

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
ВАКУУМНЫЕ СИСТЕМЫ ПЛАЗМЕННЫХ УСТАНОВОК

Блок:	Блок 1 «Дисциплины (модули)»
Часть образовательной программы:	Часть, формируемая участниками образовательных отношений
№ дисциплины по учебному плану:	Б1.Ч.11
Трудоемкость в зачетных единицах:	7 семестр - 4;
Часов (всего) по учебному плану:	144 часа
Лекции	7 семестр - 10 часов;
Практические занятия	7 семестр - 22 часа;
Лабораторные работы	7 семестр - 16 часов;
Консультации	7 семестр - 2 часа;
Самостоятельная работа	7 семестр - 93,5 часа;
в том числе на КП/КР	не предусмотрено учебным планом
Иная контактная работа	проводится в рамках часов аудиторных занятий
включая: Тестирование Лабораторная работа Расчетно-графическая работа	
Промежуточная аттестация:	
Экзамен	7 семестр - 0,5 часа;

Москва 2023

ПРОГРАММУ СОСТАВИЛ:

Преподаватель

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Лукашевский М.В.
	Идентификатор	R#4b7e3cb-LukashevskyMV-6844ab

М.В.
Лукашевский

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: является изучение принципов, методов и средств вакуумной откачки в плазменных установках

Задачи дисциплины

- приобретение обучающимися знаний по основам физики высокого вакуума и принципами вакуумной откачки;
- освоение основ проектирования вакуумных систем плазменных промышленных установок;
- освоение основ проектирования вакуумных систем экспериментальных установок;
- обучение студентов методам расчетов основных параметров вакуумных систем.

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 Способен к участию в лабораторном и численном эксперименте, обработке опытных данных	ИД-2ПК-2 Умеет готовить и эксплуатировать вакуумные системы экспериментальных стендов	знать: - основные понятия вакуумной техники, физические процессы и режимы течения газа в вакууме; - устройство и принцип работы основных элементов вакуумной системы (насосов, ловушек, датчиков, натекателей). уметь: - готовить экспериментальные стенды для проведения эксперимента.
ПК-3 Способен к проектированию узлов экспериментальных и промышленных ядерных и плазменных установок	ИД-1ПК-3 Владеет основами проектирования и методами расчета вакуумных систем плазменных промышленных и экспериментальных установок	знать: - принципы и методы получения высокого вакуума. уметь: - выполнять обработку экспериментальных данных; - разработать принципиальную схему вакуумной системы, подобрать и проверить на согласование конструктивные элементы системы; - выполнить расчет параметров высоковакуумных систем.

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 основные законы общей физики и механики жидкости и газов
- знать природу физических явлений в разреженных газах

- знать методы численного математического моделирования
- уметь выполнять системный анализ технической задачи и выполнять технические расчеты
- уметь работать с техническими справочниками

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	Основы вакуумной техники	62	7	6	12	12	-	-	-	-	-	32	-	<p><u>Подготовка к текущему контролю:</u> Подготовка к контрольным мероприятиям: КМ-1. Основные понятия вакуумной техники. Явления переноса и режимы течения газа; КМ-2. Защита лабораторных работ № 1, 2, 3; КМ-3 Тест. Конструкционные особенности высоковакуумных насосов; КМ-4 Тест. Способы получения высокого вакуума</p> <p><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u> Изучение теоретического материала по разделам "Элементы кинетической теории", "Газовые законы", "Расчет длительности откачки при постоянных газовыделении и натекании", "Растворимость и газосодержание в твердых телах", "Давление паров материалов"</p> <p><u>Подготовка к лабораторной работе:</u> Подготовка к выполнению лабораторных работ</p> <p><u>Изучение материалов литературных источников:</u> [1], стр. 9-23 [3], стр. 52-61 [5], стр. 45-80</p>
1.1	Основные понятия вакуумной техники	5		1	-	-	-	-	-	-	-	4	-	
1.2	Физические процессы в вакууме	5		1	-	-	-	-	-	-	-	4	-	
1.3	Течение газа в вакууме	13		1	4	4	-	-	-	-	-	4	-	
1.4	Средства получения вакуума	23		1	8	4	-	-	-	-	-	10	-	
1.5	Методы получения вакуума	16		2	-	4	-	-	-	-	-	10	-	
2	Основы проектирования вакуумных систем	46		4	4	10	-	-	-	-	-	28	-	<p><u>Подготовка к текущему контролю:</u> Подготовка к контрольным мероприятиям: КМ-5. Тест. Принципиальные схемы</p>

2.1	Типовые вакуумные системы	15	1	-	6	-	-	-	-	-	8	-	<p>высоковакуумных систем; КМ-6. Защита лабораторных работ № 4, 5; КМ-7. Защита РГР</p> <p><u>Подготовка к лабораторной работе:</u> Подготовка к выполнению лабораторных работ</p> <p><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u> Изучение дополнительного материала по разделам "Типовые вакуумные системы", "Материалы, используемые в высоко- и сверхвысоковакуумной технике", "Разборные и неразборные вакуумные соединения"</p> <p><u>Подготовка расчетных заданий:</u> Задания ориентированы на получение навыков проектирования и расчета вакуумных систем для различных технологических процессов. Студентам необходимо выполнить подбор вакуумного оборудования (вакуумные насосы, вентили, ловушки и др.) необходимые для откачки заданного объема выбранного газа, выполнить расчет времени откачки. Расчетное задание выполняется по вариантам</p> <p><u>Изучение материалов литературных источников:</u> [1], стр. 192-214 [2], стр. 281-520 [3], стр. 24-38, 50-52 [4], п. 2</p>
2.2	Материаловедческие вопросы высоковакуумной техники	13	1	-	4	-	-	-	-	-	8	-	
2.3	Масс-спектрометрия	9	1	2	-	-	-	-	-	-	6	-	
2.4	Течеискание	9	1	2	-	-	-	-	-	-	6	-	
	Экзамен	36.00	-	-	-	-	2	-	-	0.5	-	33.50	
	Всего за семестр	144.00	10	16	22	-	2	-	-	0.5	60	33.50	
	Итого за семестр	144.00	10	16	22	2	-	-	-	0.5	93.50		

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. Основы вакуумной техники

1.1. Основные понятия вакуумной техники

Элементы физики вакуума. Понятие вакуума, единицы измерения. Основные понятия, основное уравнение вакуумной техники. История развития вакуумной техники, области ее применения. Место вакуумной технологии в плазменных и термоядерных технологиях..

1.2. Физические процессы в вакууме

Физические процессы в вакууме. Явление переноса. Приближенное математическое описание явлений переноса. Явление теплопроводности, конвекции, диффузии и вязкости..

1.3. Течение газа в вакууме

Режимы течения газа в вакууме: вязкостный, молекулярно-вязкостный, молекулярный. Проводимость каналов, трубопроводов, отверстий, ловушек. Примеры расчетов..

1.4. Средства получения вакуума

Принципы молекулярной откачки. Пароструйная откачка. Процессы на поверхности твердых тел. Сорбция. Криогенная откачка..

1.5. Методы получения вакуума

Классификация вакуумных насосов. Конструкции молекулярных, пароструйных, криогенных насосов, насосов поверхностного действия..

2. Основы проектирования вакуумных систем

2.1. Типовые вакуумные системы

Расчет и проектирование вакуумных систем. Типовые вакуумные системы. Методика выбора средств вакуумной откачки. Графическая проверка правильности выбора вакуумных насосов и определение совместности их работы. Методика проектировочного расчета.

2.2. Материаловедческие вопросы высоковакуумной техники

Материалы, используемые в высоковакуумной технике. Технология изготовления разъемных и неразъемных соединений. Технология подготовки высоко- и сверхвысоковакуумных установок. Конструктивные особенности крионасосов.

2.3. Масс-спектрометрия

Типы масс-спектрометров. Методы спектрометрии. Методы измерения общих (полных), парциальных давлений.

2.4. Течеискание

Течеискатели. Схемы течеискания. Конструкции и принципы работы гелиевого и галогенного течеискателей.

3.3. Темы практических занятий

1. Методика расчета высоковакуумного криогенного насоса. Пример расчета;
2. Подбор вакуумных насосов, вакуумной арматуры;
3. Разработка принципиальных схем высоковакуумных систем с безмасляной откачкой;

4. Режимы работы криогенных вакуумных насосов;
5. Конструктивные особенности крионасосов;
6. Расчет времени откачки высоковакуумных систем;
7. Расчет проводимости элементов вакуумной системы.

3.4. Темы лабораторных работ

1. Масс-спектрометрия остаточного газа в вакуумной камере;
2. Изучение высоковакуумного насоса «СОН-100» и определение его характеристик;
3. Высоковакуумная система на основе насоса «ТМН-100», определение ее характеристик;
4. Изучение высоковакуумного насоса «НОРД-100» и определение его характеристик;
5. Течеискание в вакуумной системе.

3.5 Консультации

Групповые консультации по разделам дисциплины (ГК)

1. Обсуждение материалов в рамках тем раздела "Основы вакуумной техники"
2. Обсуждение материалов в рамках тем раздела "Основы проектирования вакуумных 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	2	
Знать:				
основные понятия вакуумной техники, физические процессы и режимы течения газа в вакууме	ИД-2ПК-2	+		Тестирование/Основные понятия вакуумной техники. Явления переноса и режимы течения газа
устройство и принцип работы основных элементов вакуумной системы (насосов, ловушек, датчиков, натекателей)	ИД-2ПК-2	+		Тестирование/Конструкционные особенности высоковакуумных насосов Тестирование/Способы получения высокого вакуума
принципы и методы получения высокого вакуума	ИД-1ПК-3	+		Тестирование/Способы получения высокого вакуума
Уметь:				
готовить экспериментальные стенды для проведения эксперимента	ИД-2ПК-2	+		Лабораторная работа/Защита лабораторных работ № 1, 2, 3
выполнить расчет параметров высоковакуумных систем	ИД-1ПК-3		+	Тестирование/Принципиальные схемы высоковакуумных систем
разработать принципиальную схему вакуумной системы, подобрать и проверить на согласование конструктивные элементы системы	ИД-1ПК-3		+	Расчетно-графическая работа/Рассчитать время откачки газа из вакуумной камеры
выполнять обработку экспериментальных данных	ИД-1ПК-3		+	Лабораторная работа/Защита лабораторных работ № 4, 5

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: Билеты (письменный опрос)

1. Конструкционные особенности высоковакуумных насосов (Тестирование)
2. Основные понятия вакуумной техники. Явления переноса и режимы течения газа (Тестирование)
3. Принципиальные схемы высоковакуумных систем (Тестирование)
4. Способы получения высокого вакуума (Тестирование)

Форма реализации: Выступление (доклад)

1. Рассчитать время откачки газа из вакуумной камеры (Расчетно-графическая работа)

Форма реализации: Устная форма

1. Защита лабораторных работ № 1, 2, 3 (Лабораторная работа)
2. Защита лабораторных работ № 4, 5 (Лабораторная работа)

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.

В диплом выставляется оценка за 7 семестр.

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

5. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

5.1 Печатные и электронные издания:

1. Розанов, Л. Н. Вакуумная техника : учебник для вузов по специальности "Электронное машиностроение" направления "Электроника и микроэлектроника" / Л. Н. Розанов . – 3-е изд., перераб. и доп . – М. : Высшая школа, 2007 . – 391 с. - ISBN 978-5-06-005521-4 .;
2. Вакуумная техника : справочник / К. Е. Демихов, и др. ; Общ. ред. Ю. В. Панфилов . – 3-е изд., перераб. и доп . – М. : Машиностроение, 2009 . – 590 с. - ISBN 978-5-942754-36-5 .;
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://elibr.mpei.ru/elibr/view.php?id=10799>;
4. Вакуумная техника : Справочник / Е. С. Фролов, и др. ; Ред. Е. С. Фролов, В. Е. Минайчев . – 2-е изд., перераб. и доп . – М. : Машиностроение, 1992 . – 480 с. : 250.00 .;

5. Д. Ярвуд- "Техника высокого вакуума", Издательство: "Госэнергоиздат", Москва, Ленинград, 1969 - (183 с.)
<https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=599245>.

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. Acrobat Reader.

5.3 Интернет-ресурсы, включая профессиональные базы данных и информационно-справочные системы:

1. ЭБС Лань - <https://e.lanbook.com/>
2. Научная электронная библиотека - <https://elibrary.ru/>
3. База данных ВИНТИ online - <http://www.viniti.ru/>
4. База данных журналов издательства Elsevier - <https://www.sciencedirect.com/>
5. Электронные ресурсы издательства Springer - <https://link.springer.com/>
6. База данных Web of Science - <http://webofscience.com/>
7. База данных Scopus - <http://www.scopus.com>
8. Национальная электронная библиотека - <https://rusneb.ru/>
9. Электронная библиотека МЭИ (ЭБ МЭИ) - <http://elib.mpei.ru/login.php>

6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Тип помещения	Номер аудитории, наименование	Оснащение
Учебные аудитории для проведения лекционных занятий и текущего контроля	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
Учебные аудитории для проведения практических занятий, КР и КП	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
Учебные аудитории для проведения лабораторных занятий	Н-207, Учебно-научная лаборатория для анализа поверхности	рабочее место сотрудника, стол, стул, доска интерактивная, компьютерная сеть с выходом в Интернет, мультимедийный проектор, указка лазерная, оборудование учебное, компьютер персональный, принтер, инвентарь специализированный
Учебные аудитории для проведения промежуточной аттестации	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 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

Вакуумные системы плазменных установок

(название дисциплины)

7 семестр

Перечень контрольных мероприятий текущего контроля успеваемости по дисциплине:

- КМ-1 Основные понятия вакуумной техники. Явления переноса и режимы течения газа (Тестирование)
- КМ-2 Защита лабораторных работ № 1, 2, 3 (Лабораторная работа)
- КМ-3 Конструкционные особенности высоковакуумных насосов (Тестирование)
- КМ-4 Способы получения высокого вакуума (Тестирование)
- КМ-5 Принципиальные схемы высоковакуумных систем (Тестирование)
- КМ-6 Защита лабораторных работ № 4, 5 (Лабораторная работа)
- КМ-7 Рассчитать время откачки газа из вакуумной камеры (Расчетно-графическая работа)

Вид промежуточной аттестации – Экзамен.

Номер раздела	Раздел дисциплины	Индекс КМ:	КМ-1	КМ-2	КМ-3	КМ-4	КМ-5	КМ-6	КМ-7
		Неделя КМ:	4	6	8	10	12	14	15
1	Основы вакуумной техники								
1.1	Основные понятия вакуумной техники		+						
1.2	Физические процессы в вакууме		+						
1.3	Течение газа в вакууме		+						
1.4	Средства получения вакуума				+	+			
1.5	Методы получения вакуума			+		+			
2	Основы проектирования вакуумных систем								
2.1	Типовые вакуумные системы						+		+
2.2	Материаловедческие вопросы высоковакуумной техники						+		
2.3	Масс-спектрометрия							+	
2.4	Течеискание							+	
Вес КМ, %:			10	15	10	10	10	15	30