

**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**

<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.11</b>
<b>Трудоемкость в зачетных единицах:</b>	<b>7 семестр - 4;</b>
<b>Часов (всего) по учебному плану:</b>	<b>144 часа</b>
<b>Лекции</b>	<b>7 семестр - 10 часов;</b>
<b>Практические занятия</b>	<b>7 семестр - 22 часа;</b>
<b>Лабораторные работы</b>	<b>7 семестр - 16 часов;</b>
<b>Консультации</b>	<b>7 семестр - 2 часа;</b>
<b>Самостоятельная работа</b>	<b>7 семестр - 93,5 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> Тестирование Лабораторная работа Расчетно-графическая работа	
<b>Промежуточная аттестация:</b>	
<b>Экзамен</b>	<b>7 семестр - 0,5 часа;</b>

**Москва 2020**

**ПРОГРАММУ СОСТАВИЛ:**

Преподаватель

(должность)

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Захаренков А.В.
	Идентификатор	R753bbc1a-ZakharenkovAV-d56aae

(подпись)

А.В. Захаренков

(расшифровка подписи)

**СОГЛАСОВАНО:**

Руководитель  
образовательной программы

(должность, ученая степень, ученое звание)

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

(подпись)

А.В. Дедов

(расшифровка  
подписи)

Заведующий выпускающей  
кафедры

(должность, ученая степень, ученое звание)

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

(подпись)

А.В. Дедов

(расшифровка  
подписи)

## 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-3 Способен к участию в лабораторном и численном эксперименте, обработке опытных данных	ИД-2ПК-3 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-4 Способен к проектированию узлов экспериментальных и промышленных ядерных и плазменных установок	ИД-1ПК-4 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><b><u>Подготовка к текущему контролю:</u></b> 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><b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> 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><b><u>Подготовка к лабораторной работе:</u></b> Подготовка к выполнению лабораторных работ</p> <p><b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [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><b><u>Подготовка к текущему контролю:</u></b> 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><b><u>Подготовка к лабораторной работе:</u></b> Подготовка к выполнению лабораторных работ</p> <p><b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> Изучение дополнительного материала по разделам "Типовые вакуумные системы", "Материалы, используемые в высоко- и сверхвысоковакуумной технике", "Разборные и неразборные вакуумные соединения"</p> <p><b><u>Подготовка расчетных заданий:</u></b> 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><b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [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. Течеискание в вакуумной системе;
2. Масс-спектрометрия остаточного газа в вакуумной камере;
3. Изучение высоковакуумного насоса «СОН-100» и определение его характеристик;
4. Высоковакуумная система на основе насоса «ТМН-100», определение ее характеристик;
5. Изучение высоковакуумного насоса «НОРД-100» и определение его характеристик.

### **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	
<b>Знать:</b>				
устройство и принцип работы основных элементов вакуумной системы (насосов, ловушек, датчиков, натекателей)	ИД-2ПК-3	+		Тестирование/Конструкционные особенности высоковакуумных насосов Тестирование/Способы получения высокого вакуума
основные понятия вакуумной техники, физические процессы и режимы течения газа в вакууме	ИД-2ПК-3	+		Тестирование/Основные понятия вакуумной техники. Явления переноса и режимы течения газа
принципы и методы получения высокого вакуума	ИД-1ПК-4	+		Тестирование/Способы получения высокого вакуума
<b>Уметь:</b>				
готовить экспериментальные стенды для проведения эксперимента	ИД-2ПК-3	+		Лабораторная работа/Защита лабораторных работ № 1, 2, 3
выполнить расчет параметров высоковакуумных систем	ИД-1ПК-4		+	Тестирование/Принципиальные схемы высоковакуумных систем
разработать принципиальную схему вакуумной системы, подобрать и проверить на согласование конструктивные элементы системы	ИД-1ПК-4		+	Расчетно-графическая работа/Рассчитать время откачки газа из вакуумной камеры
выполнять обработку экспериментальных данных	ИД-1ПК-4		+	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/action.php?kt\\_path\\_info=ktcore.SecViewPlugin.actions.document&fDocumentId=10799](http://elibr.mpei.ru/action.php?kt_path_info=ktcore.SecViewPlugin.actions.document&fDocumentId=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. Майнд Видеоконференции;
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