

**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**  
**ОБОРУДОВАНИЕ КРИОГЕННЫХ СИСТЕМ**


<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.13</b>
<b>Трудоемкость в зачетных единицах:</b>	<b>8 семестр - 3;</b>
<b>Часов (всего) по учебному плану:</b>	<b>108 часов</b>
<b>Лекции</b>	<b>не предусмотрено учебным планом</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>проводится в рамках часов аудиторных занятий</b>
<b>Самостоятельная работа</b>	<b>8 семестр - 65,7 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> Коллоквиум Реферат Лабораторная работа	
<b>Промежуточная аттестация:</b>	
<b>Зачет с оценкой</b>	<b>8 семестр - 0,3 часа;</b>

**Москва 2023**

**ПРОГРАММУ СОСТАВИЛ:**

Преподаватель

(должность)

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

(подпись)

А.К. Ястребов

(расшифровка  
подписи)

**СОГЛАСОВАНО:**

Руководитель  
образовательной программы

(должность, ученая степень, ученое звание)

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

(подпись)

Ю.Ю. Пузина

(расшифровка  
подписи)

## 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

**Цель освоения дисциплины:** изучение схемы конкретной криогенной ожижительной установки, конструкций ее элементов, вопросов ее работы и эксплуатации, проведение экспериментов с различными криогенными устройствами

### Задачи дисциплины

- изучение основных видов низкотемпературных установок, применяемых в промышленности;
- получение сведений о физических принципах построения низкотемпературных установок;
- приобретение навыков работы с информационной базой, которая необходима для создания низкотемпературных установок;
- получение умений принимать и обосновывать конкретные технические решения при последующем конструировании элементов низкотемпературных установок.

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-3 Готов к расчетно-экспериментальному анализу особенностей низкотемпературных процессов	ИД-3 <sub>ПК-3</sub> Владеет экспериментальными методами исследования низкотемпературных процессов	знать: - особенности устройства и работы современного криогенного оборудования.  уметь: - участвовать в экспериментальных исследованиях процессов в криогенных установках и обработке результатов экспериментов.
ПК-4 Способен к проектированию узлов экспериментальных и промышленных низкотемпературных установок	ИД-4 <sub>ПК-4</sub> Знает основные конструкционные элементы низкотемпературных установок и способы их соединения	знать: - основные элементы низкотемпературных установок и особенности их работы.  уметь: - 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 прохождения 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 3 зачетных единицы, 108 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	Оборудование криогенных систем	90	8	-	14	28	-	-	-	-	-	48	-	<p><b><u>Подготовка к текущему контролю:</u></b> Повторение материала по разделу "Оборудование криогенных систем"</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 "Оборудование криогенных систем" материалу.</p> <p><b><u>Подготовка к аудиторным занятиям:</u></b> Проработка лекции, выполнение и подготовка к защите лаб. работы</p> <p><b><u>Подготовка к практическим занятиям:</u></b> Изучение материала по разделу "Оборудование криогенных систем" подготовка к выполнению заданий на практических занятиях</p> <p><b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> Изучение дополнительного материала по разделу "Оборудование криогенных систем"</p> <p><b><u>Подготовка реферата:</u></b> В рамках реферативной части студенту необходимо провести обзор литературных источников по выбранной теме, комплексно осветить вопрос в соответствии с темой реферата,</p>	
1.1	Изучение схемы гелиевого ожижителя, конструкции его элементов и основ их работы	52		-	-	28	-	-	-	-	-	-	24		-
1.2	Проведение экспериментальных исследований с различным криогенным оборудованием	38		-	14	-	-	-	-	-	-	-	24		-

													подготовить презентацию для выступления по результатам работы на семинарском занятии. В качестве тем реферата студенту предлагаются следующие варианты: «Современное криогенное оборудование» <b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [1], 3-78 [2], 2-15 [3], 3-58 [4], 3-105 [5], 2-50
	Зачет с оценкой	18.0	-	-	-	-	-	-	-	0.3	-	17.7	
	<b>Всего за семестр</b>	<b>108.0</b>	-	<b>14</b>	<b>28</b>	-	-	-	-	<b>0.3</b>	<b>48</b>	<b>17.7</b>	
	<b>Итого за семестр</b>	<b>108.0</b>	-	<b>14</b>	<b>28</b>	-	-	-	-	<b>0.3</b>	<b>65.7</b>		

**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. Оборудование криогенных систем

1.1. Изучение схемы гелиевого ожижителя, конструкции его элементов и основ их работы  
Принципиальная и технологическая схема установки. Системы хранения газообразного гелия. Основной и вспомогательные компрессоры. Блок осушки гелия и очистки от примесей других газов. Криоблок установки: компоновка, теплообменные аппараты, расширительные устройства (поршневой детандер, дроссельный вентиль), сборник жидкого гелия и трубопровод для его слива. Вакуумное оборудование ожижителя..

1.2. Проведение экспериментальных исследований с различным криогенным оборудованием

Испытание пластинчато-ребристого теплообменника. Исследование охлаждения криогенных жидкостей методом вакуумирования парового пространства. Изучение процесса вынужденного капиллярного распада струй..

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

1. Расширительные устройства гелиевого ожижителя (6 часов).;
2. Теплообменные аппараты гелиевого ожижителя (6 часов).;
3. Системы очистки газообразного гелия от примесей (6 часов).;
4. Компрессорное и вакуумное оборудование гелиевого ожижителя (6 часов).;
5. Принципиальная и технологическая схема гелиевого ожижителя (4 часа)..

### **3.4. Темы лабораторных работ**

1. Изучение процесса вынужденного капиллярного распада струй (4 часа).;
2. Исследование охлаждения криогенных жидкостей методом вакуумирования парового пространства (4 часа).;
3. Испытание пластинчато-ребристого теплообменника (4 часа)..

### **3.5 Консультации**

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

1. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Оборудование криогенных систем"  
Текущий контроль (ТК)

1. Консультации направлены на получение индивидуального задания для выполнения контрольных мероприятий по разделу "Оборудование криогенных систем"

### **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>			
особенности устройства и работы современного криогенного оборудования	ИД-3ПК-3	+	Реферат/Современное криогенное оборудование
основные элементы низкотемпературных установок и особенности их работы	ИД-4ПК-4	+	Коллоквиум/Системы подготовки и хранения рабочего тела в гелиевом ожижителе
<b>Уметь:</b>			
участвовать в экспериментальных исследованиях процессов в криогенных установках и обработке результатов экспериментов	ИД-3ПК-3	+	Лабораторная работа/Изучение процесса вынужденного капиллярного распада струй Лабораторная работа/Испытание пластинчато-ребристого теплообменника Лабораторная работа/Исследование охлаждения криогенных жидкостей методом вакуумирования парового пространства
использовать полученные знания для проектирования и эксплуатации установок низкотемпературной техники	ИД-4ПК-4	+	Коллоквиум/Криоблок гелиевого ожижителя



## **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: Выполнение задания

1. Изучение процесса вынужденного капиллярного распада струй (Лабораторная работа)
2. Испытание пластинчато-ребристого теплообменника (Лабораторная работа)
3. Исследование охлаждения криогенных жидкостей методом вакуумирования парового пространства (Лабораторная работа)

Форма реализации: Устная форма

1. Криоблок гелиевого ожижителя (Коллоквиум)
2. Системы подготовки и хранения рабочего тела в гелиевом ожижителе (Коллоквиум)
3. Современное криогенное оборудование (Реферат)

Балльно-рейтинговая структура дисциплины является приложением А.

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

*Зачет с оценкой (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. Грачев, А. Б. Оборудование гелиевых ожижителей и рефрижераторов: Учебное пособие по курсам "Рефрижераторы и ожижители" и "Проектирование криогенных систем" / А. Б. Грачев, Ю. В. Синявский, В. И. Антипов, Моск. энерг. ин-т (МЭИ ТУ) . – М. : Изд-во МЭИ, 1998 . – 80 с. - ISBN 5-7046-0306-8 : 4.50 .;
2. Королев, П. В. Испытание пластинчато-ребристого теплообменника. Лабораторная работа N 3 : методическое пособие по курсу "Оборудование криогенных систем" по направлению "Техническая физика" / П. В. Королев, Моск. энерг. ин-т (МЭИ ТУ) . – М. : Издательский дом МЭИ, 2007 . – 16 с.;
3. Бухаров, А. В. Исследование теплофизических проблем получения стабильных монодисперсных капельных потоков : учебное пособие по курсам "Оборудование криогенных систем", "Низкотемпературный эксперимент", "Установки и системы низкотемпературной техники" по направлению "Ядерная энергетика и теплофизика" / А. В. Бухаров, Т. А. Алексеев, В. Ю. Левашов, Нац. исслед. ун-т "МЭИ" (НИУ"МЭИ") . – М. : Изд-во МЭИ, 2019 . – 60 с. - ISBN 978-5-7046-2146-1 .  
[http://elib.mpei.ru/action.php?kt\\_path\\_info=ktcore.SecViewPlugin.actions.document&fDocumentId=10697;](http://elib.mpei.ru/action.php?kt_path_info=ktcore.SecViewPlugin.actions.document&fDocumentId=10697)
4. Горбачев, С. П. Теплофизические процессы в криогенных системах : учебное пособие по курсу "Теплофизические процессы в низкотемпературных системах" по направлению

"Ядерная энергетика и теплофизика" / С. П. Горбачев, Нац. исслед. ун-т "МЭИ" (НИУ"МЭИ") . – М. : Изд-во МЭИ, 2017 . – 107 с. - ISBN 978-5-7046-1860-7 .  
[http://elib.mpei.ru/action.php?kt\\_path\\_info=ktcore.SecViewPlugin.actions.document&fDocumentId=10077;](http://elib.mpei.ru/action.php?kt_path_info=ktcore.SecViewPlugin.actions.document&fDocumentId=10077;)

5. Буткевич И. К.- "Качество и надежность криогенных систем", Издательство: "МГТУ им. Н.Э. Баумана", Москва, 2007 - (52 с.)  
[http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1\\_id=58483.](http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=58483)

## 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](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	Ж-120, Машинный зал ИВЦ	сервер, кондиционер
	Криоцентр-102, Учебно-научная лаборатория теплообмена в ядерных и термоядерных реакторах	стул, оборудование учебное, техническая аппаратура, инвентарь специализированный
Учебные аудитории для проведения практических занятий, КР и КП	М-412, Учебная аудитория	стеллаж для хранения книг, стол, стул, мультимедийный проектор, доска маркерная
	Ж-120, Машинный зал ИВЦ	сервер, кондиционер
	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-417/2, Лаборатория квантовой и оптической электроники	стул, стол письменный, оборудование для экспериментов, стенд лабораторный, стенд учебный
	М-418/1, Учебная лаборатория механики двухфазных систем	стол, стул, лабораторный стенд

	М-408, Аудитория каф. "НТ"	стеллаж для хранения инвентаря, стол
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
	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

### Оборудование криогенных систем

(название дисциплины)

#### 8 семестр

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

- КМ-1 Системы подготовки и хранения рабочего тела в гелиевом ожижителе (Коллоквиум)
- КМ-2 Криоблок гелиевого ожижителя (Коллоквиум)
- КМ-3 Современное криогенное оборудование (Реферат)
- КМ-4 Испытание пластинчато-ребристого теплообменника (Лабораторная работа)
- КМ-5 Исследование охлаждения криогенных жидкостей методом вакуумирования парового пространства (Лабораторная работа)
- КМ-6 Изучение процесса вынужденного капиллярного распада струй (Лабораторная работа)

**Вид промежуточной аттестации – Зачет с оценкой.**

Номер раздела	Раздел дисциплины	Индекс КМ:	КМ-1	КМ-2	КМ-3	КМ-4	КМ-5	КМ-6
		Неделя КМ:	4	8	10	14	14	14
1	Оборудование криогенных систем							
1.1	Изучение схемы гелиевого ожижителя, конструкции его элементов и основ их работы		+	+				
1.2	Проведение экспериментальных исследований с различным криогенным оборудованием				+	+	+	+
Вес КМ, %:			30	30	20	7	7	6