

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

---

Направление подготовки/специальность: 14.04.01 Ядерная энергетика и теплофизика

Наименование образовательной программы: Физика и техника низких температур

Уровень образования: высшее образование - магистратура

Форма обучения: Очная

**Рабочая программа дисциплины**  
**КРИОВАКУУМНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ СВЕРХПРОВОДЯЩИХ 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.08.05.01</b>
<b>Трудоемкость в зачетных единицах:</b>	<b>3 семестр - 3;</b>
<b>Часов (всего) по учебному плану:</b>	<b>108 часов</b>
<b>Лекции</b>	<b>3 семестр - 16 часов;</b>
<b>Практические занятия</b>	<b>3 семестр - 16 часов;</b>
<b>Лабораторные работы</b>	<b>не предусмотрено учебным планом</b>
<b>Консультации</b>	<b>проводится в рамках часов аудиторных занятий</b>
<b>Самостоятельная работа</b>	<b>3 семестр - 75,7 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>	
<b>Контрольная работа</b>	
<b>Промежуточная аттестация:</b>	
<b>Зачет с оценкой</b>	<b>3 семестр - 0,3 часа;</b>

**Москва 2022**

**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:** теоретическое изучение криогенных и вакуумных систем термоядерных реакторов и экспериментальных установок

### Задачи дисциплины

- изучение методики разработки криовакуумных систем различного назначения на примере известных объектов;;
- изучение методов анализа и расчетов параметров для криовакуумного обеспечения сверхпроводящих систем;;
- освоение основ технологии эксплуатации криовакуумных систем термоядерных реакторов и экспериментальных 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-1 Способен анализировать и моделировать физические процессы в элементах энергетического оборудования	ИД-4 <sub>ПК-1</sub> Знаком с особенностями технологических процессов, протекающих в элементах энергетического оборудования специального назначения.	знать: - методы расчета основных показателей криовакуумных систем.  уметь: - разработать принципиальную схему и выполнять расчет параметров криовакуумной системы.
ПК-2 Способен проводить расчетно-теоретические и экспериментальные исследования теплогидравлических процессов в конструкциях низкотемпературных установках	ИД-2 <sub>ПК-2</sub> Знает особенности процессов в криовакуумных системах низкотемпературных установок, способен определять режимные параметры процессов	знать: - структуру и состав криовакуумных систем термоядерных экспериментальных установок;.  уметь: - выполнять расчет теплогидравлических характеристик криогенных гелиевых установок.

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ ВО

Дисциплина относится к основной профессиональной образовательной программе Физика и техника низких температур (далее – ОПОП), направления подготовки 14.04.01 Ядерная энергетика и теплофизика, уровень образования: высшее образование - магистратура.

Требования к входным знаниям и умениям:

- знать структуру и состав криовакуумных систем термоядерных экспериментальных установок;
- знать методы расчета основных показателей криовакуумных систем
- уметь выполнять расчет теплогидравлических характеристик криогенных гелиевых установок
- уметь разработать принципиальную схему и выполнять расчет параметров криовакуумной системы

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	Кривовакуумные системы (КВС) экспериментальных термоядерных установок (ЭТУ)	22	3	4	-	4	-	-	-	-	-	14	-	<b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [1], 112-250
1.1	Кривовакуумные системы (КВС) экспериментальных термоядерных установок (ЭТУ)	22		4	-	4	-	-	-	-	-	14	-	
2	Общие принципы построения схем криогенных гелиевых установок	22		4	-	4	-	-	-	-	-	14	-	<b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [2], 15-65
2.1	Общие принципы построения схем криогенных гелиевых установок	22		4	-	4	-	-	-	-	-	14	-	
3	Кривовакуумные насосы	22		4	-	4	-	-	-	-	-	14	-	<b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [3], 100-159
3.1	Кривовакуумные насосы	22		4	-	4	-	-	-	-	-	14	-	
4	Эксплуатация систем криогенного обеспечения больших токамаков и реакторов, режимы работы	24	4	-	4	-	-	-	-	-	16	-	<b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [1], 112-250	

4.1	Эксплуатация систем криогенного обеспечения больших токамаков и реакторов, режимы работы	24		4	-	4	-	-	-	-	-	16	-	
	Зачет с оценкой	18.0		-	-	-	-	-	-	0.3	-	-	17.7	
	Всего за семестр	108.0		16	-	16	-	-	-	0.3	58	-	17.7	
	Итого за семестр	108.0		16	-	16	-	-	-	0.3	-	-	75.7	

**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. Криовакуумные системы (КВС) экспериментальных термоядерных установок (ЭТУ)

##### 1.1. Криовакуумные системы (КВС) экспериментальных термоядерных установок (ЭТУ)

Структура, состав, параметры, физические основы криовакуумных систем больших токамаков и реакторов, характеристика систем, режимы работы..

#### 2. Общие принципы построения схем криогенных гелиевых установок

##### 2.1. Общие принципы построения схем криогенных гелиевых установок

Принципиальные и технологические схемы установки. Системы хранения газообразного гелия. Система обеспечения жидким азотом. Криоблок установки, теплообменные аппараты, расширительные устройства, сборник жидкого гелия. Трубопроводы..

#### 3. Криовакуумные насосы

##### 3.1. Криовакуумные насосы

Принцип работы. Методика расчета, принципиальные схемы и особенности конструкции. Определение времени откачки до заданного давления. Зависимость быстроты действия от давления. Примеры криовакуумных насосов сверхпроводящих систем..

#### 4. Эксплуатация систем криогенного обеспечения больших токамаков и реакторов, режимы работы

4.1. Эксплуатация систем криогенного обеспечения больших токамаков и реакторов, режимы работы

Нестационарные процессы в процессе эксплуатации криогенных систем, режимы работы, время захлаживания..

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

1. Расчет времени захлаживания криовакуумных систем, анализ теплогидравлической неустойчивости;
2. Анализ схем криовакуумного обеспечения крупных сверхпроводящих систем на примере ИТЭР, NICA, RHIC;
3. Структурная схема и методика расчета криоконденсационного насоса;
4. Анализ структурной схемы гелиевого и азотного ожижителей, методика расчета термодинамических параметров.

### **3.4. Темы лабораторных работ** не предусмотрено

### **3.5 Консультации**

### **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>						
методы расчета основных показателей криовакуумных систем	ИД-4ПК-1	+				Контрольная работа/Криовакуумные системы больших сверхпроводящих систем
структуру и состав криовакуумных систем термоядерных экспериментальных установок;	ИД-2ПК-2			+		Контрольная работа/Анализ гелиевых ожижителей и рефрижераторов
<b>Уметь:</b>						
разработать принципиальную схему и выполнять расчет параметров криовакуумной системы	ИД-4ПК-1		+			Контрольная работа/Криоконденсационный насос
выполнять расчет теплогидравлических характеристик криогенных гелиевых установок	ИД-2ПК-2				+	Контрольная работа/Захлаживание криовакуумных систем

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

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

**3 семестр**

Форма реализации: Компьютерное задание

1. Захлаживание криовакуумных систем (Контрольная работа)

Форма реализации: Письменная работа

1. Анализ гелиевых ожижителей и рефрижераторов (Контрольная работа)
2. Криовакуумные системы больших сверхпроводящих систем (Контрольная работа)
3. Криоконденсационный насос (Контрольная работа)

Балльно-рейтинговая структура дисциплины является приложением А.

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

*Зачет с оценкой (Семестр №3)*

В диплом выставляется оценка за 3 семестр.

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

## **5. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **5.1 Печатные и электронные издания:**

1. Комов, А. Т. Криовакуумные и сверхпроводящие системы термоядерных реакторов и установок : учебное пособие для вузов по специальности "Техническая физика термоядерных реакторов и плазменных установок" направления 140400 "Техническая физика" / А. Т. Комов . – М. : Издательский дом МЭИ, 2008 . – 304 с. - ISBN 978-5-383-00233-9 .;
2. 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 .;
3. Архаров А. М., Кунис И. Д.- "Криогенные заправочные системы стартовых ракетно-космических комплексов", Издательство: "МГТУ им. Баумана", Москва, 2006 - (252 с.) <https://e.lanbook.com/book/106301>.

### **5.2 Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение:**

1. 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/>

**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 зал ИВЦ	сервер, кондиционер
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****Криовакуумное обеспечение сверхпроводящих систем**

(название дисциплины)

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

КМ-1 Криовакуумные системы больших сверхпроводящих систем (Контрольная работа)

КМ-2 Анализ гелиевых ожижителей и рефрижераторов (Контрольная работа)

КМ-3 Криоконденсационный насос (Контрольная работа)

КМ-4 Захлаживание криовакуумных систем (Контрольная работа)

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

Номер раздела	Раздел дисциплины	Индекс КМ:	КМ-1	КМ-2	КМ-3	КМ-4
		Неделя КМ:	4	8	12	16
1	Криовакуумные системы (КВС) экспериментальных термоядерных установок (ЭТУ)					
1.1	Криовакуумные системы (КВС) экспериментальных термоядерных установок (ЭТУ)		+			
2	Общие принципы построения схем криогенных гелиевых установок					
2.1	Общие принципы построения схем криогенных гелиевых установок				+	
3	Криовакуумные насосы					
3.1	Криовакуумные насосы			+		
4	Эксплуатация систем криогенного обеспечения больших токамаков и реакторов, режимы работы					
4.1	Эксплуатация систем криогенного обеспечения больших токамаков и реакторов, режимы работы					+
Вес КМ, %:			25	25	25	25