

**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**

**Оценочные материалы  
по дисциплине  
Вакуумные системы плазменных установок**

**Москва  
2023**

## ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ РАЗРАБОТАЛ:

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)

## ОБЩАЯ ЧАСТЬ

Оценочные материалы по дисциплине предназначены для оценки: достижения обучающимися запланированных результатов обучения по дисциплине, этапа формирования запланированных компетенций и уровня освоения дисциплины.

Оценочные материалы по дисциплине включают оценочные средства для проведения мероприятий текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации.

Формируемые у обучающегося компетенции:

1. ПК-3 Способен к участию в лабораторном и численном эксперименте, обработке опытных данных

ИД-2 Умеет готовить и эксплуатировать вакуумные системы экспериментальных стендов

2. ПК-4 Способен к проектированию узлов экспериментальных и промышленных ядерных и плазменных установок

ИД-1 Владеет основами проектирования и методами расчета вакуумных систем плазменных промышленных и экспериментальных установок

и включает:

**для текущего контроля успеваемости:**

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)

## БРС дисциплины

7 семестр

Раздел дисциплины	Веса контрольных мероприятий, %							
	Индекс КМ:	КМ-1	КМ-2	КМ-3	КМ-4	КМ-5	КМ-6	КМ-7
	Срок КМ:	4	6	8	10	12	14	15
Основы вакуумной техники								
Основные понятия вакуумной техники	+							
Физические процессы в вакууме	+							
Течение газа в вакууме	+							

Средства получения вакуума			+	+			
Методы получения вакуума		+		+			
Основы проектирования вакуумных систем							
Типовые вакуумные системы					+		+
Материаловедческие вопросы высоковакуумной техники					+		
Масс-спектрометрия						+	
Течеискание						+	
Вес КМ:	10	15	10	10	10	15	30

\$Общая часть/Для промежуточной аттестации\$

## СОДЕРЖАНИЕ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ

### I. Оценочные средства для оценки запланированных результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с индикаторами достижения компетенций

Индекс компетенции	Индикатор	Запланированные результаты обучения по дисциплине	Контрольная точка
ПК-3	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	Основные понятия вакуумной техники. Явления переноса и режимы течения газа (Тестирование) Защита лабораторных работ № 1, 2, 3 (Лабораторная работа) Конструкционные особенности высоковакуумных насосов (Тестирование) Способы получения высокого вакуума (Тестирование)
ПК-4	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	Способы получения высокого вакуума (Тестирование) Принципиальные схемы высоковакуумных систем (Тестирование) Защита лабораторных работ № 4, 5 (Лабораторная работа) Расчитать время откачки газа из вакуумной камеры (Расчетно-графическая работа)

		разработать принципиальную схему вакуумной системы, подобрать и проверить на согласование конструктивные элементы системы выполнить расчет параметров высоковакуумных систем	
--	--	---	--

## II. Содержание оценочных средств. Шкала и критерии оценивания

### КМ-1. Основные понятия вакуумной техники. Явления переноса и режимы течения газа

**Формы реализации:** Билеты (письменный опрос)

**Тип контрольного мероприятия:** Тестирование

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 10

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Проводится в период аудиторных занятий. Продолжительность контроля составляет 20 минут. Работы выполняются индивидуально по вариантам. Каждый билет состоит из 2 вопросов

#### Краткое содержание задания:

Письменный опрос ориентирован на проверку знаний терминов и определений, явлений протекающих в разреженных газах и режимов течения

#### Контрольные вопросы/задания:

Знать: основные понятия вакуумной техники, физические процессы и режимы течения газа в вакууме	<ol style="list-style-type: none"><li>1. Дайте определение понятию “вакуум”</li><li>2. Сформулируйте закон Дальтона</li><li>3. Запишите основное уравнение вакуумной технике. Поясните входящие в него величины</li><li>4. Дайте определение понятию теплопроводность газа</li><li>5. Дайте определение понятию диффузия газа</li></ol>
--	---

#### Описание шкалы оценивания:

*Оценка:* зачтено

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка "зачтено" выставляется, если индивидуальный вариант задания выполнен в полном объеме или преимущественно верно.

*Оценка:* не зачтено

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка "неудовлетворительно" выставляется если задание выполнено неверно или преимущественно не выполнено

### КМ-2. Защита лабораторных работ № 1, 2, 3

**Формы реализации:** Устная форма

**Тип контрольного мероприятия:** Лабораторная работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 15

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Проводится в период аудиторных занятий. Перед опросом каждый студент обязан предоставить выполненную, рассчитанную и полностью оформленную лабораторную работу.

#### Краткое содержание задания:

В рамках выполнения лабораторных работ студенты изучают принцип действия, основные характеристики и методы работы магнитного электроразрядного, турбомолекулярного, и диффузионного насосов, выполняют расчет быстроты действия вакуумного насоса.

#### Контрольные вопросы/задания:

Уметь:	готовить	1. Выполнить запуск форвакуумного насоса с целью
--------	----------	--

экспериментальные стенды для проведения эксперимента	откачки вакуумной камеры 2.Выполните расчет проводимости вакуумного трубопровода 3.Выполнить откачку экспериментального стенда до заданного давления с помощью турбомолекулярного насоса 4.Выполнить расчет давление остаточного газа в насосе используя значение величины разрядного тока 5.Выполните измерения диаметра и длины вакуумных трубопроводов
--	---

**Описание шкалы оценивания:**

*Оценка:* зачтено

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка "зачтено" выставляется если задание выполнено правильно или с незначительными недочетами

*Оценка:* не зачтено

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка "не зачтено" выставляется если задание не выполнено в отведенный срок или результат не соответствует заданию

**КМ-3. Конструкционные особенности высоковакуумных насосов**

**Формы реализации:** Билеты (письменный опрос)

**Тип контрольного мероприятия:** Тестирование

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 10

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Проводится в период аудиторных занятий. Продолжительность контроля составляет 20 минут. Работы выполняются индивидуально по вариантам. Каждый билет состоит из 2 вопросов

**Краткое содержание задания:**

Письменный опрос ориентирован на проверку знаний о конструкции и принципах работы механических и насосов поверхностного действия

**Контрольные вопросы/задания:**

Знать: устройство и принцип работы основных элементов вакуумной системы (насосов, ловушек, датчиков, натекателей)	1.Нарисуйте принципиальную схему турбомолекулярного насоса. Поясните из каких основных элементов он состоит 2.Объясните принцип работы турбомолекулярного насоса 3.Перечислите высоковакуумные насосы обеспечивающие безмаслянный спектр остаточных газов 4.Перечислите достоинства магниторазрядных насосов. 5.Объясните принцип работы геторо-ионного насоса
---	--

**Описание шкалы оценивания:**

*Оценка:* зачтено

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка "зачтено" выставляется если задание выполнено правильно или с незначительными недочетами

*Оценка:* не зачтено



*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка "не зачтено" выставляется если задание не выполнено в отведенный срок или результат не соответствует заданию

#### **КМ-4. Способы получения высокого вакуума**

**Формы реализации:** Билеты (письменный опрос)

**Тип контрольного мероприятия:** Тестирование

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 10

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Проводится в период аудиторных занятий. Продолжительность контроля составляет 20 минут. Работы выполняются индивидуально по вариантам. Каждый билет состоит из 2 вопросов

#### **Краткое содержание задания:**

Письменный опрос ориентирован на проверку знаний способов получения высокого вакуума и технических средств необходимых для этого

#### **Контрольные вопросы/задания:**

Знать: устройство и принцип работы основных элементов вакуумной системы (насосов, ловушек, датчиков, натекателей)	1.Перечислите основные элементы криовакуумных насосов
Знать: принципы и методы получения высокого вакуума	1.Дайте определение понятию “сорбция”. 2.Сформулируйте физическое явление на основе которого функционируют насосы поверхностного действия 3.Дайте определение понятию “коэффициент прилипания” 4.Объясните принцип молекулярной откачки газов

#### **Описание шкалы оценивания:**

*Оценка:* зачтено

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка "зачтено" выставляется если задание выполнено правильно или с незначительными недочетами

*Оценка:* не зачтено

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка "не зачтено" выставляется если задание не выполнено в отведенный срок или результат не соответствует заданию

#### **КМ-5. Принципиальные схемы высоковакуумных систем**

**Формы реализации:** Билеты (письменный опрос)

**Тип контрольного мероприятия:** Тестирование

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 10

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Проводится в период аудиторных занятий. Продолжительность контроля составляет 20 минут. Работы выполняются индивидуально по вариантам. Каждый билет состоит из 2 вопросов

#### **Краткое содержание задания:**

Письменный опрос ориентирован на проверку знаний и умений конструирования высоковакуумных систем, подбора и совместного использования вакуумного оборудования

#### **Контрольные вопросы/задания:**

<p>Уметь: выполнить расчет параметров высоковакуумных систем</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Составьте принципиальную схему высоковакуумной установки с масляной откачкой</li> <li>2. Выполните подбор форвакуумного насоса и необходимого вакуумного оборудования для обеспечения штатной работы высоковакуумного насоса с заданными техническими характеристиками</li> <li>3. Определите типы вакуумметров необходимые для контроля степени вакуума в форвакуумной части высоковакуумной системы с безмаслянной откачкой</li> <li>4. Определите место установки натекателя на принципиальной схеме высоковакуумной установки с масляной откачкой</li> <li>5. Определить при молекулярном режиме течения газа проводимость магистрали, соединяющей вакуумную камеру с высоковакуумным насосом. Откачиваемый газ – азот, температура газа – 310 К. Проводимость затвора, установленного на входном отверстии высоковакуумного насоса, равна 5 мЗ/с. Магистраль состоит из отверстия на выходе из камеры диаметром 200 мм, патрубка с диаметром 200 мм и длиной 150 мм и затвора.</li> </ol>
--	--

**Описание шкалы оценивания:**

*Оценка:* зачтено

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка "зачтено" выставляется если задание выполнено правильно или с незначительными недочетами

*Оценка:* не зачтено

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка "не зачтено" выставляется если задание не выполнено в отведенный срок или результат не соответствует заданию

**КМ-6. Защита лабораторных работ № 4, 5**

**Формы реализации:** Устная форма

**Тип контрольного мероприятия:** Лабораторная работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 15

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Проводится в период аудиторных занятий. Перед опросом каждый студент обязан предоставить выполненную, рассчитанную и полностью оформленную лабораторную работу

**Краткое содержание задания:**

В рамках выполнения лабораторных работ студенты определяют характеристики спектрометра – монополя, натекание газа в вакуумную камеру, выполняют поиск течи

**Контрольные вопросы/задания:**

<p>Уметь: выполнять обработку экспериментальных данных</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Используя метод постоянного объема определите величину течи в вакуумной камере</li> <li>2. Определите разрешающую способность масс-спектрометра используемого в лабораторной работе</li> <li>3. Определите состав газов имеющихся в вакуумной камере используя полученный в лабораторной работе масс-спектр</li> <li>4. Рассчитайте значение натекающего в откачиваемый</li> </ol>
--	--

**Описание шкалы оценивания:**

*Оценка:* зачтено

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка "зачтено" выставляется если задание выполнено правильно или с незначительными недочетами

*Оценка:* не зачтено

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка "не зачтено" выставляется если задание не выполнено в отведенный срок или результат не соответствует заданию

**КМ-7. Рассчитать время откачки газа из вакуумной камеры**

**Формы реализации:** Выступление (доклад)

**Тип контрольного мероприятия:** Расчетно-графическая работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 30

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** По результатам выполненной РГР на занятии отводится время для проверки результатов. Как правило, студент комментирует и защищает свою работу. На защиту работы отводится не более 10 минут.

**Краткое содержание задания:**

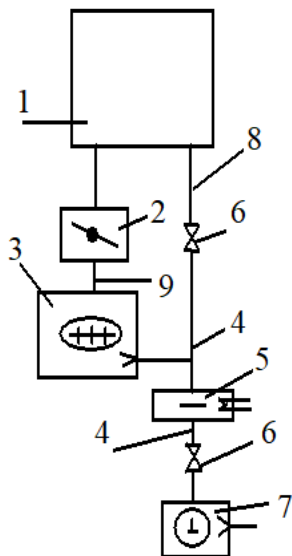
Целью РГР является расчет времени откачки полученной вакуумной системы.

Задачи:

1. Выполнить подбор вакуумного оборудования (типы и режимы работы вакуумных насосов, ловушек, запорно-регулирующей арматуры).
2. Провести расчет проводимости вакуумной линии
3. Выполнить расчет основных параметров течения газа

Пример:

Выбрать и обосновать по справочнику средства вакуумной откачки для системы, изображенной на рисунке. Рассчитать время откачки гелия из вакуумной камеры от  $p_1 = p_{атм.}$  до  $p_2 = 1 \cdot 10^{-5}$  Па.



1 — вакуумная камера,  $V_k = 20$  м<sup>3</sup>;

- 2 — вакуумный затвор;
- 3 — турбомолекулярный насос;
- 4 — вакуумный трубопровод форвакуумной линии,  $l = 3$  м;
- 5 — проточная ловушка;
- 6 — вакуумный вентиль;
- 7 — форвакуумный насос;
- 8 — байпасная линия,  $d_y = 50$  мм,  $l = 1,5$  м;
- 9 — вакуумный трубопровод,  $d = 260$  мм,  $l = 1$  м.

**Контрольные вопросы/задания:**

<p>Уметь: разработать принципиальную схему вакуумной системы, подобрать и проверить на согласование конструктивные элементы системы</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1.Выполните подбор типов форвакуумного и высоковакуумного насосов для корректной работы вакуумной системы</li> <li>2.Рассчитать проводимость вакуумной линии</li> <li>3.Выполнить подбор запорно-регулирующей арматуры исходя из условий работы форвакуумного насоса</li> <li>4.Выполнить расчет эффективной быстроты откачки вакуумной системы</li> <li>5.Рассчитать время откачки вакуумной камеры до заданного значения давления</li> </ol>
---	---

**Описание шкалы оценивания:**

*Оценка: 5*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 80*

*Описание характеристики выполнения знания: Оценка "отлично" выставляется если задание выполнено в полном объеме или выполнено преимущественно верно*

*Оценка: 4*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 70*

*Описание характеристики выполнения знания: Оценка "хорошо" выставляется если большинство вопросов раскрыто. выбрано верное направление для решения задач*

*Оценка: 3*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 50*

*Описание характеристики выполнения знания: Оценка "удовлетворительно" выставляется если задание преимущественно выполнено*

# СОДЕРЖАНИЕ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

7 семестр

**Форма промежуточной аттестации:** Экзамен

**Пример билета**

Вопрос №1. Явления переноса в газах. Общие положения. Диффузия, теплопроводность, вязкость. Зависимости коэффициентов диффузии, теплопроводности и динамической вязкости от давления, температуры и массы молекулы.

Вопрос №2. Рассчитать проводимость по воздуху электромагнитного клапана с размером проходного сечения ДУ-32 и длиной  $l = 120$  мм при среднем давлении  $p_{ср} = 7,04$  Па.

**Процедура проведения**

Экзамен проводится в письменно-устной форме. На подготовку ответа дается 60 минут. Кроме ответа на вопросы билета, студент должен ответить на дополнительные вопросы.

***1. Перечень компетенций/индикаторов и контрольных вопросов проверки результатов освоения дисциплины***

**1. Компетенция/Индикатор:** ИД-2ПК-3 Умеет готовить и эксплуатировать вакуумные системы экспериментальных стендов

**Вопросы, задания**

1. Дайте определение числу Кнудсена. Поясните в чем его физический смысл.
2. Перечислите режимы течения газа в вакууме.
3. Объясните принцип работы турбомолекулярного насоса
4. Используя метод постоянного объема определите величину течи в вакуумной камере

**Материалы для проверки остаточных знаний**

1. В каких единицах (в системе СИ) измеряется физическая величина “быстрота откачки”?

Ответы:

- а) м/с;
- б) м/с;
- в) Па;
- г) Вт.

Верный ответ: а)

2. Молекулярной откачкой называется процесс удаления газа из вакуумной системы за счет:

Ответы:

- а) взаимодействия молекул газа с направленной струей пара;
- б) поглощения откачиваемого газа поверхностным слоем сорбента;
- в) конденсации газа на рабочей поверхности, охлаждаемой до минимальных температур;
- г) взаимодействия молекул газа с движущейся поверхностью.

Верный ответ: г)

3. Определите суммарную проводимость двух трубопроводов с проводимостями  $U_1^1$  и  $U_2^2$  соединёнными последовательно?

Ответы:

$$\text{а) } U_{\text{посл}} = \frac{U_1^1 U_2^2}{U_1^1 + U_2^2}$$

$$\text{б) } U_{\text{посл}} = U_1^1 + U_2^2$$

$$\text{в) } U_{\text{посл}} = \frac{U_1^1 + U_2^2}{U_1^1 U_2^2}$$

Верный ответ: а)

4. Определите режим течения газа в трубопроводе, если число Кнудсена равно  $5 \cdot 10^{-1}$

Ответы:

- а) молекулярно-вязкостный;
- б) молекулярный;
- в) вязкостный.

Верный ответ: в)

**2. Компетенция/Индикатор:** ИД-1<sub>ПК-4</sub> Владеет основами проектирования и методами расчета вакуумных систем плазменных промышленных и экспериментальных установок

### Вопросы, задания

1. Выполните расчет проводимости вакуумной системы
2. Сформулируйте физическое явление на основе которого функционируют насосы поверхностного действия
3. Выполните подбор типов форвакуумного и высоковакуумного насосов для корректной работы вакуумной системы
4. Определите основные характеристики масс-спектрометра (чувствительность, разрешающая способность) используемого в лабораторной работе

### Материалы для проверки остаточных знаний

1. Дайте определение понятию абсорбция.

Ответы:

- а) процесс поглощения вещества из газовой фазы поверхностным слоем сорбента;
- б) поглощение вещества из газовой фазы всем объемом жидкого сорбента;
- в) поглощение вещества из газовой фазы всем объемом твердого тела или расплава.

Верный ответ: б)

2. Какие конструкционные материалы не используются в высоковакуумных системах?

Ответы:

- а) латунь;
- б) нержавеющая сталь;
- в) керамика типа  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ;
- г) стекло средней твердости.

Верный ответ: а)

3. Рабочим веществом галогенового течеискателя является:

Ответы:

- а) гелий;
- б) азот;
- в) фреон;
- г) кислород.

Верный ответ: в)

4. Какой вакуумный элемент отсутствует в высоковакуумной части установки с турбомолекулярной откачкой?

Ответы:

- а) вакуумметр;
- б) масляная ловушка;

- в) натекаТЕЛЬ;
  - г) вакуумный затвор.
- Верный ответ: б)

## ***II. Описание шкалы оценивания***

*Оценка: 5*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 80*

*Описание характеристики выполнения знания:* Работа выполнена в рамках "продвинутого" уровня. Ответы даны верно. Четко сформулированы особенности практических решений

*Оценка: 4*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 70*

*Описание характеристики выполнения знания:* Работа выполнена в рамках "базового" уровня. Большинство ответов даны верно. В части материала есть незначительные недостатки

*Оценка: 3*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 50*

*Описание характеристики выполнения знания:* Работа выполнена в рамках "порогового" уровня. Основная часть заданий выполнены верно

## ***III. Правила выставления итоговой оценки по курсу***

Оценка определяется в соответствии с Положением о балльно-рейтинговой системе для студентов НИУ «МЭИ» на основании семестровой и аттестационной составляющих.