

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: Термоядерные реакторы и плазменные установки

Уровень образования: высшее образование - бакалавриат

Форма обучения: Очная

Рабочая программа дисциплины
КРИОГЕННЫЕ И СВЕРХПРОВОДЯЩИЕ СИСТЕМЫ

Блок:	Блок 1 «Дисциплины (модули)»
Часть образовательной программы:	Часть, формируемая участниками образовательных отношений
№ дисциплины по учебному плану:	Б1.Ч.18
Трудоемкость в зачетных единицах:	8 семестр - 2;
Часов (всего) по учебному плану:	72 часа
Лекции	8 семестр - 14 часов;
Практические занятия	8 семестр - 14 часов;
Лабораторные работы	не предусмотрено учебным планом
Консультации	8 семестр - 2 часа;
Самостоятельная работа	8 семестр - 41,5 часа;
в том числе на КП/КР	не предусмотрено учебным планом
Иная контактная работа	проводится в рамках часов аудиторных занятий
включая:	
Контрольная работа	
Промежуточная аттестация:	
Экзамен	8 семестр - 0,5 часа;

Москва 2023

ПРОГРАММУ СОСТАВИЛ:

Преподаватель

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Комов А.Т.
	Идентификатор	R66e07e55-KomovAT-7eacf4ed

А.Т. Комов

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель образовательной программы

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Дедов А.В.
	Идентификатор	R72c90f41-DedovAV-d71cc7f4

А.В. Дедов

Заведующий выпускающей кафедрой

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Дедов А.В.
	Идентификатор	R72c90f41-DedovAV-d71cc7f4

А.В. Дедов

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Цель освоения дисциплины: изучение технологии разработки, проектирования и создания криогенных и вакуумных систем термоядерных реакторов и экспериментальных установок

Задачи дисциплины

- изучение особенностей физических процессов в низкотемпературной области;
- освоение методов анализа низкотемпературных процессов;
- овладение методикой разработки проектов типовых криогенных систем, выполнять расчет параметров криогенных и сверхпроводящих систем;
- освоение основ технологии эксплуатации криогенных и сверхпроводящих 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-3 Способен к проектированию узлов экспериментальных и промышленных ядерных и плазменных установок	ИД-2ПК-3 Владеет основами методики расчета и проектирования криогенных и сверхпроводящих систем термоядерных экспериментальных установок и реакторов	<p>знать:</p> <ul style="list-style-type: none">- методы расчета основных показателей криогенных гелиевых установок;- структуру и состав криовакуумных систем термоядерных экспериментальных установок и реактора;- структуру и состав криогенных и сверхпроводящих систем термоядерных экспериментальных установок и реактора;- структуру, состав и технологию изготовления криогенных сверхпроводящих кабелей. <p>уметь:</p> <ul style="list-style-type: none">- разработать принципиальную схему и выполнять расчет параметров криовакуумной системы термоядерных установок;- выполнять теплотехнические расчеты конструкций криогенных и сверхпроводящих систем термоядерного реактора;- выполнять расчет термодинамических параметров криогенных гелиевых установок.

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ ВО

Дисциплина относится к основной профессиональной образовательной программе Термоядерные реакторы и плазменные установки (далее – ОПОП), направления подготовки 14.03.01 Ядерная энергетика и теплофизика, уровень образования: высшее образование - бакалавриат.

Требования к входным знаниям и умениям:

- знать Материал дисциплин: «Математические методы моделирования физических процессов», «Экспериментальные методы исследования», «Термодинамика», «Механика жидкости и газа», «Тепломассообмен в оборудовании АЭС», «Методы инженерных расчетов», «Вакуумные системы плазменных установок», «Иностранный язык»

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 2 зачетных единицы, 72 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	Криовакуумные системы (КВС) экспериментальных термоядерных установок (ЭТУ) и реакторов	2	8	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	<p><u>Подготовка к текущему контролю:</u> Повторение материала по разделу "Криовакуумные системы (КВС) экспериментальных термоядерных установок (ЭТУ) и реакторов"</p> <p><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u> Изучение дополнительного материала по разделу "Криовакуумные системы (КВС) экспериментальных термоядерных установок (ЭТУ) и реакторов"</p> <p><u>Изучение материалов литературных источников:</u> [3], страницы с первой по последнюю [4], гл. 3, стр. 81-144</p>		
1.1	Криовакуумные системы (КВС) экспериментальных термоядерных установок (ЭТУ) и реакторов	2		2	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
2	Основы криогенной техники	2		-	-	2	-	-	-	-	-	-	-		-	<p><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u> Изучение дополнительного материала по разделу "Основы криогенной техники"</p> <p><u>Подготовка к практическим занятиям:</u> Изучение материала по разделу "Основы криогенной техники" подготовка к выполнению заданий на практических занятиях</p> <p><u>Подготовка к текущему контролю:</u> Повторение материала по разделу "Основы криогенной техники"</p> <p><u>Изучение материалов литературных источников:</u></p>
2.1	Основы криогенной техники	2		-	-	2	-	-	-	-	-	-	-		-	

													<u>источников:</u> [5], гл. 3, стр. 27-44	
3	Основные процессы получения низких температур	6	2	-	2	-	-	-	-	-	-	2	-	<u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u> Изучение дополнительного материала по разделу "Основные процессы получения низких температур"
3.1	Основные процессы получения низких температур	6	2	-	2	-	-	-	-	-	-	2	-	<u>Подготовка к практическим занятиям:</u> Изучение материала по разделу "Основные процессы получения низких температур" подготовка к выполнению заданий на практических занятиях <u>Подготовка к текущему контролю:</u> Повторение материала по разделу "Основные процессы получения низких температур" <u>Изучение материалов литературных источников:</u> [1], гл.16, стр. 214-226
4	Общие принципы построения схем криогенных установок	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-	<u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u> Изучение дополнительного материала по разделу "Общие принципы построения схем криогенных установок"
4.1	Общие принципы построения схем криогенных установок	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-	<u>Подготовка к текущему контролю:</u> Повторение материала по разделу "Общие принципы построения схем криогенных установок" <u>Изучение материалов литературных источников:</u> [1], гл. 17, стр. 227-237
5	Методика расчета и оптимизации параметров рабочего тела в криогенных установках	10	2	-	4	-	-	-	-	-	-	4	-	<u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u> Изучение дополнительного материала по разделу "Методика расчета и оптимизации параметров рабочего тела в криогенных установках"
5.1	Методика расчета и оптимизации параметров рабочего	10	2	-	4	-	-	-	-	-	-	4	-	<u>Подготовка к практическим занятиям:</u> Изучение материала по разделу "Методика

7.1	Системы криогенного обеспечения больших токамаков и реакторов: характеристика систем, режимы работы	6		4	-	2	-	-	-	-	-	-	-	криогенного обеспечения больших токамаков и реакторов: характеристика систем, режимы работы" подготовка к выполнению заданий на практических занятиях <u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u> Изучение дополнительного материала по разделу "Системы криогенного обеспечения больших токамаков и реакторов: характеристика систем, режимы работы" <u>Изучение материалов литературных источников:</u> [5], гл. 6, стр. 115-130
	Экзамен	36.0		-	-	-	-	2	-	-	0.5	-	33.5	
	Всего за семестр	72.0		14	-	14	-	2	-	-	0.5	8	33.5	
	Итого за семестр	72.0		14	-	14	2	-	-	0.5	41.5			

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) и реакторов

1.1. Криовакуумные системы (КВС) экспериментальных термоядерных установок (ЭТУ) и реакторов

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

2. Основы криогенной техники

2.1. Основы криогенной техники

Основные понятия. Термины, определения. Классификация криогенных систем: рефрижераторы, ожижители, разделительные установки.

3. Основные процессы получения низких температур

3.1. Основные процессы получения низких температур

Обобщенный второй закон термодинамики. Термомеханические методы получения низких температур. Дросселирование. Детандирование. Вакуумная откачка. Сравнительный анализ термодинамической эффективности методов.

4. Общие принципы построения схем криогенных установок

4.1. Общие принципы построения схем криогенных установок

Общие принципы построения схем криогенных установок. Методы понижения давления прямого потока.

5. Методика расчета и оптимизации параметров рабочего тела в криогенных установках

5.1. Методика расчета и оптимизации параметров рабочего тела в криогенных установках

Методика расчета и оптимизации параметров рабочего тела в криогенных установках. Расчет удельной холодопроизводительности. Эксергетический КПД. Пример расчета.

6. Сверхпроводящие магнитные системы экспериментальных термоядерных установок

6.1. Сверхпроводящие магнитные системы экспериментальных термоядерных установок

Физические основы явления сверхпроводимости. Краткий обзор состояния научных исследований по проблеме. Технология изготовления сверхпроводящих кабелей. Структура, состав и режимы работы сверхпроводящих систем термоядерных установок и реакторов.

7. Системы криогенного обеспечения больших токамаков и реакторов: характеристика систем, режимы работы

7.1. Системы криогенного обеспечения больших токамаков и реакторов: характеристика систем, режимы работы

Структура, состав, параметры систем криогенного обеспечения больших токамаков, режимы работы. Системы криогенного обеспечения термоядерного реактора, характеристика систем, режимы работы.

3.3. Темы практических занятий

1. Термодинамический анализ термомеханических методов охлаждения;
2. Методика расчета времени охлаждения сверхпроводящих катушек ИТЭР;
3. Методика расчета криогенных гелиевых установок;
4. Термодинамические понятия, потенциалы. Теплофизические особенности криоагентов;
5. Расчет расхода криоагента в криоразделительном насосе ИТЭР.

3.4. Темы лабораторных работ не предусмотрено

3.5 Консультации

Групповые консультации по разделам дисциплины (ГК)

1. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Криовакуумные системы (КВС) экспериментальных термоядерных установок (ЭТУ) и реакторов"
2. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Основы криогенной техники"
3. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Основные процессы получения низких температур"
4. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Общие принципы построения схем криогенных установок"
5. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Методика расчета и оптимизации параметров рабочего тела в криогенных установках"
6. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Сверхпроводящие магнитные системы экспериментальных термоядерных установок"
7. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Системы криогенного обеспечения больших токамаков и реакторов: характеристика систем, режимы работы"

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	6	7		
Знать:										
структуру, состав и технологию изготовления криогенных сверхпроводящих кабелей	ИД-2ПК-3							+		Контрольная работа/Структура и состав СМС ТЯР, СКО больших токамаков
структуру и состав криогенных и сверхпроводящих систем термоядерных экспериментальных установок и реактора	ИД-2ПК-3							+	+	Контрольная работа/Структура и состав системы криогенного обеспечения ИТЭР
структуру и состав криовакуумных систем термоядерных экспериментальных установок и реактора	ИД-2ПК-3	+	+							Контрольная работа/Параметры и особенности системы криовакуумной откачки термоядерных экспериментальных установок и реакторов (ЭТУ и ТЯР). Основы криогенной техники. Методы получения низких температур. Методика расчета показателей КГУ
методы расчета основных показателей криогенных гелиевых установок	ИД-2ПК-3			+	+	+				Контрольная работа/Физическое обоснование явления сверхпроводимости. Технология производства сверхпроводящих кабелей. Расчет времени захолаживания катушек СМС, расхода криогена
Уметь:										
выполнять расчет термодинамических параметров криогенных гелиевых установок	ИД-2ПК-3							+		Контрольная работа/Физическое обоснование явления сверхпроводимости. Технология производства сверхпроводящих кабелей. Расчет времени захолаживания катушек СМС, расхода криогена
выполнять теплотехнические расчеты конструкций криогенных и сверхпроводящих систем термоядерного реактора	ИД-2ПК-3						+	+	+	Контрольная работа/Структура и состав СМС ТЯР, СКО больших токамаков
разработать принципиальную схему	ИД-2ПК-3	+		+						Контрольная работа/Параметры и особенности системы

и выполнять расчет параметров криовакуумной системы термоядерных установок									криовакуумной откачки термоядерных экспериментальных установок и реакторов (ЭТУ и ТЯР). Основы криогенной техники. Методы получения низких температур. Методика расчета показателей КГУ
--	--	--	--	--	--	--	--	--	---

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: Билеты (письменный опрос)

1. Параметры и особенности системы криовакуумной откачки термоядерных экспериментальных установок и реакторов (ЭТУ и ТЯР). Основы криогенной техники. Методы получения низких температур. Методика расчета показателей КГУ (Контрольная работа)
2. Структура и состав системы криогенного обеспечения ИТЭР (Контрольная работа)
3. Структура и состав СМС ТЯР, СКО больших токамаков (Контрольная работа)
4. Физическое обоснование явления сверхпроводимости. Технология производства сверхпроводящих кабелей. Расчет времени захолаживания катушек СМС, расхода криогена (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. 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. Вентура, Г. Искусство криогеники. Низкотемпературная техника в физическом эксперименте, промышленных и аэрокосмических приложениях : пер. с англ. / Г. Вентура, Л. Ризегари . – Долгопрудный : Интеллект, 2011 . – 336 с. - ISBN 978-5-91559-040-2 .;
3. Комов, А. Т. Экспериментальное изучение техники высокого вакуума : учебное пособие по курсу "Вакуумные системы плазменных установок" по направлениям "Ядерная энергетика и теплофизика", "Теплоэнергетика и теплотехника" / А. Т. Комов, С. Д. Федорович, А. В. Захаренков, Нац. исслед. ун-т "МЭИ" (НИУ"МЭИ") . – М. : Изд-во МЭИ, 2019 . – 76 с. - ISBN 978-5-7046-2086-0 .
<http://elib.mpei.ru/elib/view.php?id=10799>;
4. Беляков, В. П. Криогенная техника и технология / В. П. Беляков . – М. : Энергоиздат, 1982 . – 272 с.;

5. Буткевич И. К.- "Криогенные установки и системы", Издательство: "МГТУ им. Н.Э. Баумана", Москва, 2008 - (151 с.)
http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=58497.

5.2 Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение:

1. СДО "Прометей";
2. Office / Российский пакет офисных программ;
3. Windows / Операционная система семейства Linux;
4. Видеоконференции (Майнд, Сберджаз, ВК и др).

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
3. Научная электронная библиотека - <https://elibrary.ru/>
4. База данных Web of Science - <http://webofscience.com/>
5. База данных Scopus - <http://www.scopus.com>
6. Электронная библиотека МЭИ (ЭБ МЭИ) - <http://elib.mpei.ru/login.php>
7. Портал открытых данных Российской Федерации - <https://data.gov.ru>
8. База открытых данных Министерства труда и социальной защиты РФ - <https://rosmintrud.ru/opendata>
9. База открытых данных профессиональных стандартов Министерства труда и социальной защиты РФ - <http://profstandart.rosmintrud.ru/obshchiy-informatsionnyy-blok/natsionalnyy-reestr-professionalnykh-standartov/>
10. База открытых данных Министерства экономического развития РФ - <http://www.economy.gov.ru>
11. База открытых данных Росфинмониторинга - <http://www.fedsfm.ru/opendata>
12. Электронная открытая база данных "Polpred.com Обзор СМИ" - <https://www.polpred.com>

6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Тип помещения	Номер аудитории, наименование	Оснащение
Учебные аудитории для проведения лекционных занятий и текущего контроля	Б-302, Специализированная учебная аудитория	парта, стол преподавателя, стул, мультимедийный проектор, доска маркерная, колонки, компьютер персональный, наборы демонстрационного оборудования
Учебные аудитории для проведения практических занятий, КР и КП	Б-302, Специализированная учебная аудитория	парта, стол преподавателя, стул, мультимедийный проектор, доска маркерная, колонки, компьютер персональный, наборы демонстрационного оборудования
Учебные аудитории для проведения промежуточной аттестации	А-309, Аудитория для проведения практических занятий	стол преподавателя, стол, стул, доска меловая
Помещения для самостоятельной работы	А-110, Вычислительная лаборатория	стол преподавателя, стол компьютерный, стул, доска интерактивная, компьютерная сеть с выходом в Интернет,

		мультимедийный проектор, указка лазерная, многофункциональный центр, сервер, компьютер персональный, принтер, наборы демонстрационного оборудования
Помещения для консультирования	А-208, Преподавательская	кресло рабочее, рабочее место сотрудника, стол, шкаф для документов, компьютерная сеть с выходом в Интернет, колонки, компьютер персональный, принтер
Помещения для хранения оборудования и учебного инвентаря	А-025, Кладовка лабораторного оборудования	стеллаж, оборудование специализированное

БАЛЛЬНО-РЕЙТИНГОВАЯ СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

Криогенные и сверхпроводящие системы

(название дисциплины)

8 семестр

Перечень контрольных мероприятий текущего контроля успеваемости по дисциплине:

- КМ-1 Параметры и особенности системы криовакуумной откачки термоядерных экспериментальных установок и реакторов (ЭТУ и ТЯР). Основы криогенной техники. Методы получения низких температур. Методика расчета показателей КГУ (Контрольная работа)
- КМ-2 Физическое обоснование явления сверхпроводимости. Технология производства сверхпроводящих кабелей. Расчет времени захолаживания катушек СМС, расхода криогена (Контрольная работа)
- КМ-3 Структура и состав СМС ТЯР, СКО больших токамаков (Контрольная работа)
- КМ-4 Структура и состав системы криогенного обеспечения ИТЭР (Контрольная работа)

Вид промежуточной аттестации – Экзамен.

Номер раздела	Раздел дисциплины	Индекс КМ:	КМ-1	КМ-2	КМ-3	КМ-4
		Неделя КМ:	4	4	8	8
1	Криовакуумные системы (КВС) экспериментальных термоядерных установок (ЭТУ) и реакторов					
1.1	Криовакуумные системы (КВС) экспериментальных термоядерных установок (ЭТУ) и реакторов		+			
2	Основы криогенной техники					
2.1	Основы криогенной техники		+			
3	Основные процессы получения низких температур					
3.1	Основные процессы получения низких температур		+	+		
4	Общие принципы построения схем криогенных установок					
4.1	Общие принципы построения схем криогенных установок			+		
5	Методика расчета и оптимизации параметров рабочего тела в криогенных установках					
5.1	Методика расчета и оптимизации параметров рабочего тела в криогенных установках			+	+	
6	Сверхпроводящие магнитные системы экспериментальных термоядерных установок					
6.1	Сверхпроводящие магнитные системы экспериментальных термоядерных установок				+	+

7	Системы криогенного обеспечения больших токамаков и реакторов: характеристика систем, режимы работы				
7.1	Системы криогенного обеспечения больших токамаков и реакторов: характеристика систем, режимы работы			+	+
Вес КМ, %:		20	30	30	20