

**Федеральное государственное автономное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Московский физико-технический институт  
(национальный исследовательский университет)»**

**УТВЕРЖДЕНО**  
**Директор физтех-школы**  
**аэрокосмических технологий**  
**С.С. Негодяев**

|                            |   |
|----------------------------|---|
|                            | <b>Рабочая программа дисциплины (модуля)</b>  |
| <b>по дисциплине:</b>      | Химия плазмы  |
| <b>по направлению:</b>     | Прикладные математика и физика  |
| <b>профиль подготовки:</b> | Пучково-плазменные системы и технологии<br>Физтех-школа Аэрокосмических Технологий<br>кафедра логистических систем и технологий |
| <b>курс:</b>               | 2   |
| <b>квалификация:</b>       | магистр   |

Семестр, формы промежуточной аттестации: 4 (весенний) - Экзамен

Аудиторных часов: 60 всего, в том числе:

лекции: 30 час.

семинары: 15 час.

лабораторные занятия: 15 час.

Самостоятельная работа: 45 час.

Подготовка к экзамену: 30 час.

Всего часов: 135, всего зач. ед.: 3

Программу составил: Т.М. Васильева, д-р техн. наук, доцент

Программа обсуждена на заседании кафедры логистических систем и технологий 07.04.2023

## Аннотация

Курс представляет введение в плазмохимию и охватывает круг вопросов, знание которых необходимо современному специалисту, работающему в области физики и химии низкотемпературной плазмы. Обсуждаются основные понятия и закономерности протекания плазмохимических реакций и процессы в различных материалах, стимулированные воздействием низкотемпературной плазмы (газоразрядной, электронно-пучковой, комбинированной). Особенное внимание уделяется плазмохимической модификации органических и биоорганических полимеров. Рассматриваются практические применения низкотемпературной плазмы для осуществления различных технологических процессов, использование плазмохимических методов в биологии, медицине, «зеленой химии».

Курс также ориентирован на формирование и развитие у студентов навыков постановки и проведения научных исследований в области химии плазмы. С этой целью большое внимание уделено методикам и технике плазмохимических экспериментов и анализу полученных результатов.

## 1. Цели и задачи

### Цель дисциплины

формирование теоретических и инженерных представлений о физико-химических основах плазмохимических технологий и современных прикладных возможностях использования низкотемпературной плазмы, а также развитие навыков и умений применения этих знаний в научно-исследовательской и практической деятельности с плазмохимией в области физики и химии плазмы.

### Задачи дисциплины

- приобретение необходимых фундаментальных знаний в области химии низкотемпературной плазмы, формирование представлений об основных понятиях и концепциях, используемых в плазмохимии, закономерностях протекания плазмохимических процессов, механизмах взаимодействия низкотемпературной плазмы с материалами различной природы и живыми системами;
- формирование представлений о месте плазмохимии в различных областях современной техники и технологии, возможностях и перспективах развития плазмохимических технологий;
- изучение методов и подходов к решению разнообразных научных и прикладных проблем, связанных с плазмохимическими технологиями;
- приобретение минимально необходимого объема практических знаний и умений при работе с плазмохимическими генераторами низкотемпературной плазмы различных типов.

## 2. Перечень формируемых компетенций

Освоение дисциплины направлено на формирование следующих компетенций:

| Код и наименование компетенции  | Индикаторы достижения компетенции   |
|---|---|
| УК-1 Способен осуществлять критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, вырабатывать стратегию действий | УК-1.1 Анализирует проблемную ситуацию как систему, выявляя ее составляющие и связи между ними  |
|   | УК-1.2 Осуществляет поиск вариантов решения поставленной проблемной ситуации на основе доступных источников информации  |
|   | УК-1.3 Разрабатывает стратегию достижения поставленной цели как последовательность шагов, предвидя результат каждого из них и оценивая их влияние на внешнее окружение планируемой деятельности и на взаимоотношения участников этой деятельности |
| УК-2 Способен управлять проектом на всех этапах его реализации  | УК-2.1 Формулирует в рамках обозначенной проблемы, цель, задачи, актуальность, значимость (научную, практическую, методическую и иную в зависимости от типа проекта), ожидаемые результаты и возможные сферы их применения                        |
|   | УК-2.3 Способен организовать и координировать работу участников проекта, обеспечивать работу команды необходимыми ресурсами   |

|  |   |
|--|---|
| ОПК-2 Имеет представление об актуальных проблемах науки и техники в области своей профессиональной деятельности, способен на научном языке формулировать профессиональные задачи   | ОПК-2.1 Имеет представление о современном состоянии исследований в рамках тематической области своей профессиональной деятельности  |
|  | ОПК-2.2 Способен оценивать актуальность исследований в области своей профессиональной деятельности и их практическую значимость   |
|  | ОПК-2.3 Владеет профессиональной терминологией, используемой в современной научно-технической литературе, обладает навыками устного и письменного изложения результатов научной деятельности в рамках профессиональной коммуникации |
| ОПК-4 Способен успешно реализовывать решение поставленной задачи, провести анализ результата и представить выводы, применяя знания и навыки в области физико-математических наук и информационно-коммуникационных технологий | ОПК-4.1 Способен применять знания и навыки по использованию информационно-коммуникационных технологий для поиска и изучения научной литературы, применения прикладных программных продуктов   |
|  | ОПК-4.3 Способен аргументировано выбирать способ проведения научного исследования   |
| ПК-2 Способен самостоятельно или в качестве члена (руководителя) малого коллектива организовывать и проводить научные исследования и их апробацию  | ПК-2.1 Способен планировать и проводить научные исследования самостоятельно или в составе научного коллектива   |
|  | ПК-2.2 Способен проводить апробацию результатов научно-исследовательской работы посредством публикации научных статей и участия в конференциях  |
| ПК-3 Способен профессионально работать с исследовательским и испытательным оборудованием (приборами и установками, специализированными пакетами прикладных программ) в избранной предметной области                          | ПК-3.1 Понимает принципы работы используемого оборудования (специализированных пакетов прикладных программ)   |
|  | ПК-3.2 Способен проводить эксперимент (моделирование) с использованием исследовательского оборудования (пакетов прикладных программ)  |
|  | ПК-3.3 Способен оценивать точность полученных экспериментальных (численных) результатов   |

### 3. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

знать:

- химические основы плазменных технологий как раздела прикладной физики;
- общие сведения о плазмохимических процессах, протекающих в низкотемпературной плазме, их основные термодинамические и кинетические закономерности, особенности процессов в неравновесной низкотемпературной плазме;
- взаимосвязь плазмохимии с плазмохимическими технологиями физикой плазмы; возможности использования плазмохимических технологий в различных областях фундаментальной науки и прикладных исследованиях;
- механизмы воздействия низкотемпературной плазмы на материалы неорганической и (био)органической природы, а также на живые объекты;
- принципы действия и конструкции плазмохимических генераторов низкотемпературной плазмы различных типов; принципы расчета основных параметров плазменных установок на основе генераторов электронно-пучковой плазмы; основные параметры и целевые характеристики плазмохимических реакторов технологического назначения;
- основные приемы работы на плазмохимических установках, генерирующих низкотемпературную плазму (газоразрядную плазму пониженного и атмосферного давления, пучково-плазменных реакторов и реакторов гибридного типа, особенности их эксплуатации и технического обслуживания).

уметь:

- применять основные понятия и законы, используемые при анализе и описании плазмохимических процессов в низкотемпературной плазме, при выполнении теоретических расчетов, компьютерного моделирования и практических экспериментах;
- прогнозировать возможные плазмохимические превращения в различных условиях генерации низкотемпературной плазмы;
- прогнозировать результаты модификации материалов и объектов в низкотемпературной плазме, обоснованно выбирать оптимальный способ получения продуктов с требуемыми свойствами и требуемого состава; предлагать новые оптимальные и эффективные методы решения задач, связанных с модификацией материалов в низкотемпературной плазме;
- формулировать постановку задач экспериментального исследования свойств продуктов, получаемых при использовании плазмохимических технологий, основанных на неравновесной плазме;
- осваивать новые предметные области, теоретические подходы и экспериментальные методики, связанные с анализом плазмохимических процессов и применением плазмотехнических систем производственного назначения.

владеть:

- навыками по анализу разнообразных плазмохимических реакторов низкотемпературной плазмы для научно обоснованного выбора соответствующей плазмохимической системы, наиболее подходящей для решения конкретной задачи;
- навыками постановки и решения задач в области практического применения плазмохимических реакторов, а также базовыми навыками работы на пучково-плазменных установках;
- навыками освоения и анализа большого объема междисциплинарной информации;
- навыками составления отчетов по итогам эксперимента.

#### 4. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и видов учебных занятий

##### 4.1. Разделы дисциплины (модуля) и трудоемкости по видам учебных занятий

| № | Тема (раздел) дисциплины  | Трудоемкость по видам учебных занятий, включая самостоятельную работу, час. |          |                 |                |
|---|---|---|----------|-----------------|----------------|
|   |   | Лекции  | Семинары | Лаборат. работы | Самост. работа |
| 1 | Введение в плазмохимию. Основные определения и комментарии.   | 2   | 1        |                 | 3              |
| 2 | Механизмы плазмохимических реакций I: ионизация.  | 2   | 1        |                 | 3              |
| 3 | Механизмы плазмохимических реакций II: электронно-ионная рекомбинация.                                  | 2   | 1        |                 | 3              |
| 4 | Механизмы плазмохимических реакций III: элементарные процессы с участием возбужденных атомов и молекул. | 2   | 1        |                 | 3              |
| 5 | Наиболее типичные примеры известных плазмохимических процессов.   | 2   | 1        |                 | 3              |
| 6 | Плазмохимическая модификация (био)органических полимеров в плазме газовых разрядов.                     | 2   | 1        | 3               | 3              |
| 7 | Кинетика реакций плазмохимической модификации полимеров.  | 2   | 1        |                 | 3              |
| 8 | Модификация различных материалов в электронно-пучковой плазме.  | 2   | 1        | 3               | 3              |

|                       |  |                     |    |    |    |
|-----------------------|--|---------------------|----|----|----|
| 9                     | Основные механизмы модификации материалов в электронно-пучковой плазме I: главные действующие факторы.                               | 2                   | 1  |    | 3  |
| 10                    | Основные механизмы модификации материалов в электронно-пучковой плазме II: подходы к управлению процессом модификации.               | 2                   | 1  |    | 3  |
| 11                    | Применение плазмы газовых разрядов в биологии и медицине.  | 2                   | 1  | 3  | 3  |
| 12                    | Возможности использования пучково-плазменных технологий для решения биологических и медицинских задач.                               | 2                   | 1  |    | 3  |
| 13                    | Возможности и применение низкотемпературной плазмы в химии, экологии и агротехнологии.   | 2                   | 1  |    | 3  |
| 14                    | Плазменные установки, применяемые для плазмохимической модификации различных материалов и решения биологических и медицинских задач. | 2                   | 1  | 3  | 3  |
| 15                    | Основные механизмы взаимодействия плазмы с живыми клетками и тканями.  | 2                   | 1  | 3  | 3  |
| Итого часов           |  | 30                  | 15 | 15 | 45 |
| Подготовка к экзамену |  | 30 час.             |    |    |    |
| Общая трудоёмкость    |  | 135 час., 3 зач.ед. |    |    |    |

#### 4.2. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам)

##### Семестр: 4 (Весенний)

##### 1. Введение в плазмохимию. Основные определения и комментарии.

Основные определения и комментарии. Плазма как состояние вещества. Главные компоненты химически активной плазмы, основные механизмы плазмохимических процессов.

##### 2. Механизмы плазмохимических реакций I: ионизация.

Элементарные процессы с участием заряженных частиц (ионизация). Классификация и виды ионизационных процессов. Прямая и ступенчатая ионизация. Фото-ионизация. Ионизация под действием высокоэнергетических электронов и электронных пучков.

##### 3. Механизмы плазмохимических реакций II: электронно-ионная рекомбинация.

Элементарные процессы с участием заряженных частиц (рекомбинация). Различные механизмы электронно-ионной рекомбинации. Плазмохимические превращения и реакции с участием положительных и отрицательных ионов.

##### 4. Механизмы плазмохимических реакций III: элементарные процессы с участием возбужденных атомов и молекул.

Элементарные процессы с участием возбужденных атомов и молекул. Возбужденные частицы, резонансные и метастабильные состояния. Диссоциация молекул под действием плазмы, генерация радикалов, радикальные плазмохимические реакции. Активные формы кислорода, хлора и азота.

## 5. Наиболее типичные примеры известных плазмохимических процессов.

Генерация озона, окисление оксида азота (II), плазменно-стимулированное травление поверхности материала. Плазменный катализ, плазмохимическая конверсия топлива и плазменно-стимулированный синтез водорода. Плазменно-стимулированная функционализация углеродных материалов.

## 6. Плазмохимическая модификация (био)органических полимеров в плазме газовых разрядов.

Плазменно-стимулированная деструкция полимеров, окисление полимеров под действием плазмы, плазменно-стимулированная полимеризация, сополимеризация, функционализация и сшивка полимеров. ВУФ-стимулированная полимеризация и деградация полимеров. Старение полимеров при плазмохимической модификации. Конкретные примеры плазмохимической модификации синтетических и природных полимеров, ее влияние на физические и химические полученных материалов. Применение плазменно-модифицированных полимеров в биологии, медицине и технологии.

## 7. Кинетика реакций плазмохимической модификации полимеров.

Основные понятия, определения, кинетические уравнения и механизмы. Подходы к моделированию и экспериментальному исследованию кинетики плазмохимической модификации полимеров.

## 8. Модификация различных материалов в электронно-пучковой плазме.

Взаимодействие электронно-пучковой плазмы с белками, полисахаридами. Синтез тонких пленок и покрытий в электронно-пучковой плазме, функционализация поверхности неорганических и органических материалов в электронно-пучковой плазме.

## 9. Основные механизмы модификации материалов в электронно-пучковой плазме I: главные действующие факторы.

Основные действующие факторы, реализуемые в электронно-пучковой плазме. Быстрые и вторичные электроны, тормозное рентгеновское излучение, активные частицы плазмы. Механизмы взаимодействия этих факторов с (био)органическими молекулами. Экспериментальные подходы к дифференцировке действия каждого из факторов на материал.

## 10. Основные механизмы модификации материалов в электронно-пучковой плазме II: подходы к управлению процессом модификации.

Экспериментальные и теоретические подходы к управлению модификацией материалов в электронно-пучковой плазме. Контроль интегрального энерговклада, управление распределением температуры и потоками быстрых электронов и активных частиц плазмы по поверхности образцов различной геометрии.

## 11. Применение плазмы газовых разрядов в биологии и медицине.

Применение газоразрядной плазмы для стерилизации, инактивации микроорганизмов, тканевой инженерии и клеточных технологий, стимуляции тканевой регенерации. Плазменная хирургия, плазменно-стимулированная коагуляция, использование газоразрядной плазмы в стоматологии и косметологии. Плазменная обработка злокачественных клеток.

## 12. Возможности использования пучково-плазменных технологий для решения биологических и медицинских задач.

Технологии получения биоактивных пептидов и олигосахаридов, биосовместимых гибридных материалов и покрытий. Электронно-пучковая плазма для нанобиотехнологий и получения биосенсоров, пучково-плазменная модификация и допирование углеродных материалов.

13. Возможности и применение низкотемпературной плазмы в химии, экологии и агротехнологии.

Плазмохимическая обработка воды и отходов, плазмохимический синтез фитостимуляторов и фитопротекторов. Применение плазмохимических методов в производстве катализаторов, переработке нефти и нефтепродуктов.

14. Плазменные установки, применяемые для плазмохимической модификации различных материалов и решения биологических и медицинских задач.

Плазменная игла, плазменный карандаш, плазменный факел и т.д. Электронно-пучковые реакторы для получения биоактивных соединений и материалов.

15. Основные механизмы взаимодействия плазмы с живыми клетками и тканями.

Основные сведения о строении клетки и организации тканей организма. Основные плазмохимические факторы, действующие на структуру и функцию клеток при обработке в плазме и механизмы их воздействия.

## **5. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине (модулю)**

Лекционные занятия: учебная аудитория, оснащенная компьютером и мультимедийным оборудованием (проектор, звуковая система), доступ в сеть Интернет.

Лабораторные работы проводятся в специализированной научной лаборатории, располагающей генераторами низкотемпературной плазмы различных типов (плазма ВЧ-разряда низкого давления, электронно-пучковая плазма, «плазменный факел» атмосферного давления). Учебный лабораторный комплекс укомплектован оптическим пирометром, оптическими и масс-спектрометрами и позволяет выполнять разнообразные эксперименты в области плазмохимии.

## **6. Перечень рекомендуемой литературы**

### **Основная литература**

- 1) M. Vasiliev, T. Vasilieva. Materials production with Beam Plasmas. In Encyclopedia of Plasma Technology (Ed. J.L. Shohet, Taylor & Francis), 2016
- 2) A. Fridman (2011). Plasma chemistry. Cambridge university press: Cambridge, UK

### **Дополнительная литература**

- 1) Васильев М.Н. Применение электронно-пучковой плазмы в плазмохимии / Энциклопедия низкотемпературной плазмы. Под ред. В.Е. Фортова. Т. XI. М.: Наука, 2001. С. 436-445.
- 2) Бычков В.Л., Васильев М.Н., Коротеев А.С. Электронно-пучковая плазма. Генерация, свойства, применение. М.: Изд. МГОУ А/О Росвузнаука, 1993. – 167 с.
- 3) A. Fridman (2013). Plasma medicine. John Wiley & Sons Ltd.: Chichester, West Sussex, UK
- 4) J. Friedrich (2012). The plasma chemistry of polymer surfaces. Wiley-VCH Verlag & Co.: Weinheim, Germany
- 5) J. Meichsner (2013). Non-thermal plasma chemistry and physics. CRC Press. Boca Raton, FL

## **7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", необходимых для освоения дисциплины (модуля)**

- 1) Материал Plasma Physics: Applications, размещенный на открытой образовательной платформе edX: <https://www.classcentral.com/course/edx-plasma-physics-applications-7015>
- 2) Котельников И. А. Лекции по физике плазмы - 2-е изд. (эл.). - М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2014. [Электронный ресурс]: [https://www.researchgate.net/publication/260700891\\_Lekcii\\_po\\_fizike\\_plazmy\\_-\\_Elektronnoe\\_izdani\\_e](https://www.researchgate.net/publication/260700891_Lekcii_po_fizike_plazmy_-_Elektronnoe_izdani_e)

- 3) Материалы по фундаментальным и прикладным исследованиям низкотемпературной плазмы Max Planck Institute for Plasma Physics - [http://www.mpg.de/155019/ipp\\_greifswald](http://www.mpg.de/155019/ipp_greifswald)
- 4) База данных плазмохимических процессов University College London Quantemol database: <https://quantemoldb.com/>

## **8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю), включая перечень необходимого программного обеспечения и информационных справочных систем (при необходимости)**

В образовательном процессе используются дистанционные занятия и вебинары с использованием коммуникационного программного обеспечения Zoom, сервиса видеотелефонной связи Google Meet, веб-сервиса Google Класс, сервера веб-конференций BigBlueButton. Привлекаются материалы, размещенные на открытых образовательных платформах Coursera, Udemy, edX, а также материалы курса, размещенные в системе LMS на портале МФТИ.

База данных плазмохимических процессов University College London Quantemol database: <https://quantemoldb.com/>

## **9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины (модуля)**

Успешное освоение курса «Химия плазмы» требует самостоятельной работы студента. В программе курса приведено минимально необходимое время для работы студента над темой.

Самостоятельная работа включает в себя:

- изучение рекомендованной основной и дополнительной литературы;
- изучение технических описаний и инструкций по эксплуатации оборудования, используемого при проведении экспериментов;
- подготовку предложений по постановке экспериментов в рамках индивидуальных и групповых проектов;
- знакомство с публикациями по тематике предполагаемых проектов.

Руководство и контроль самостоятельной работы студента осуществляется преподавателем при заслушивании презентаций, подготавливаемых студентами, а также в ходе дискуссий во время практических занятий.



**ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)**

**по направлению:** Прикладные математика и физика  
**профиль подготовки:** Пучково-плазменные системы и технологии  
Физтех-школа Аэрокосмических Технологий  
кафедра логистических систем и технологий  
**курс:** 2  
**квалификация:** магистр

Семестр, формы промежуточной аттестации: 4 (весенний) - Экзамен

**Разработчик:** Т.М. Васильева, д-р техн. наук, доцент

## 1. Компетенции, формируемые в процессе изучения дисциплины

| Код и наименование компетенции   | Индикаторы достижения компетенции   |
|--|---|
| УК-1 Способен осуществлять критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, вырабатывать стратегию действий  | УК-1.1 Анализирует проблемную ситуацию как систему, выявляя ее составляющие и связи между ними  |
|  | УК-1.2 Осуществляет поиск вариантов решения поставленной проблемной ситуации на основе доступных источников информации  |
|  | УК-1.3 Разрабатывает стратегию достижения поставленной цели как последовательность шагов, предвидя результат каждого из них и оценивая их влияние на внешнее окружение планируемой деятельности и на взаимоотношения участников этой деятельности |
| УК-2 Способен управлять проектом на всех этапах его реализации   | УК-2.1 Формулирует в рамках обозначенной проблемы, цель, задачи, актуальность, значимость (научную, практическую, методическую и иную в зависимости от типа проекта), ожидаемые результаты и возможные сферы их применения                        |
|  | УК-2.3 Способен организовать и координировать работу участников проекта, обеспечивать работу команды необходимыми ресурсами   |
| ОПК-2 Имеет представление об актуальных проблемах науки и техники в области своей профессиональной деятельности, способен на научном языке формулировать профессиональные задачи   | ОПК-2.1 Имеет представление о современном состоянии исследований в рамках тематической области своей профессиональной деятельности  |
|  | ОПК-2.2 Способен оценивать актуальность исследований в области своей профессиональной деятельности и их практическую значимость   |
|  | ОПК-2.3 Владеет профессиональной терминологией, используемой в современной научно-технической литературе, обладает навыками устного и письменного изложения результатов научной деятельности в рамках профессиональной коммуникации               |
| ОПК-4 Способен успешно реализовывать решение поставленной задачи, провести анализ результата и представить выводы, применяя знания и навыки в области физико-математических наук и информационно-коммуникационных технологий | ОПК-4.1 Способен применять знания и навыки по использованию информационно-коммуникационных технологий для поиска и изучения научной литературы, применения прикладных программных продуктов   |
|  | ОПК-4.3 Способен аргументировано выбирать способ проведения научного исследования   |
| ПК-2 Способен самостоятельно или в качестве члена (руководителя) малого коллектива организовывать и проводить научные исследования и их апробацию  | ПК-2.1 Способен планировать и проводить научные исследования самостоятельно или в составе научного коллектива   |
|  | ПК-2.2 Способен проводить апробацию результатов научно-исследовательской работы посредством публикации научных статей и участия в конференциях  |
| ПК-3 Способен профессионально работать с исследовательским и испытательным оборудованием (приборами и установками, специализированными пакетами прикладных программ) в избранной предметной области                          | ПК-3.1 Понимает принципы работы используемого оборудования (специализированных пакетов прикладных программ)   |
|  | ПК-3.2 Способен проводить эксперимент (моделирование) с использованием исследовательского оборудования (пакетов прикладных программ)  |
|  | ПК-3.3 Способен оценивать точность полученных экспериментальных (численных) результатов   |

## 2. Показатели оценивания компетенций

В результате изучения дисциплины «Химия плазмы» обучающийся должен:

**знать:**

- химические основы плазменных технологий как раздела прикладной физики;
- общие сведения о плазмохимических процессах, протекающих в низкотемпературной плазме, их основные термодинамические и кинетические закономерности, особенности процессов в неравновесной низкотемпературной плазме;
- взаимосвязь плазмохимии с плазмохимическими технологиями физикой плазмы; возможности использования плазмохимических технологий в различных областях фундаментальной науки и прикладных исследованиях;
- механизмы воздействия низкотемпературной плазмы на материалы неорганической и (био)органической природы, а также на живые объекты;
- принципы действия и конструкции плазмохимических генераторов низкотемпературной плазмы различных типов; принципы расчета основных параметров плазменных установок на основе генераторов электронно-пучковой плазмы; основные параметры и целевые характеристики плазмохимических реакторов технологического назначения;
- основные приемы работы на плазмохимических установках, генерирующих низкотемпературную плазму (газоразрядную плазму пониженного и атмосферного давления, пучково-плазменных реакторов и реакторов гибридного типа, особенности их эксплуатации и технического обслуживания).

**уметь:**

- применять основные понятия и законы, используемые при анализе и описании плазмохимических процессов в низкотемпературной плазме, при выполнении теоретических расчетов, компьютерного моделирования и практических экспериментах;
- прогнозировать возможные плазмохимические превращения в различных условиях генерации низкотемпературной плазмы;
- прогнозировать результаты модификации материалов и объектов в низкотемпературной плазме, обоснованно выбирать оптимальный способ получения продуктов с требуемыми свойствами и требуемого состава; предлагать новые оптимальные и эффективные методы решения задач, связанных с модификацией материалов в низкотемпературной плазме;
- формулировать постановку задач экспериментального исследования свойств продуктов, получаемых при использовании плазмохимических технологий, основанных на неравновесной плазме;
- осваивать новые предметные области, теоретические подходы и экспериментальные методики, связанные с анализом плазмохимических процессов и применением плазмотехнических систем производственного назначения.

**владеть:**

- навыками по анализу разнообразных плазмохимических реакторов низкотемпературной плазмы для научно обоснованного выбора соответствующей плазмохимической системы, наиболее подходящей для решения конкретной задачи;
- навыками постановки и решения задач в области практического применения плазмохимических реакторов, а также базовыми навыками работы на пучково-плазменных установках;
- навыками освоения и анализа большого объема междисциплинарной информации;
- навыками составления отчетов по итогам эксперимента.

**3. Перечень типовых (примерных) вопросов, заданий, тем для подготовки к текущему контролю**

Текущий контроль осуществляется в форме самостоятельных/контрольных работ в письменной форме по каждой теме.

- оценка ответов на вопросы в процессе краткого (до 5 мин) выборочного устного опроса перед началом каждого практического занятия по материалам предыдущего занятия;
- оценка умения решать у доски и/или в письменном виде типовые примеры и/или задачи, рассматриваемые на практических занятиях;
- оценка активности и ответов на вопросы в соответствии с программой практических занятий;
- подготовка реферата и устных докладов и презентаций по предложенным преподавателем темам.

Формами контроля самостоятельной работы являются участие студентов в дискуссиях на семинарских занятиях, выполнение индивидуальных заданий, подготовка рефератов и выступление с докладами.

Перечень контрольных вопросов и заданий для самостоятельной работы и практическим занятиям:

1. Плазмохимические системы и процессы.
2. Плазменные технологические процессы.
3. Применение низкотемпературной плазмы в биологии, медицине, экологии.
4. Основные положения химической кинетики.
5. Заряженные частицы в неравновесной плазме.
6. Процессы ионизации в неравновесной плазме.
7. Процессы гибели заряженных частиц.
8. Возбуждение атомов и молекул электронным ударом. Релаксация возбужденных частиц. Передача возбуждения.
9. Химические реакции возбужденных частиц, встречающиеся в плазмохимии.
10. Механизмы плазмохимических процессов.
11. Плазменно-стимулированная генерация озона.
12. Плазменно-стимулированное окисление оксида азота (II).
13. Диссоциация оксида углерода (IV) и механизмы ее осуществления в различных плазмохимических системах.
14. Получение водорода из паров воды. Получение водорода при разложении сероводорода и аммиака.
15. Реакции углеводородов в неравновесной плазме. Окисление углеводородов.
16. Конверсия природного газа в различных плазмохимических системах.
17. Перспектива получения синтетического топлива. Синтез ацетилена.
18. Плазмохимия полимеров.
19. Плазмохимическая модификация (био)органических полимеров в плазме газовых разрядов и электронно-пучковой плазме.
20. Плазмохимическая полимеризация.
21. Плазмохимическая обработка тканей.

Примерные темы для подготовки рефератов:

1. Методы диагностики химически активной плазмы.
2. Плазменно-растворные системы.
3. Пылевая плазма: химические и физические процессы.
4. Электронно-пучковая плазма: генерация, свойства, применение.
5. Плазменная медицина.
6. Низкотемпературная плазма: использование в сельском хозяйстве.

#### **4. Перечень типовых (примерных) вопросов и тем для проведения промежуточной аттестации обучающихся**

Аттестация по дисциплине «Химия плазмы» осуществляется в форме экзамена.

Перечень типовых вопросов и тем для подготовки к экзамену:

1. Классификация и виды ионизационных процессов. Прямая и ступенчатая ионизация.
2. Классификация и виды ионизационных процессов. Ионизация под действием высокоэнергетических электронов и электронных пучков.
3. Механизмы электронно-ионной рекомбинации. Плазмохимические превращения и реакции с участием положительных и отрицательных ионов.
4. Элементарные процессы с участием возбужденных атомов и молекул.
5. Возбужденные частицы, резонансные и метастабильные состояния.
6. Диссоциация молекул под действием плазмы, генерация радикалов, радикальные плазмохимические реакции.
7. Плазменно-стимулированное травление поверхности материала.

8. Плазменно-стимулированная генерация озона.
9. Плазменно-стимулированное окисление оксида азота (II).
10. Плазмохимическая конверсия топлива
11. Плазмохимическая модификация (био)органических полимеров в плазме газовых разрядов: плазменно-стимулированная деструкция полимеров, плазменно-стимулированная полимеризация.
12. Плазменно-стимулированное окисление полимеров под действием плазмы.
13. ВУФ-стимулированная полимеризация и деградация полимеров.
14. Подходы к моделированию и экспериментальному исследованию кинетики плазмохимической модификации полимеров.
15. Механизмы взаимодействия электронно-пучковой плазмы с белками.
16. Механизмы взаимодействия электронно-пучковой плазмы с полисахаридами.
17. Синтез тонких пленок и покрытий в электронно-пучковой плазме.
18. Основные действующие факторы, реализуемые в электронно-пучковой плазме при модификации материалов.
19. Механизмы взаимодействия высокоэнергетических электронов пучка с биополимерами.
20. Механизмы взаимодействия тормозного рентгеновского излучения, генерируемого в электронно-пучковой плазме, с биополимерами.
21. Экспериментальные подходы к дифференцировке действия каждого из факторов на материал.
22. Экспериментальные и теоретические подходы к управлению модификацией материалов в электронно-пучковой плазме. Контроль интегрального энерговклада.
23. Управление распределением температуры и потоками быстрых электронов и активных частиц плазмы по поверхности образцов различной геометрии.
24. Применение плазмы газовых разрядов в биологии и медицине: применение газоразрядной плазмы для стерилизации, инактивации микроорганизмов. Механизмы взаимодействия химически активных частиц плазмы с клеточными структурами.
25. Применение плазмы газовых разрядов в биологии и медицине: тканевой инжиниринг и плазменная хирургия.
26. Пучково-плазменные технологии получения биоактивных пептидов и олигосахаридов.
27. Пучково-плазменные технологии синтеза биосовместимых гибридных материалов и покрытий.
28. Применение плазмохимических методов в производстве химических катализаторов.
29. Применение плазмохимических методов в переработке нефти и нефтепродуктов.
30. Возможности и применение низкотемпературной плазмы в химии, экологии и агротехнологии: плазмохимическая обработка воды и отходов производств.
31. Плазменные установки, применяемые для плазмохимической модификации различных материалов и решения биологических и медицинских задач.
32. Электронно-пучковые реакторы для получения биоактивных соединений и материалов.
33. Основные плазмохимические факторы, действующие на структуру и функцию клеток при обработке в плазме и механизмы их воздействия.

Примеры экзаменационных билетов:

В экзаменационный билет по дисциплине включены 3 вопроса.

#### ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 1

Дисциплина: Химия плазмы

1. Классификация и виды ионизационных процессов. Прямая и ступенчатая ионизация.
2. Плазменно-стимулированное окисление оксида азота (II).
3. Пучково-плазменные технологии синтеза биосовместимых гибридных материалов и покрытий.

#### ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 2

Дисциплина: Химия плазмы

1. Элементарные процессы с участием возбужденных атомов и молекул.
2. Механизмы взаимодействия электронно-пучковой плазмы с полисахаридами.

3. Установки, применяемые для плазмохимической модификации различных материалов и решения биологических и медицинских задач.

### ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 3

Дисциплина: Химия плазмы

1. Диссоциация молекул под действием плазмы, генерация радикалов, радикальные плазмохимические реакции.
2. Синтез тонких пленок и покрытий в электронно-пучковой плазме.
3. Применение плазмохимических методов в производстве химических катализаторов.

### ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 4

Дисциплина: Химия плазмы

1. Механизмы электронно-ионной рекомбинации. Плазмохимические превращения и реакции с участием положительных и отрицательных ионов.
2. Механизмы взаимодействия высокоэнергетических электронов пучка с биополимерами.
3. Возможности и применение низкотемпературной плазмы в химии, экологии и агротехнологии: плазмохимическая обработка воды и отходов производств.

### Критерии оценивания

оценка «отлично (10)» выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины при выполнении курсовой работы, домашних заданий, ответе экзаменационного билета и ответе на вопросы по программе дисциплины;

оценка «отлично (9)» выставляется студенту, показавшему систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины при выполнении курсовой работы, домашних заданий, ответе экзаменационного билета и ответе на вопросы по программе дисциплины;

оценка «отлично (8)» выставляется студенту, показавшему систематизированные, знания учебной программы дисциплины при выполнении курсовой работы, домашних заданий, ответе экзаменационного билета и ответе на вопросы по программе дисциплины;

оценка «хорошо (7)» выставляется студенту, если он твердо знает материал экзаменационного билета, грамотно и по существу излагает его, демонстрирует умение применять полученные знания на практике при выполнении курсовой работы и домашних заданий, но допускает в ответе или в решении задач некоторые неточности;

оценка «хорошо (6)» выставляется студенту, если он знает материал экзаменационного билета, по существу излагает его, демонстрирует умение применять полученные знания на практике при выполнении курсовой работы и домашних заданий, но допускает в ответе или в решении задач много неточностей;

оценка «хорошо (5)» выставляется студенту, если он знает материал экзаменационного билета, излагает его, демонстрирует умение применять полученные знания на практике при выполнении курсовой работы и домашних заданий, не допускает в ответе грубых ошибок;

оценка «удовлетворительно (4)» выставляется студенту, если во время ответа экзаменационного билета, при выполнении курсовой работы и домашних заданий он показал фрагментарный, характер знаний, недостаточно правильные формулировки базовых понятий, но при этом он владеет основными разделами учебной программы, необходимыми для дальнейшего обучения;

оценка «удовлетворительно (3)» выставляется студенту, если во время ответа экзаменационного билета, при выполнении курсовой работы и домашних заданий он показал разрозненный характер знаний, недостаточно правильные формулировки базовых понятий, нарушение логической последовательности в изложении программного материала, но при этом он владеет основными разделами учебной программы, необходимыми для дальнейшего обучения и может применять полученные знания по образцу в стандартной ситуации;

оценка «неудовлетворительно (2-1)» выставляется студенту, если во время ответа экзаменационного билета, он показал, что не знает большей части основного содержания учебной программы дисциплины, допускает грубые ошибки в формулировках основных понятий дисциплины и не умеет использовать полученные знания при решении типовых практических задач.

## **5. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности**

При проведении устного экзамена обучающемуся предоставляется 40 минут на подготовку. Опрос обучающегося по билету на устном экзамене не должен превышать двух астрономических часов.

Преподавателю предоставляется право, помимо теоретических вопросов студентам дополнительные вопросы, уточняющие понимание содержания курса.

Во время проведения экзамена при подготовке ответов на билеты, обучающиеся могут пользоваться программой дисциплины, конспектами лекций и любой другой литературой.

Во время проведения экзамена при ответе обучающегося на вопросы по билету или по программе дисциплины, он не может пользоваться конспектами лекций и любой другой литературой.