

**федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ**

Кафедра высшей математики и физики

**САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ**

Кафедра электроники твердого тела

Фонд оценочных средств дисциплины

**Б1.В.1.ДВ.02.02 Специальная лаборатория по водородопроницаемости  
материалов**

Основная профессиональная образовательная программа  
высшего образования по направлению подготовки  
(сетевая форма реализации)

**03.04.01 Прикладные математика и физика**

Направленность (профиль):  
**«Физические исследования инновационных материалов»**

Уровень:  
**Магистратура**

Форма обучения  
**Очная**

Рассмотрено и утверждено на заседании кафедры  
08.09.2022 г., протокол № 2  
Зав. кафедрой  Зайцева И.В.

Авторы-разработчики:

Денисов Е.Д. (СПбГУ)  
Дьяченко Н.В. (РГГМУ)

**1. Паспорт фонда оценочных средств по дисциплине**  
**«Специальная лаборатория по водородопроницаемости материалов»**

**Таблица 1. Перечень оценочных средств текущего контроля**

№ п/п	Раздел / тема дисциплины	Формируемые компетенции	Наименование средств текущего контроля
1	Введение и теоретические основы водородопроницаемости	ПК-2.1; ПК-4.1	Устный опрос. Выполнение лабораторной работы №1,2
2	Структура вакуумных установок, применяемых для исследования водородопроницаемости	ПК-2.1; ПК-4.1	Устный опрос. Выполнение лабораторной работы №3,4
	Текущий контроль успеваемости (ТКУ)	ПК-2.1; ПК-4.1	Тест в Moodle
3	Подготовка образцов и оборудования	ПК-2.1; ПК-4.1	Устный опрос. Выполнение лабораторной работы №5,6
Форма промежуточной аттестации: 3 семестр			Зачет с оценкой

**2. Перечень компетенций, с указанием этапов их формирования в процессе освоения дисциплины**

**Таблица 2. Перечень компетенций, формируемых в процессе освоения дисциплины**

Формируемые компетенции	Планируемые результаты обучения по дисциплине, характеризующие этапы формирования компетенций	Виды оценочных средств
ПК-2. Способен осваивать классические и современные методы исследования веществ	Знать – основные методы определения водородопроницаемости; – устройство и принципы функционирования современных вакуумных установок для изучения водородопроницаемости;	Задания репродуктивного уровня: Устный опрос
ПК-2.1. Выбирает оптимальные методы и технические средства, готовит оборудование, работает на экспериментальных физических установках	Уметь: – работать с исследовательским и испытательным оборудованием, вакуумными приборами и установками; – грамотно интерпретировать полученные результаты, уметь обоснованно оценить погрешность полученных результатов;	Задания реконструктивного уровня: нет

Формируемые компетенции	Планируемые результаты обучения по дисциплине, характеризующие этапы формирования компетенций	Виды оценочных средств
	Владеть: – навыками работы с системами вакуумной откачки, масс-спектрометрами различных видов, монтажа вакуумной арматуры;	Задания практико-ориентированного: Лабораторные работы
ПК-4. Способен к разработке проекта плана проведения отдельных этапов исследования	Знать: – цели и задачи отдельного этапа исследования	Задания репродуктивного уровня: Устный опрос
ПК-4.1. Проводит анализ получаемой физической информации с использованием современной вычислительной техники	Уметь: – выделять последовательность этапов работы;	Задания реконструктивного уровня: нет
	Владеть: – навыками построения плана проведения измерений по каждому этапу	Задания практико-ориентированного: <u>Лабораторные работы</u>

### 3. Балльно-рейтинговая система оценивания

**Таблица 3. Распределение баллов по видам учебной работы**

Вид учебной работы, за которую ставятся баллы	Баллы
Текущий контроль:	0-100
в том числе промежуточная аттестация	0-30
ИТОГО	0-100

**Таблица 3.1. Распределение баллов по текущему контролю**

3 семестр			
№	Вид работ	Min	Max
1. Обязательная часть			
1.1	Текущий контроль успеваемости по проверке сформированности остаточных знаний		
	Текущий контроль успеваемости (ТКУ). Тест:	0	10
1.2	Выполнение лабораторных работ:		
1.2.1	Лабораторная работа №1 Определение квазиравновесной проницаемости и коэффициента прилипания водорода на металлической мембране методом изотерм	3	5
1.2.2	Лабораторная работа №2 Определение энергии активации и предэкспоненты проницаемости на металлической мембране методом изобар проницаемости	3	5
1.2.3	Лабораторная работа №3	3	5

	Определение температурной зависимости коэффициента диффузии в металлической мембране методом спримления кривой прорыва в функциональном масштабе		
1.2.4	Лабораторная работа №4 Определение коэффициента диффузии и других кинетических коэффициентов путем решения обратной задачи диффузии в мембране с модифицированной поверхностью, применительно к методу прорыва	3	5
1.2.5	Лабораторная работа №5 Определение коэффициента диффузии и других кинетических коэффициентов методом концентрационных импульсов с использованием атомизатора водорода	4	5
1.2.6	Лабораторная работа №6 Определение коэффициента диффузии и других кинетических коэффициентов методом концентрационных импульсов с использованием тлеющего разряда для пассивных поверхностей металла	4	5
Итого баллов по обязательной части		20	40
2. Вариативная часть			
2.1	Реферат по дисциплине «Специальная лаборатория по водородопроницаемости материалов»	1	5
2.2	Участие в НИРС	10	25
2.3	Участник клуба МиФ	1	10
2.4	Участие в олимпиаде (физика, математика)	5	10
2.4.1	участие	5	5
2.4.2	призер	10	10
2.5	Публикация в индексируемом журнале (совместно с преподавателем)	10	10
2.6	Акселерационная программа/ проект Росмолодежи	20	40
2.6.1	участие	20	20
2.6.2	грант	40	40
Промежуточная аттестация по дисциплине		0	30
Итого баллов по вариативной части		40	60
Итого баллов по дисциплине			100

**Таблица 3.1.1. Распределение дополнительных баллов**

Дополнительные баллы (баллы, которые могут быть добавлены до 100)	Баллы
Написание статей, участие в конференциях, работа с оригинальной литературой	0-12
ИТОГО	0-12

**Таблица 3.2. Конвертация баллов в итоговую оценку**

Оценка	Баллы
Зачтено (отлично)	85-100
Зачтено (хорошо)	64-84
Зачтено (удовлетворительно)	40-63
Не зачтено (неудовлетворительно)	0-39

#### **4. Содержание оценочных средств текущего контроля. Критерии оценивания**

Перечень учебно-методического и информационного обеспечения самостоятельной работы обучающихся по дисциплине, в том числе по подготовке к текущему контролю и промежуточной аттестации представлены в рабочих программах и методических рекомендациях для обучающихся по освоению дисциплины.

Перечень вопросов для устного опроса, лабораторных работ и критерии оценивания по темам дисциплины.

#### **Лабораторная работа № 1. Определение квазиравновесной проницаемости и коэффициента прилипания водорода на металлической мемbrane методом изотерм**

##### **1. Цель работы**

Главная цель: Экспериментально определить квазиравновесную проницаемость и коэффициент прилипания водорода на металлической мемbrane с использованием метода изотерм проницаемости.

##### **Конкретные задачи:**

1. Изучить механизмы растворения и диффузии водорода в металлических мембранах.
2. Освоить методику измерения проницаемости в квазиравновесных условиях.
3. Определить коэффициент прилипания водорода к поверхности мембранны.
4. Построить изотермы проницаемости и проанализировать их зависимость от температуры и давления.
5. Рассчитать энергию активации процесса проницаемости.

##### **2. Ход работы**

###### **Этап 1. Подготовка мембраны и установки**

- Подготовить металлическую мембрану (очистка, обезжиривание, термообработка).
- Установить мембрану в измерительную ячейку, обеспечить герметичность.
- Провести вакуумирование системы для удаления примесей.
- Проверить работу системы измерения давления и температуры.

###### **Этап 2. Проведение экспериментов при различных температурах**

- Установить первую температуру и стабилизировать её.
- Подать водород на входную сторону мембраны при определённом давлении.
- Измерять скорость потока водорода через мембрану на выходной стороне.
- Зафиксировать установившееся значение потока при достижении стационарного режима.
- Повторить измерения при нескольких давлениях для построения изотермы.
- Провести серию измерений при других температурах.

###### **Этап 3. Обработка данных**

- Рассчитать проницаемость мембраны для каждого давления и температуры.
- Построить изотермы проницаемости (зависимость потока от давления).
- Определить коэффициент прилипания из наклона изотерм в области низких давлений.
- Построить график зависимости проницаемости от обратной температуры (Аррениуса).

###### **Этап 4. Расчёт параметров**

- Рассчитать энергию активации процесса проницаемости из графика Аррениуса.
- Определить предэкспоненциальный множитель.

- Оценить коэффициент диффузии и растворимости водорода в металле.

### 3. Отчетность

Отчет должен содержать:

1. Титульный лист
2. Цель работы
3. Теоретическая часть:
  - Механизмы проницаемости водорода через металлы
  - Кинетическая теория процесса прилипания
  - Уравнения для расчёта проницаемости и коэффициента прилипания
4. Экспериментальная часть:
  - Описание установки и методики измерений
  - Параметры мембранны и условия экспериментов
  - Таблицы исходных данных (температура, давление, поток)
5. Результаты и анализ:
  - Построенные изотермы проницаемости
  - Рассчитанные значения коэффициента прилипания
  - График зависимости проницаемости от обратной температуры
  - Рассчитанные энергия активации и другие параметры
6. Выводы:
  - О зависимости проницаемости от температуры и давления
  - О значении коэффициента прилипания для исследуемой системы
  - О влиянии состояния поверхности на кинетику процесса
  - О применимости метода для изучения взаимодействия водорода с металлами

## **Лабораторная работа № 2. Определение энергии активации и предэкспоненты проницаемости на металлической мембране методом изобар проницаемости**

### 1. Цель работы

Главная цель: Определить энергию активации и предэкспоненциальный множитель проницаемости водорода через металлическую мембрану с использованием метода изобар проницаемости.

Конкретные задачи:

1. Изучить температурную зависимость проницаемости газов через металлические мембранны.
2. Освоить методику измерения проницаемости в изобарных условиях.
3. Построить изобары проницаемости при различных постоянных давлениях.
4. Определить энергию активации и предэкспоненциальный множитель процесса проницаемости.
5. Проанализировать влияние давления на кинетические параметры.

### 2. Ход работы

#### Этап 1. Подготовка эксперимента

- Подготовить металлическую мембрану (вакуумный отжиг, очистка поверхности).
- Установить мембрану в измерительную ячейку, обеспечить герметичность.
- Провести вакуумирование системы до высокого вакуума.
- Калибровать систему измерения давления и температуры.

#### Этап 2. Проведение измерений по изобарам

- Установить постоянное давление водорода на входе мембранны (первая изобара).
- Плавно повышать температуру с заданным шагом.

- На каждой температуре дожидаться стационарного режима и измерять поток через мембрану.

- Записать установившиеся значения потока для каждой температуры.
- Повторить измерения для нескольких различных давлений (серия изобар).

#### Этап 3. Обработка данных

- Рассчитать коэффициент проницаемости для каждой температуры и давления.
- Построить изобары проницаемости в координатах  $\ln(P)$  от  $1/T$ .
- Провести линейную аппроксимацию каждой изобары.
- Определить тангенсы угла наклона изобар для расчёта энергии активации.

#### Этап 4. Расчёт кинетических параметров

- Рассчитать энергию активации  $E_a$  для каждой изобары.
- Определить предэкспоненциальный множитель  $P_0$  из отрезков, отсекаемых на оси ординат.
- Построить сводный график зависимости  $E_a$  и  $P_0$  от давления.
- Проанализировать постоянство кинетических параметров.

### 3. Отчетность

Отчет должен содержать:

1. Титульный лист
2. Цель работы
3. Теоретическая часть:
  - о Теория процесса проницаемости газов через металлы
  - о Уравнение Аррениуса для проницаемости
  - о Физический смысл энергии активации и предэкспоненты
4. Экспериментальная часть:
  - о Схема экспериментальной установки
  - о Параметры мембранны и условия опытов
  - о Таблицы измеренных потоков при различных  $T$  и  $P$
5. Результаты и анализ:
  - о Построенные изобары проницаемости в координатах Аррениуса
  - о Рассчитанные значения  $E_a$  и  $P_0$  для каждой изобары
  - о Анализ зависимости  $E_a$  и  $P_0$  от давления
  - о Сравнение с литературными данными
6. Выводы:
  - о О применимости уравнения Аррениуса для описания проницаемости
  - о О влиянии давления на кинетические параметры
  - о О механизме проницаемости водорода через исследуемую мембрану
  - о О точности метода изобар для определения энергии активации

## Лабораторная работа № 3. Определение температурной зависимости коэффициента диффузии в металлической мемbrane методом спрямления кривой прорыва в функциональном масштабе

### 1. Цель работы

Главная цель: Экспериментально определить температурную зависимость коэффициента диффузии водорода в металлической мемbrane методом обработки кривых прорыва в функциональных координатах.

Конкретные задачи:

1. Изучить метод обработки кривых прорыва для определения коэффициента диффузии.

2. Освоить технику проведения экспериментов по измерению кинетики прорыва водорода.
3. Определить коэффициенты диффузии при различных температурах.
4. Найти энергию активации диффузии.
5. Оценить влияние температуры на диффузационные характеристики мембранны.

## 2. Ход работы

### Этап 1. Подготовка мембранны и установки

- Подготовить образец мембранны (механическая обработка, вакуумный отжиг).
- Установить мембранны в диффузационную ячейку, обеспечить герметичность.
- Провести вакуумирование системы для удаления адсорбированных газов.
- Проверить работу системы регистрации давления и температуры.

### Этап 2. Проведение экспериментов при различных температурах

- Установить постоянную температуру в ячейке.
- Создать скачок давления водорода на входной стороне мембранны.
- Регистрировать изменение давления на выходной стороне во времени (кривая прорыва).

- Провести эксперименты в диапазоне температур (например, 100-400°C).
- Для каждой температуры получить не менее 3 кривых прорыва для статистики.

### Этап 3. Обработка кривых прорыва

- Построить кривые прорыва в координатах относительного давления от времени.
- Перестроить кривые в функциональных координатах для линеаризации (например,  $\text{erf}^{-1}(F)$  от  $t$ , где  $F$  - степень проникновения).

- Определить коэффициент диффузии из наклона спрямленных зависимостей.
- Рассчитать средние значения коэффициента диффузии для каждой температуры.

### Этап 4. Анализ температурной зависимости

- Построить график зависимости коэффициента диффузии от температуры в координатах Аррениуса ( $\ln D$  от  $1/T$ ).
- Определить энергию активации диффузии из наклона прямой.
- Рассчитать предэкспоненциальный множитель  $D_0$ .

## 3. Отчетность

Отчет должен содержать:

1. Титульный лист
2. Цель работы
3. Теоретическая часть:
  - Диффузия газов в металлах
  - Метод кривых прорыва и его математическое обоснование
  - Температурная зависимость коэффициента диффузии
4. Экспериментальная часть:
  - Описание установки и методики измерений
  - Параметры мембранны и условия экспериментов
  - Примеры исходных кривых прорыва
5. Результаты и анализ:
  - Кривые прорыва в функциональных координатах
  - Рассчитанные коэффициенты диффузии при различных температурах
  - График зависимости  $\ln D$  от  $1/T$
  - Рассчитанные энергия активации и предэкспоненциальный множитель
6. Выводы:
  - О применимости метода для определения коэффициента диффузии

- О характере температурной зависимости диффузии
- О величине энергии активации диффузии водорода в мемbrane
- О точности полученных результатов

## **Лабораторная работа № 4. Определение коэффициента диффузии и других кинетических коэффициентов путем решения обратной задачи диффузии в мемbrane с модифицированной поверхностью, применительно к методу прорыва**

### **1. Цель работы**

Главная цель: Определить коэффициент диффузии и кинетические параметры поверхностных процессов в мемbrane с модифицированной поверхностью путем решения обратной задачи для данных метода прорыва.

Конкретные задачи:

1. Изучить особенности диффузии в мембранах с модифицированной поверхностью.
2. Освоить методику решения обратной задачи диффузии.
3. Определить коэффициент диффузии и константы скорости поверхностных процессов.
4. Оценить влияние модификации поверхности на кинетические параметры.
5. Провести верификацию полученных результатов.

### **2. Ход работы**

#### **Этап 1. Подготовка мембранны и эксперимента**

- Провести модификацию поверхности мембранны (напыление, имплантация, окисление).
- Установить мембранны в измерительную ячейку.
- Провести вакуумирование системы.
- Калибровать измерительные приборы.

#### **Этап 2. Экспериментальные измерения**

- Провести серию экспериментов методом прорыва при различных температурах.
- Зарегистрировать кривые прорыва с высоким временным разрешением.
- Повторить измерения для статистической обработки.
- Зафиксировать условия проведения каждого эксперимента.

#### **Этап 3. Решение обратной задачи**

- Выбрать математическую модель диффузии с учетом поверхностных процессов.
- Разработать алгоритм решения обратной задачи.
- Провести подбор параметров модели по экспериментальным данным.
- Определить коэффициент диффузии и константы скорости поверхностных процессов.

#### **Этап 4. Анализ результатов**

- Оценить точность определения параметров.
- Проанализировать температурную зависимость кинетических коэффициентов.
- Сравнить параметры модифицированной и немодифицированной мембранны.
- Провести статистическую обработку результатов.

### **3. Отчетность**

Отчет должен содержать:

1. Титульный лист
2. Цель работы
3. Теоретическая часть:
  - Диффузия в мембранах с модифицированной поверхностью
  - Математические модели поверхностных процессов
  - Методы решения обратных задач

4. Экспериментальная часть:
  - Метод модификации поверхности
  - Параметры экспериментальной установки
  - Условия проведения измерений
5. Результаты и анализ:
  - Экспериментальные кривые прорыва
  - Результаты решения обратной задачи
  - Определенные кинетические параметры
  - Анализ точности и достоверности результатов
6. Выводы:
  - О влиянии модификации поверхности на кинетические параметры
  - О применимости использованной математической модели
  - О точности метода решения обратной задачи
  - О перспективах практического применения результатов

## **Лабораторная работа № 5. Определение коэффициента диффузии и других кинетических коэффициентов методом концентрационных импульсов с использованием атомизатора водорода**

### **1. Цель работы**

Главная цель: Определить коэффициент диффузии и кинетические параметры взаимодействия атомарного водорода с металлической мембраной методом концентрационных импульсов с использованием атомизатора водорода.

Конкретные задачи:

1. Изучить метод концентрационных импульсов для исследования кинетики атомарного водорода.
2. Освоить работу с атомизатором водорода и методику создания концентрационных импульсов.
3. Определить коэффициент диффузии атомарного водорода в мемbrane.
4. Найти константы скорости поверхностных процессов.
5. Оценить влияние атомарного состояния водорода на кинетические параметры.

### **2. Ход работы**

#### **Этап 1. Подготовка экспериментальной установки**

- Подготовить металлическую мембрану (очистка, активация поверхности).
- Установить мембрану в измерительную ячейку с атомизатором водорода.
- Провести вакуумирование системы.
- Настроить систему генерации и детектирования концентрационных импульсов.

#### **Этап 2. Проведение измерений**

- Создать стационарный поток атомарного водорода.
- Генерировать концентрационные импульсы заданной амплитуды и длительности.
- Регистрировать отклик системы на выходе мембранны.
- Провести серию измерений при различных температурах.
- Изменить амплитуду импульсов для исследования нелинейных эффектов.

#### **Этап 3. Обработка данных**

- Анализировать форму импульсов на входе и выходе мембранны.
- Определить времена задержки и уширения импульсов.
- Рассчитать коэффициент диффузии из временных характеристик импульсов.
- Определить константы скорости адсорбции и десорбции.

#### **Этап 4. Решение обратной задачи**

- Построить математическую модель процесса.
- Провести идентификацию параметров модели по экспериментальным данным.
- Оценить точность определения кинетических коэффициентов.
- Проанализировать адекватность модели.

### 3. Отчетность

Отчет должен содержать:

1. Титульный лист
2. Цель работы
3. Теоретическая часть:
  - Особенности взаимодействия атомарного водорода с металлами
  - Метод концентрационных импульсов
  - Математические модели переноса атомарного водорода
4. Экспериментальная часть:
  - Схема экспериментальной установки
  - Параметры мембранны и условия опытов
  - Режимы генерации импульсов
5. Результаты и анализ:
  - Зарегистрированные концентрационные импульсы
  - Рассчитанные коэффициенты диффузии
  - Определенные константы скорости поверхностных процессов
  - Анализ температурной зависимости параметров
6. Выводы:
  - О коэффициенте диффузии атомарного водорода в мембране
  - О кинетике поверхностных процессов с участием атомарного водорода
  - О преимуществах метода концентрационных импульсов
  - О влиянии атомарного состояния на кинетические параметры

## **Лабораторная работа № 6. Определение коэффициента диффузии и других кинетических коэффициентов методом концентрационных импульсов с использованием тлеющего разряда для пассивных поверхностей металла**

### 1. Цель работы

Главная цель: Определить коэффициент диффузии и кинетические параметры взаимодействия водорода с пассивными металлическими поверхностями методом концентрационных импульсов с использованием тлеющего разряда.

Конкретные задачи:

1. Изучить метод концентрационных импульсов в сочетании с тлеющим разрядом.
2. Освоить технику создания пассивных поверхностей на металлических образцах.
3. Определить коэффициент диффузии водорода через пассивный слой.
4. Найти константы скорости поверхностных процессов на пассивной поверхности.
5. Оценить защитные свойства пассивного слоя.

### 2. Ход работы

#### Этап 1. Подготовка образцов и установки

- Подготовить металлические образцы с пассивной поверхностью (оксидные пленки, покрытия).
  - Установить образец в камеру с тлеющим разрядом.
  - Создать вакуум в измерительной системе.
  - Настроить параметры тлеющего разряда (давление, напряжение, ток).

### Этап 2. Формирование пассивного слоя

- Провести обработку поверхности в тлеющем разряде для формирования пассивного слоя.
- Контролировать толщину и состав пассивного слоя.
- Стабилизировать параметры пассивного слоя перед измерениями.

### Этап 3. Проведение измерений

- Создать стабильный поток атомарного водорода с помощью тлеющего разряда.
- Генерировать концентрационные импульсы различной амплитуды.
- Регистрировать отклик системы на выходе образца.
- Провести измерения при различных температурах и давлениях.

### Этап 4. Обработка данных

- Анализировать форму и параметры концентрационных импульсов.
- Определить временные характеристики прохождения импульсов через пассивный слой.
- Рассчитать эффективный коэффициент диффузии.
- Определить константы скорости поверхностных процессов.

### 3. Отчетность

Отчет должен содержать:

1. Титульный лист
2. Цель работы
3. Теоретическая часть:
  - о Физические основы метода тлеющего разряда
  - о Особенности диффузии через пассивные слои
  - о Кинетика поверхностных процессов на пассивных поверхностях
4. Экспериментальная часть:
  - о Методы создания пассивных поверхностей
  - о Параметры тлеющего разряда
  - о Условия проведения измерений
5. Результаты и анализ:
  - о Кинетические кривые прохождения импульсов
  - о Рассчитанные коэффициенты диффузии
  - о Определенные константы скорости процессов
  - о Оценка защитных свойств пассивного слоя
6. Выводы:
  - о О влиянии пассивного слоя на кинетику взаимодействия с водородом
  - о О эффективности пассивного слоя как барьера для диффузии
  - о О применимости метода для исследования пассивных поверхностей
  - о О перспективах использования результатов для защиты от водородной хрупкости

**Таблица 4 Критерии оценивания лабораторных работ**

Критерий оценивания	Результат
Задания выполнены в полном объеме. Представлен письменный ответ Выявлены знания компетентности в рамках задания.	5
Задания выполнены частично. Представлен письменный ответ	3

Выявлены частичные знания компетентности в рамках задания.	
Задания не выполнены. Не представлен письменный ответ Знания компетентности в рамках задания не выявлены.	0

### **Вопросы для устного ответа**

1. Понятие водородопроницаемости. Методы экспериментального исследования. Практическое применение. Физические процессы, влияющие на процесс проникновения водорода через металлы и полупроводники. Уравнения, описывающие отдельные стадии. Многослойные мембранны.

2. Мембранные камеры. Особенности входной и выходной частей. Подача газа на входную сторону. Откачка или накопление газа на выходной стороне. Методы контроля и регулировки температуры. Методы контроля и регулировки давления. Атомизация и ионизация водорода. Методы измерения проникающего потока.

3. Методы изготовления мембран и мембранных ячеек. Методы нанесения покрытий. Методы очистки поверхности мембран. Расчет параметров и изготовление атомизаторов. Расчет параметров и создание газового разряда для ионной бомбардировки мембран. Монтаж мембранный ячейки в экспериментальную установку

**Таблица 4.1. Критерии оценивания устного опроса**

Критерий	Балл
обучающийся не смог дать ответ, допустил значительные ошибки при ответе на вопросы преподавателя	0
обучающийся ответил на поставленный вопрос преподавателя, допустив незначительные ошибки в ответах или выполнил задание в целом правильно, допустив неточности и незначительные ошибки	10
обучающийся без ошибок полно и правильно ответил на поставленный вопрос преподавателя	20

**Таблица 4.2. Критерии оценивания заданий вариативной части**

2.1	Реферат по дисциплине «Специальная лаборатория по водородопроницаемости материалов»	1	5
2.2	Участие в НИРС	10	25
2.3	Участник клуба МиФ	1	10
2.4	Участие в олимпиаде (физика, математика)	5	10
2.4.1	участие	5	5
2.4.2	призер	10	10
2.5	Публикация в индексируемом журнале (совместно с преподавателем)	10	10
2.6	Акселерационная программа/ проект Росмолодежи	20	40
2.6.1	участие	20	20

2.6.2	грант	40	40
	Промежуточная аттестация по дисциплине	0	30
	Итого баллов по вариативной части	40	60
	Итого баллов по дисциплине		100

### Примерная тематика рефератов

1. Теоретические основы водородопроницаемости материалов: Диффузия и растворимость водорода.
2. Экспериментальные методы измерения водородопроницаемости: Техники и оборудование в лаборатории.
3. Факторы влияния на водородопроницаемость: Температура, давление и структура материалов.
4. Водородопроницаемость металлов и сплавов: Механизмы и экспериментальные данные.
5. Проницаемость водорода в полимерных материалах: Применение в мембранах.
6. Керамические материалы и водородопроницаемость: Преимущества и ограничения.
7. Применение водородопроницаемости в топливных элементах и хранении водорода.
8. Проблемы безопасности: Водородная хрупкость и утечки через материалы.
9. Сравнение водородопроницаемости с проницаемостью других газов (азот, кислород).
10. Моделирование водородопроницаемости: Компьютерные симуляции и предсказания.
11. Экспериментальные вызовы в лаборатории: Подготовка образцов и калибровка приборов.
12. Влияние окружающей среды на водородопроницаемость: Коррозия и окисление.
13. Развитие наноматериалов для улучшения водородопроницаемости.
14. Интерпретация данных водородопроницаемости: Математические модели и анализ кривых.
15. Будущие тенденции в водородопроницаемости: Инновации и интеграция с возобновляемой энергетикой.

**Таблица 4.3. Критерии оценивания реферата**

Критерий оценивания	Результат
Содержание реферата соответствует заявленной в названии тематике; реферат оформлен в соответствии с общими требованиями написания и техническими требованиями оформления реферата; реферат имеет чёткую композицию и структуру; в тексте реферата отсутствуют логические нарушения в представлении материала; корректно оформлены и в полном объёме представлены список использованной литературы и ссылки на использованную литературу в тексте реферата; реферат представляет собой самостоятельное исследование, представлен качественный анализ найденного материала, отсутствуют факты плагиата.	5 баллов
Содержание реферата соответствует заявленной в названии тематике; реферат оформлен в соответствии с общими требованиями написания реферата, но есть погрешности в техническом оформлении; реферат имеет чёткую композицию и структуру; в тексте реферата отсутствуют логические нарушения в представлении материала; в полном объёме представлены список использованной литературы, но есть ошибки в оформлении; реферат представляет собой самостоятельное исследование, представлен качественный анализ найденного материала,	4 балла

<p>отсутствуют факты плагиата.</p>	
<p>Содержание реферата соответствует заявленной в названии тематике; в целом реферат оформлен в соответствии с общими требованиями написания реферата, но есть погрешности в техническом оформлении; в целом реферат имеет чёткую композицию и структуру, но в тексте реферата есть логические нарушения в представлении материала; в полном объёме представлен список использованной литературы, но есть ошибки в оформлении; некорректно оформлены или не в полном объёме представлены ссылки на использованную литературу в тексте реферата; в целом реферат представляет собой самостоятельное исследование, представлен анализ найденного материала, отсутствуют факты плагиата.</p>	3 балла
<p>Содержание реферата соответствует заявленной в названии тематике; в реферате отмечены нарушения общих требований написания реферата; есть погрешности в техническом оформлении; в целом реферат имеет чёткую композицию и структуру, но в тексте реферата есть логические нарушения в представлении материала; в полном объёме представлен список использованной литературы, но есть ошибки в оформлении; некорректно оформлены или не в полном объёме представлены ссылки на использованную литературу в тексте реферата; в целом реферат представляет собой достаточно самостоятельное исследование, представлен анализ найденного материала, присутствуют единичные случаи фактов плагиата.</p>	2 балла

### **Образцы тестовых заданий текущего контроля ПК-2.1; ПК-4.1**

1. Что такое водородопроницаемость материалов?
  - а) Процесс проникновения водорода через материал под влиянием градиента концентрации.
  - б) Способность материала проводить электричество под действием водорода.
  - в) Реакция водорода с материалом, приводящая к его разрушению.
  - г) Измерение давления водорода в газовой смеси.
2. Какой основной закон описывает диффузию водорода в материалах?
  - а) Закон Бойля-Мариотта.
  - б) Закон Фика.
  - в) Закон Ома.
  - г) Закон Архимеда.
3. Какой фактор наиболее сильно влияет на коэффициент проницаемости водорода при повышении температуры?
  - а) Уменьшение растворимости водорода.
  - б) Снижение давления.
  - в) Изменение цвета материала.
  - г) Увеличение скорости диффузии.

4. В каком типе материалов водородопроницаемость обычно самая низкая?
  - а) Металлы.
  - б) Полимеры.
  - в) Керамика.
  - г) Композиты.
5. Какое применение водородопроницаемости материалов наиболее актуально для топливных элементов?
  - а) Хранение водорода в баллонах.
  - б) Мембранные для разделения водорода.
  - в) Защита от коррозии.
  - г) Измерение влажности.
6. Что такое водородная хрупкость?
  - а) Разрушение материала из-за накопления водорода.
  - б) Увеличение прочности материала под действием водорода.
  - в) Изменение цвета материала.
  - г) Повышение проводимости.
7. Как сравнивать проницаемость водорода с проницаемостью кислорода?
  - а) Водород всегда проникает быстрее.
  - б) Кислород проникает быстрее из-за большего размера молекул.
  - в) Они одинаковы при одинаковых условиях.
  - г) Зависит от материала, но водород обычно имеет меньший размер молекул.
8. Какой метод компьютерного моделирования часто используется для предсказания водородопроницаемости?
  - а) Молекулярная динамика.
  - б) Анализ Фурье.
  - в) Линейная регрессия.
  - г) Статистический анализ.
9. Что важно при подготовке образцов для экспериментов по водородопроницаемости?
  - а) Нанесение краски на поверхность.
  - б) Обеспечение чистоты и отсутствия дефектов.
  - в) Нагрев до высоких температур.
  - г) Добавление примесей.
10. Как влажность окружающей среды влияет на водородопроницаемость?
  - а) Увеличивает проницаемость за счет гидратации.
  - б) Не влияет вообще.
  - в) Может снижать проницаемость из-за образования пленок.
  - г) Увеличивает только в металлах.
11. Какие наноматериалы используются для улучшения водородопроницаемости?
  - а) Углеродные нанотрубки.
  - б) Стеклянные волокна.
  - в) Деревянные опилки.
  - г) Пластиковые гранулы.

12. Какое уравнение используется для анализа данных диффузии водорода?
- Уравнение Шрёдингера.
  - Второе уравнение Фика.
  - Уравнение Эйнштейна.
  - Закон Кулона.
13. Какая распространенная ошибка в экспериментах по водородопроницаемости связана с утечками?
- Неправильная температура..
  - Слишком быстрый нагрев.
  - Ошибка в весе образца.
  - Ложные показания из-за негерметичности
14. Как водородопроницаемость интегрируется с водородной экономикой?
- Посредством мембран для очистки водорода.
  - Через создание барьеров для утечек водорода.
  - С помощью увеличения хрупкости материалов.
  - Путем снижения стоимости металлов.
15. Как оценить селективность материала по водороду в смеси газов?
- Путем измерения коэффициентов проницаемости для каждого газа.
  - По цвету материала.
  - По весу образца.
  - С помощью микроскопа.

**Таблица 4.4. Критерии оценивания тестирования**

Критерий	Баллы
Зачтено, более 40 % или равно 40% ответов правильных	10
Не зачтено, менее 40 % ответов правильных	0
Итого	0-10

## **5. Содержание оценочных средств промежуточной аттестации. Критерии оценивания**

Форма промежуточной аттестации по дисциплине – зачет с оценкой.  
Форма проведения зачета с оценкой: устный ответ на два вопроса в билете.

### **Перечень вопросов для подготовки:** **ПК-2.1; ПК-4.1**

1. Виды систем вакуумной откачки. Каскадирование, порядок включения и отключения.
2. Скорость откачки. Измерение и регулировка.
3. Масс-спектрометры. Их виды и калибровка.
4. Методы контролируемого ввода водорода в вакуумную установку.
5. Виды вакуумной арматуры. Вентили и натекатели.
6. Методы измерения вакуумных давлений. Калибровки, погрешности, зависимость от соста-

ва газов.

7. Методы измерения температуры объектов в вакууме. Калибровки, погрешности.

8. Применение вакуумной техники для изучения процессов взаимодействия водорода с твердыми телами. Методы исследования такого взаимодействия.

**Таблица 5. Критерии оценивания промежуточной аттестации**

<b>Критерий оценивания</b>	<b>Баллы</b>
Обучающийся ответил на два вопроса в билете. Продемонстрировал знания по формируемым компетенциям в полном объеме (приводились доводы и объяснения). Знания освоения компетенций выявлены.	30 баллов
Обучающийся ответил на один вопрос в билете. Продемонстрировал знания по формируемым компетенциям частично. Постиг смысл изучаемого материала (может высказать вербально, четко и ясно, или конструировать новый смысл, новую позицию). Знания освоения компетенций выявлены частично.	15 баллов
Обучающийся не ответил на вопросы в билете. Не может согласовать свою позицию или действия относительно обсуждаемой тематики. Знания освоения компетенций не выявлены.	0