**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:**

| | | |
|---|---|---|
| Разработчик | Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»<br>Сведения о владельце ЦЭП МЭИ<br>Владелец: Лукашевский М.В.<br>Идентификатор: Re4b7e3cb-LukashevskyMV-6844ab | М.В. Лукашевский |

**СОГЛАСОВАНО:**

| | | |
|---|---|---|
| Руководитель образовательной программы | Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»<br>Сведения о владельце ЦЭП МЭИ<br>Владелец: Дедов А.В.<br>Идентификатор: R72c90f41-DedovAV-d71cc7f4 | А.В. Дедов |
| Заведующий выпускающей кафедрой | Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»<br>Сведения о владельце ЦЭП МЭИ<br>Владелец: Дедов А.В.<br>Идентификатор: R72c90f41-DedovAV-d71cc7f4 | А.В. Дедов |

## 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-2 Способен к участию в лабораторном и численном эксперименте, обработке опытных данных

ИД-2 Умеет готовить и эксплуатировать вакуумные системы экспериментальных стендов

2. ПК-3 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-2 | ИД-2$_{ПК-2}$ Умеет готовить и эксплуатировать вакуумные системы экспериментальных стендов | Знать:<br>основные понятия вакуумной техники, физические процессы и режимы течения газа в вакууме<br>устройство и принцип работы основных элементов вакуумной системы (насосов, ловушек, датчиков, натекателей)<br>Уметь:<br>готовить экспериментальные стенды для проведения эксперимента | Основные понятия вакуумной техники. Явления переноса и режимы течения газа (Тестирование)<br>Защита лабораторных работ № 1, 2, 3 (Лабораторная работа)<br>Конструкционные особенности высоковакуумных насосов (Тестирование)<br>Способы получения высокого вакуума (Тестирование) |
| ПК-3 | ИД-1$_{ПК-3}$ Владеет основами проектирования и методами расчета вакуумных систем плазменных промышленных и экспериментальных установок | Знать:<br>принципы и методы получения высокого вакуума<br>Уметь:<br>выполнять обработку экспериментальных данных | Способы получения высокого вакуума (Тестирование)<br>Принципиальные схемы высоковакуумных систем (Тестирование)<br>Защита лабораторных работ № 4, 5 (Лабораторная работа)<br>Рассчитать время откачки газа из вакуумной камеры (Расчетно-графическая работа) |

| | | | |
|---|---|---|---|
| | | разработать принципиальную схему вакуумной системы, подобрать и проверить на согласование конструктивные элементы системы<br>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 | 1.Дайте определение понятию “вакуум”<br>2.Сформулируйте закон Дальтона<br>3.Запишите основное уравнение вакуумной технике. Поясните входящие в него величины<br>4.Дайте определение понятию теплопроводность газа<br>5.Дайте определение понятию диффузия газа |

**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<br>2.Выполните расчет проводимости вакуумного трубопровода<br>3.Выполнить откачку экспериментального стенда до заданного давления с помощью турбомолекулярного насоса<br>4.Выполнить расчет давление остаточного газа в насосе используя значение величины разрядного тока<br>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<br>2.Объясните принцип работы турбомолекулярного насоса<br>3.Перечислите высоковакуумные насосы обеспечивающие безмаслянный спектр остаточных газов<br>4.Перечислите достоинства магниторазрядных насосов.<br>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”.<br>2.Сформулируйте физическое явление на основе которого функционирую насосы поверхностного действия<br>3.Дайте определение понятию “коэффициент прилипания”<br>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:**

| | |
|---|---|
| Уметь: выполнить расчет параметров высоковакуумных систем | 1.Составьте принципиальную схему высоковакуумной установки с масляной откачкой<br>2.Выполните подбор форвакуумного насоса и необходимого вакуумного оборудования для обеспечения штатной работы высоковакуумного насоса с заданными техническими характеристиками<br>3.Определите типы вакуумметров необходимые для контроля степени вакуума в форвакуумной части высоковакуумной системы с безмаслянной откачкой<br>4.Определите место установки натекателя на принципиальной схеме высоковакуумной установки с масляной откачкой<br>5.Определить при молекулярном режиме течения газа проводимость магистрали, соединяющей вакуумную камеру с высоковакуумным насосом. Откачиваемый газ – азот, температура газа – 310 К.<br>Проводимость затвора, установленного на входном отверстии высоковакуумного насоса, равна 5 м3/с.<br>Магистраль состоит из отверстия на выходе из камеры диаметром 200 мм, патрубка с диметром 200 мм и длиной 150 мм и затвора. |

**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:**

| | |
|---|---|
| Уметь: выполнять обработку экспериментальных данных | 1.Используя метод постоянного объема определите величину течи в вакуумной камере<br>2.Определите разрешающую способность масс-спектрометра используемого в лабораторной работе<br>3.Определите состав газов имеющихся в вакуумной камере используя полученный в лабораторной работе масс-спектр<br>4.Рассчитайте значение натекающего в откачиваемый |

| | |
|---|---|
| | объем потока *Q*вх<br>5.Рассчитайте эффективную быстроту откачки *S*эф |

**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

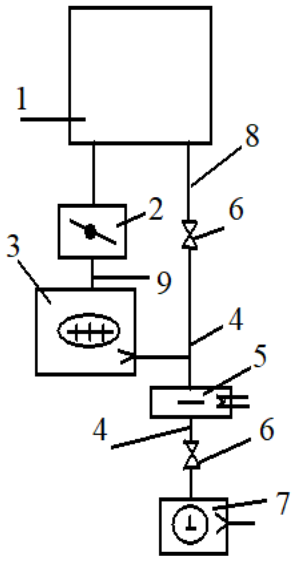
**КМ-7. Рассчитать время откачки газа из вакуумной камеры**

**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 $p1 = p$атм. до $p2 = 1 \cdot 10\text{-}5$ Па.




1 — вакуумная камера, *V*к = 20 м3;

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, $d$у = 50 мм, $l$ = 1,5 м;
9 — вакуумный трубопровод, $d$ = 260 мм, $l$ = 1 м.

**Контрольные вопросы/задания:**

| | |
|---|---|
| Уметь: разработать принципиальную схему вакуумной системы, подобрать и проверить на согласование конструктивные элементы системы | 1.Выполните подбор типов форвакуумного и высоковакуумного насосов для корректной работы вакуумной системы<br>2.Рассчитать проводимость вакуумной линии<br>3.Выполнить подбор запорно-регулирующей арматуры исходя из условий работы форвакуумного насоса<br>4.Выполнить расчет эффективной быстроты откачки вакуумной системы<br>5.Рассчитать время откачки вакуумной камеры до заданного значения давления |

**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

*Оценка:* 2
*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка "неудовлетворительно" выставляется если задание выполнено неверно или преимущественно не 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.

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

**1. Компетенция/Индикатор:** ИД-2$_{ПК-2}$ 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 движущийся поверхностью.

Верный ответ: г)

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

Ответы:

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

б) $U\text{посл} = U_1^1 + U_2^2$

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 $5\cdot\backslash\{10\backslash\}$

Ответы:

а) молекулярно-вязкостный;

б) молекулярный;

в) вязкостный.

Верный ответ: в)

**2. Компетенция/Индикатор:** ИД-1$_{\text{ПК-3}}$ 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 функционирую 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 поглощение 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 $\backslash\{Al\backslash\}2_2\ O3_3$ ;

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

*Оценка:* 2
*Описание характеристики выполнения знания:* Работа не выполнена или выполнена преимущественно неправильно

***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.