемпературных систем;
- 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-4 Способен к проектированию узлов экспериментальных и промышленных низкотемпературных установок	ИД-3 <sub>ПК-4</sub> Владеет основами проектирования низкотемпературных систем, владеет способами расчета процессов в отдельных аппаратах и узлах низкотемпературных установок	знать: - особенности устройства и работы современного криогенного оборудования; - основные элементы низкотемпературных установок и особенности их работы.  уметь: - рассчитывать и проектировать криогенные системы различного назначения; - использовать полученные знания для проектирования и эксплуатации установок низкотемпературной техники.

## 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 «Термодинамика», «Термодинамические основы низкотемпературной техники», «Тепломассообменные аппараты низкотемпературных установок»
- уметь навыки, полученные во время производственной практики

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	Установки и системы низкотемпературной техники	108	8	28	14	28	-	-	-	-	-	38	-	<p><b><u>Подготовка к аудиторным занятиям:</u></b> Проработка лекции, выполнение и подготовка к защите лаб. работы</p> <p><b><u>Подготовка к лабораторной работе:</u></b> Для выполнения заданий по лабораторной работе необходимо предварительно изучить тему и задачи выполнения лабораторной работы, а так же изучить вопросы вариантов обработки результатов по изученному в разделе "Установки и системы низкотемпературной техники" материалу.</p> <p><b><u>Подготовка к текущему контролю:</u></b> Повторение материала по разделу "Установки и системы низкотемпературной техники"</p> <p><b><u>Подготовка к контрольной работе:</u></b> Изучение материалов по разделу Установки и системы низкотемпературной техники и подготовка к контрольной работе</p> <p><b><u>Подготовка к практическим занятиям:</u></b> Изучение материала по разделу "Установки и системы низкотемпературной техники" подготовка к выполнению заданий на практических занятиях</p> <p><b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> Изучение дополнительного материала по разделу "Установки и системы низкотемпературной"</p>
1.1	Основы общей теории рефрижераторов и ожижителей	18		4	4	4	-	-	-	-	-	6	-	
1.2	Установки со стационарными потоками, установки, работающие по циклу Линде	22		6	4	6	-	-	-	-	-	6	-	
1.3	Детандерные циклы	18		6	-	6	-	-	-	-	-	6	-	
1.4	Циклы ожижения	22		6	-	6	-	-	-	-	-	10	-	
1.5	Установки с нестационарными потоками	28		6	6	6	-	-	-	-	-	10	-	

													техники" <b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [1], 3-97 [2], 10-255 [3], 9-535 [4], 12-413 [5], 5-161
	Экзамен	36.0	-	-	-	-	2	-	-	0.5	-	33.5	
	Всего за семестр	144.0	28	14	28	-	2	-	-	0.5	38	33.5	
	Итого за семестр	144.0	28	14	28		2		-	0.5		71.5	

**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. Установки и системы низкотемпературной техники

##### 1.1. Основы общей теории рефрижераторов и ожижителей

Парокомпрессионные циклы. Холодильный коэффициент. Процесс дросселирования и детандирования. Эффективность холодильных и криогенных циклов. Цикл Карно. Эксергия. Эксергетический КПД..

##### 1.2. Установки со стационарными потоками, установки, работающие по циклу Линде

Холодильные циклы и цикл Линде (Джоуля-Томсона). Энергетический баланс цикла Линде. Изотермический дроссель эффект. Зависимость изотермического дроссель эффекта от температуры и давления. Недорекуперация..

##### 1.3. Детандерные циклы

Процесс детандирования. Детандирование идеального газа. Детандирование в двухфазную область. КПД детандера. Типы детандеров. Цикл Брайтона. Цикл Лоренца..

##### 1.4. Циклы ожижения

Ожижение криогенных газов ( азот, кислород, неон, водород, гелий). Пара и орто водород. Катализаторы. Циклы для получения водорода. Ожижение природного газа (СПГ)..

##### 1.5. Установки с нестационарными потоками

Цикл Стирлинга - конструкция и работа. Модель Шмидта. Эффективность цикла Стирлинга. Модификации Цикла Стирлинга. Основы методик расчета и термодинамической оптимизации установок, работающих по обратному циклу Стирлинга, Гиффорда-МакМагона, Вюлемье-Такониса.

### **3.3. Темы практических занятий**

1. Цикл Джоуля-Томсона (Линде). Изотермический дроссель эффект. Анализ потерь в дроссельном цикле. (4 часа).;
2. Многокомпонентные рабочие тела в дроссельных системах(2 часа).;
3. Циклы Клода, Гейланда и Капицы. (4 часа).;
4. Расчет гелиевого ожижителя(2 часа).;
5. Газовая машина Гиффорда-МакМагона (2 часа).;
6. Газовая машина Стирлинга(4 часа).;
7. Низкотемпературная камера на многокомпонентных рабочих телах, работающая по циклу Джоуля-Томсона (цикл Линде). (4 часа).;
8. Пусковой период дроссельной системы. Температурный уровень 80К. (2 часа).;
9. Расчет водородного ожижителя(2 часа).;
10. Сравнение процессов дросселирования, адиабатного изоэнтропного и адиабатного неизоэнтропного процессов расширения. (2 часа)..

### **3.4. Темы лабораторных работ**

1. Газовая криогенная машина Стирлинга №3 (4 часа).;
2. Дроссельная криогенная система на многокомпонентном рабочем теле. №2 (4 часа).;
3. Низкотемпературная климатическая термокамера №1 (4 часа)..

### **3.5 Консультации**

#### Групповые консультации по разделам дисциплины (ГК)

1. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Установки и системы низкотемпературной техники"

#### Текущий контроль (ТК)

1. Консультации направлены на получение индивидуального задания для выполнения контрольных мероприятий по разделу "Установки и системы низкотемпературной техники"

### **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	
<b>Знать:</b>			
основные элементы низкотемпературных установок и особенности их работы	ИД-3ПК-4	+	Контрольная работа/Циклы Гейланда, Клода и Капицы. Характеристики и особенности работы
особенности устройства и работы современного криогенного оборудования	ИД-3ПК-4	+	Контрольная работа/Цикл Карно и Цикл Линде. Эксергетический КПД. Процессы дросселирования и детандирования
<b>Уметь:</b>			
использовать полученные знания для проектирования и эксплуатации установок низкотемпературной техники	ИД-3ПК-4	+	Контрольная работа/Водород и водородные ожижители. Получение СПГ. Компрессоры и детандеры
рассчитывать и проектировать криогенные системы различного назначения	ИД-3ПК-4	+	Контрольная работа/Гелиевые рефрижераторы и ожижители. Современные решения и достижения



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

### **4.1. Текущий контроль успеваемости**

**8 семестр**

Форма реализации: Письменная работа

1. Водород и водородные ожижители. Получение СПГ. Компрессоры и детандеры (Контрольная работа)
2. Гелиевые рефрижераторы и ожижители. Современные решения и достижения (Контрольная работа)
3. Цикл Карно и Цикл Линде. Эксергетический КПД. Процессы дросселирования и детандирования (Контрольная работа)
4. Циклы Гейланда, Клода и Капицы. Характеристики и особенности работы (Контрольная работа)

Балльно-рейтинговая структура дисциплины является приложением А.

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

*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. Лунин, А. И. Применение многокомпонентных рабочих тел в низкотемпературной технике : учебное пособие по курсам "Термодинамика смесей и растворов", "Основы холодильной техники", "Холодильные машины и установки" по направлению "Техническая физика" / А. И. Лунин, В. И. Могорычный, В. Н. Коваленко, Моск. энерг. ин-т (МЭИ ТУ) . – М. : Издательский дом МЭИ, 2009 . – 100 с. - ISBN 978-5-383-00341-1 .  
[http://elibr.mpei.ru/action.php?kt\\_path\\_info=ktcore.SecViewPlugin.actions.document&fDocumentId=1463](http://elibr.mpei.ru/action.php?kt_path_info=ktcore.SecViewPlugin.actions.document&fDocumentId=1463);
2. 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 .;
3. Машины низкотемпературной техники. Криогенные машины и инструменты : учебник для высших учебных заведений по специальностям "Холодильная, криогенная техника и конденсирование" направления "Энергомашиностроение" и "Техника и физика низких температур" направления "Техническая физика" / А. М. Архаров, и др. – М. : Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2011 . – 582 с. - ISBN 978-5-7038-3477-0 .;
4. Справочник по физико-техническим основам криогеники / М. П. Малков, и др. – 3-е изд., перераб. и доп . – М. : Энергоатомиздат, 1985 . – 432 с.;

5. 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 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 Web of Science - <http://webofscience.com/>
6. База данных Scopus - <http://www.scopus.com>
7. Национальная электронная библиотека - <https://rusneb.ru/>
8. Электронная библиотека МЭИ (ЭБ МЭИ) - <http://elib.mpei.ru/login.php>
9. Портал открытых данных Российской Федерации - <https://data.gov.ru>
10. Открытая университетская информационная система «РОССИЯ» - <https://uisrussia.msu.ru>
11. Федеральный портал "Российское образование" - <http://www.edu.ru>

## 6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Тип помещения	Номер аудитории, наименование	Оснащение
Учебные аудитории для проведения лекционных занятий и текущего контроля	М-422/4, Учебная лаборатория криофизики	стол, стул, мультимедийный проектор
	М-412, Учебная аудитория	стеллаж для хранения книг, стол, стул, мультимедийный проектор, доска маркерная
	М-402, Аудитория каф. "НТ"	стеллаж для хранения книг, стул, стол письменный
Учебные аудитории для проведения практических занятий, КР и КП	М-412, Учебная аудитория	стеллаж для хранения книг, стол, стул, мультимедийный проектор, доска маркерная
	Криоцентр-102, Учебно-научная лаборатория теплообмена в ядерных и термоядерных реакторах	стул, оборудование учебное, техническая аппаратура, инвентарь специализированный
Учебные аудитории для проведения лабораторных занятий	М-401, Учебная лаборатория криогенных систем	стол, стул, лабораторный стенд
Учебные аудитории для проведения промежуточной аттестации	М-409/2, Аудитория каф. "НТ"	стол преподавателя, стол, доска меловая, мультимедийный проектор
	М-411/1, Компьютерный класс	стол, стул, доска меловая, мультимедийный проектор, компьютер персональный

	М-412, Учебная аудитория	стеллаж для хранения книг, стол, стул, мультимедийный проектор, доска маркерная
Помещения для самостоятельной работы	М-411/1, Компьютерный класс	стол, стул, доска меловая, мультимедийный проектор, компьютер персональный
Помещения для консультирования	М-402, Аудитория каф. "ИТ"	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

### Установки и системы низкотемпературной техники

(название дисциплины)

#### 8 семестр

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

- КМ-1 Цикл Карно и Цикл Линде. Эксергетический кпд. Процессы дросселирования и детандирования (Контрольная работа)
- КМ-2 Циклы Гейланда, Клода и Капицы. Характеристики и особенности работы (Контрольная работа)
- КМ-3 Гелиевые рефрижераторы и ожижители. Современные решения и достижения (Контрольная работа)
- КМ-4 Водород и водородные ожижители. Получение СПГ. Компрессоры и детандеры (Контрольная работа)

**Вид промежуточной аттестации – Экзамен.**

Номер раздела	Раздел дисциплины	Индекс КМ:	КМ-1	КМ-2	КМ-3	КМ-4
		Неделя КМ:	4	8	11	13
1	Установки и системы низкотемпературной техники					
1.1	Основы общей теории рефрижераторов и ожижителей		+			
1.2	Установки со стационарными потоками, установки, работающие по циклу Линде		+	+		
1.3	Детандерные циклы			+		+
1.4	Циклы ожижения				+	
1.5	Установки с нестационарными потоками				+	+
Вес КМ, %:			20	30	25	25