

МИНОБРНАУКИ РОССИИ  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«ДАГЕСТАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
Химический факультет

## **РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

### **Электрохимические методы очистки сточных вод**

Кафедра экологической химии и технологии  
химического факультета

Образовательная программа  
18.04.02 - Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической  
технологии, нефтехимии и биотехнологии

Профиль подготовки  
Охрана окружающей среды и рациональное использование природных  
ресурсов

Уровень высшего образования  
Магистратура

Форма обучения  
Очно-заочная

Статус дисциплины: вариативная по выбору

Махачкала, 2019

Рабочая программа дисциплины «Электрохимические методы очистки сточных вод» составлена в 2019 году в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению подготовки 18.04.02 - Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии (уровень магистратуры) от «20» ноября 2014 г. № 1480.

Разработчики: кафедра экологической химии и технологии, Исаев А.Б, к.х.н., доцент.

Рабочая программа дисциплины одобрена:  
на заседании кафедры экологической химии и технологии  
от «20» июня 2019г., протокол № 10

Зав. кафедрой  Исаев А.Б.  
(подпись)

на заседании Методической комиссии химического факультета  
от «21» июня 2019г., протокол № 10

Председатель  Гасангаджиева У.Г.  
(подпись)

Рабочая программа дисциплины согласована с учебно-методическим

управлением « 27 » 06 2019 г.   
(подпись)

## Аннотация рабочей программы дисциплины

Дисциплина «Электрохимические методы очистки сточных вод» входит в вариативную часть и является дисциплиной по выбору образовательной программы магистратуры по направлению 18.04.02 - Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии.

Дисциплина реализуется на химическом факультете кафедрой экологической химии и технологии.

Содержание дисциплины охватывает круг вопросов, связанных с основами электрохимической очистки сточных вод различных производств от органических и неорганических соединений, электрохимическими методами окисления и восстановления, электрокоагуляции и электрофлотации, электродиализа.

Дисциплина нацелена на формирование следующих компетенций выпускника: общекультурных – ОК-3, общепрофессиональных – ОПК-3, профессиональных – ПК-2, 5, 7, 8, 9, 10, 11, 12.

Преподавание дисциплины предусматривает проведение следующих видов учебных занятий: лекции, лабораторные занятия, самостоятельная работа.

Рабочая программа дисциплины предусматривает проведение следующих видов контроля успеваемости в форме – контрольная работа, коллоквиум и промежуточный контроль в форме экзамена.

Объем дисциплины 4 зачетных единиц, в том числе 144 академических часа по видам учебных занятий

Семестр	Учебные занятия							СРС, в том числе экзамен	Форма промежуточной аттестации (зачет, дифференциро- ванный зачет, экзамен)
	в том числе:								
	всего	Контактная работа обучающихся с преподавателем							
		всего	из них						
		Лекц ии	Лаборат орные занятия	Практич еские занятия	КСР	консульт ации			
10	14 4	20	8	12				124	экзамен

## 1. Цели освоения дисциплины

Целью освоения дисциплины «Электрохимические методы очистки сточных вод» является изучение основ электрохимических методов очистки сточных вод, подбора варианта электрохимической очистки в зависимости от состава сточных вод.

## 2. Место дисциплины в структуре ОПОП магистратуры

Дисциплина «Электрохимические методы очистки сточных вод» входит в вариативную часть и является дисциплиной по выбору образовательной программы магистратуры по направлению 18.04.02 - Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии.

До освоения дисциплины «Электрохимические методы очистки сточных вод» должны быть изучены следующие дисциплины «Введение в электрохимические технологии», «Электрохимической технологии защиты окружающей среды», «Основы теории эксперимента и математической обработки результатов» и т.д.

При изучении указанных дисциплин формируются «входные» знания, умения, опыт и компетенции, необходимые для успешного освоения дисциплины «Электрохимические методы очистки сточных вод».

Дисциплина «Электрохимические методы очистки сточных вод» является основой для осуществления научно-исследовательской работы, выполнения их магистерской диссертации, а также изучения других дисциплин из учебного плана магистров.

## 3. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины (перечень планируемых результатов обучения).

Код компетенции из ФГОС ВО	Наименование компетенции из ФГОС ВО	Планируемые результаты обучения
<b>ОК-3</b>	готовность к саморазвитию, самореализации, использованию творческого потенциала	<b>Знает:</b> содержание саморазвитию, самореализации, использованию творческого потенциала, их особенности и технологии реализации, исходя из целей и задач. <b>Умеет:</b> планировать цели и устанавливать приоритеты при выборе способов принятия решений при использовании, отладке и проектировании электрохимических систем очистки сточных вод с учетом условий, средств, личностных возможностей и временной перспективы достижения <b>Владеет:</b> технологиями организации процесса саморазвития и самореализации; приемами целеполагания во временной перспективе, способами планирования, организации, самоконтроля и самооценки деятельности при использовании, отладке и проектировании

		электрохимических технологий очистки сточных вод
<b>ОПК-3</b>	способность к профессиональной эксплуатации современного оборудования и приборов в соответствии с направлением и профилем подготовки	<p><b>Знает:</b> современные методы очистки сточных вод от органических соединений с использованием электрохимических технологий</p> <p><b>Умеет:</b> использовать знания о современных методах очистки сточных вод с использованием электрохимических технологий при проектировании и эксплуатации оборудования по очистке сточных вод.</p> <p><b>Владеет:</b> навыками по эксплуатации современного оборудования по очистке сточных и природных вод от органических соединений с использованием электрохимических технологий</p>
<b>ПК-2</b>	способность организовать самостоятельную и коллективную научно-исследовательскую работу	<p><b>Знает:</b> основные методы планирования и проведения анализа результатов коллективного и самостоятельного научно-исследовательского эксперимента по электрохимической очистке сточных и природных вод</p> <p><b>Умеет:</b> планировать самостоятельную и коллективную научно-исследовательскую работу по использованию электрохимических технологий для утилизации и обезвреживания сточных вод</p> <p><b>Владеет:</b> приемами организации коллектива и рабочего места при проведении экспериментальных исследований по электрохимическим процессам очистки сточных вод</p>
<b>ПК-5</b>	способность составлять научно-технические отчеты и готовить публикации по результатам выполненных исследований	<p><b>Знает:</b> принципы составления научно-технических отчетов и подготовки публикаций на основе использования современного оборудования для очистки сточных вод, планировать экспериментальные исследования по разработке оборудования для очистки сточных вод от органических соединений с использованием электрохимических технологий</p> <p><b>Умеет:</b> проводить анализ полученных данных на профессиональном уровне и выполнять эксперимент с использованием электрохимических технологий и оборудования для их осуществления</p> <p><b>Владеет:</b> методикой проведения исследований и навыками составления отчетов и публикаций при использовании электрохимических технологий для очистки природных и сточных вод и навыками по испытанию оборудования с помощью экспериментальных исследований.</p>
<b>ПК-7</b>	готовность к разработке	<b>Знает:</b> теоретические основы

	мероприятий по энерго- и ресурсосбережению, выбору оборудования и технологической оснастке	электрохимического окисления органических соединений для их использования при технологической оснастке очистных сооружений. Умеет: проводить исследования по разработке методов и технологий очистки сточных вод от органических соединений с использованием электрохимических технологий Владеет: навыками по разработке электрохимических методов очистки сточных вод, их аппаратурного оформления и использования для оборотного водоснабжения
<b>ПК-8</b>	готовность к разработке технических заданий на проектирование и изготовление нестандартного оборудования	Знает: основы расчета оборудования по электрохимическому обезвреживанию сточных вод, проектирования очистных сооружений. Умеет: осуществлять расчеты для разработки технических заданий при проектировании и изготовления оборудования по электрохимической очистке питьевых и сточных вод. Владеет: навыками проектирования и разработки технических заданий при изготовлении оборудования по электрохимической очистке питьевых и сточных вод
<b>ПК-9</b>	способность к анализу технологических процессов с целью повышения показателей энерго- и ресурсосбережения, к оценке экономической эффективности технологических процессов, их экологической безопасности	Знает: основы протекания электрохимических процессов, показатели протекания электрохимических процессов и анализа эффективности электрохимических технологий. Умеет: определять экономическую эффективность внедрения методов очистки сточных вод в технологических процесс и разрабатывать мероприятия по повышению энерго- и ресурсосбережения. Владеет: навыками анализа технологических процессов очистки сточных вод и разработке рекомендаций по улучшению эффективности процесса на основе научных исследований и современных достижений.
<b>ПК-10</b>	способностью оценивать инновационный и технологический риски при внедрении новых технологий	Знает: основополагающие понятия и методы оценки инновационного и технологического риска при внедрении технологии электрохимической очистки сточных и природных вод. Умеет: пользоваться приемами и методами оценки инновационного и технологического риска при внедрении технологии электрохимической очистки сточных и природных вод Владеет: способностью обосновывать

		конкретные технические решения для минимизации инновационного и технологического риска при внедрении технологии электрохимической очистки сточных и природных вод.
<b>ПК-11</b>	способностью разрабатывать мероприятия по комплексному использованию сырья, по замене дефицитных материалов	<p><b>Знает:</b> основные материалы, используемые при разработке технологии электрохимической очистки для более полного и рационального использования ресурсов, а также основы разработки новых материалов для электрохимической очистки</p> <p><b>Умеет:</b> проводить научно-исследовательские работы по комплексному использованию водных ресурсов с использованием процессов очистки сточных вод</p> <p><b>Владеет:</b> навыками разработки технологических решений по использованию водных ресурсов, и замене дефицитных материалов, используемых в технологиях очистки сточных вод</p>
<b>ПК-12</b>	способностью создавать технологии утилизации отходов и системы обеспечения экологической безопасности производства	<p><b>Знает:</b> существующие способы электрохимической очистки сточных и природных вод</p> <p><b>Умеет:</b> создавать технологии электрохимической очистки сточных и природных вод</p> <p><b>Владеет:</b> методиками создания способов электрохимической очистки сточных вод для обеспечения экологической безопасности производства</p>

#### 4. Объем, структура и содержание дисциплины.

4.1. Объем дисциплины составляет 4 зачетных единиц, 144 академических часов.

4.2. Структура дисциплины.

№ п/п	Разделы и темы дисциплины	Семестр	Неделя семестра	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу студентов и трудоемкость (в часах)				Самостоятельная	Формы текущего контроля успеваемости (по неделям семестра) Форма промежуточной аттестации (по семестрам)
				Лекции	Практические	Лабораторн	Контроль		
	Модуль 1. Электрокоагуляция, электрофлотация и электродиализ								
1	Электрокоагуляционн ая и	10	1-2	1		2		14	Устный опрос, решение задач,

	электрофлотационная очистка сточных вод								домашняя работа
2	Электродиализная очистка сточных вод	10	3	1		2		16	Устный опрос, решение задач, домашняя работа
	<i>Итого по модулю 1:</i>			<b>2</b>		<b>4</b>		<b>30</b>	Коллоквиум
Модуль 2. Методы электрохимического окисления и восстановления									
1	Электрохимическое окисление органических соединений	10	10-11	1		2		16	Устный опрос, решение задач, домашняя работа
2	Электрохимическое восстановление при очистке сточных вод	10	13	1		2		14	Устный опрос, решение задач, домашняя работа
	<i>Итого по модулю 2:</i>			<b>2</b>		<b>4</b>		<b>30</b>	Коллоквиум
Модуль 3. Непрямые электрохимические методы очистки сточных вод									
1	Электрохимическое генерирование хлорсодержащих окислителей	10	14	2		2		14	Устный опрос, решение задач, домашняя работа
2	Электрофентон, электрохимическое генерирование пероксида водорода	10	15	2		2		14	Устный опрос, решение задач, домашняя работа
	<i>Итого по модулю 3:</i>			<b>4</b>		<b>4</b>		<b>28</b>	Коллоквиум
Модуль 4. Подготовка к экзамену									
	Подготовка к экзамену	10	16-17					36	экзамен
	<i>Итого по модулю 4:</i>							<b>36</b>	<b>экзамен</b>
	<b>ИТОГО:</b>			<b>8</b>		<b>12</b>		<b>124</b>	<b>экзамен</b>

#### 4.3. Содержание дисциплины, структурированное по темам (разделам).

##### 4.3.1. Содержание лекционных занятий по дисциплине.

##### **Модуль 1. Электрокоагуляция, электрофлотация и электродиализ**

**Тема 1. Электрокоагуляционная и электрофлотационная очистка сточных вод.** Основные параметры электрокоагуляционной очистки сточных вод/ Устройство электрокоагуляторов. Влияние различных параметров на эффективность электрокоагуляционной очистки сточных вод. Материал электродов. Электрохимическое растворение алюминия и железа. Электрокоагуляционная очистка сточных вод от тяжелых металлов. Очистка сточных вод от органических соединений. Современные достижения электрокоагуляционной очистки сточных вод. Электрофлотационная очистка сточных вод. Основные параметры электрофлотационной очистки сточных вод. Устройство и принцип работы электрофлотаторов. Электрохимическое выделение газообразного кислорода и водорода. Пути интенсификации электрофлотации. Использование электрофлотации для очистки сточных вод от органических и неорганических соединений.



**Тема 2. Электродиализная очистка сточных вод.** Теоретические основы электродиализа. Перенос электролита через селективные мембраны. Простейшая конструкция электродиализатора. Электродные материалы и мембраны, используемые при электродиализной очистке сточных вод. Электродиализная очистка сточных вод от ионов тяжелых металлов. Очистка сточных вод предприятий металлообработки и машиностроения. Концентрирование сточных вод с использованием электродиализа. Устройство электродиализаторов и расход электроэнергии.

**Модуль 2. Методы электрохимического окисления и восстановления**

**Тема 3. Электрохимическое окисление органических соединений.** Преимущества и недостатки электрохимических методов очистки сточных вод. Теория электрохимического окисления различных органических и неорганических соединений. Электрохимическое окисление сточных вод. Механизм электрохимического окисления различных соединений. Устройство и принцип работы реакторов электрохимического окисления. Электродные материалы. Эффективность электрохимического окисления. Пути интенсификации электрохимического окисления органических соединений. Использование электрохимического окисления для очистки сточных вод от различных соединений. Жидкофазное электрохимическое окисление органических соединений при высоких давлениях (wet-electrochemical oxidation). Электрохимическое окисление органических соединений под давлением кислорода. Сочетание электрохимического окисления с биологической доочисткой. Влияние ультразвука на электрохимическое окисление органических соединений. Современные достижения в области электрохимической очистки сточных вод.

**Тема 4. Электрохимическое восстановление при очистке сточных вод.** Электрохимическое восстановление ионов тяжелых металлов. Очистка сточных вод гальванических производств. Рекуперация металлов электрохимическим восстановлением. Устройство электролизов. Электродные материалы, используемые при электрохимическом восстановлении. Катодное восстановление органических соединений. Механизм катодного восстановления органических соединений. Использование катодного восстановления для очистки сточных вод. Современное состояние проблемы очистки сточных вод катодным восстановлением.

**Модуль 3. Непрямые электрохимические методы очистки сточных вод**

**Тема 5. Электрохимическое генерирование хлорсодержащих окислителей.** Электрохимическое получение хлора и хлорсодержащих окислителей. Механизм образования гипохлорита натрия. Непрямое окисление органических соединений с генерированием хлорсодержащих окислителей. Непрямое окисление формальдегида. Механизм непрямого окисления органических соединений. Устройство электролизеров. Показатели эффективности процесса. Современные достижения непрямого

обезвреживания сточных вод с генерированием хлорсодержащих окислителей. Электрохимическое генерирование озона и других окислителей.

**Тема 6. Электрофентон, электрохимическое генерирование пероксида водорода.** Окисление органических соединений реактивом Фентона ( $\text{Fe}^{2+} + \text{H}_2\text{O}_2$ ). Механизм протекания процесса. Механизм электрохимического образования реактива Фентона при электролизе (Электрофентон). Использование непрямого электрохимического окисления реактивом Фентона для обезвреживания сточных вод. Окисление фенола и красителей. Окисление анилина и других органических соединений. Основные пути интенсификации непрямого электрохимического окисления органических соединений реактивом Фентона. Примеры промышленного использования не прямых методов для очистки сточных вод. Электрохимическое восстановление кислорода. Электросинтез пероксида водорода. Непрямое окисление органических соединений электрохимически синтезированным пероксидом водорода. Электродные материалы. Гидрофобизированные электроды. Непрямое электрохимическое окисление органических соединений с использованием других катализаторов переносчиков. Фотоэлектрохимическое окисление органических соединений. Электрохимическое окисление органических соединений в присутствии пероксида водорода при облучении УФ-светом. Механизм электрохимического окисления органических соединений реактивом Фентона при облучении УФ-светом (Фотоэлектрофентон). Очистка сточных вод с использованием фотоэлектрофентона.

#### *4.3.2. Содержание лабораторно-практических занятий по дисциплине.*

##### **Модуль 1. Электрокоагуляция, электрофлотация и электродиализ**

**Тема 1. Электрокоагуляционная и электрофлотационная очистка сточных вод.** Электрокоагуляционная очистка сточных вод от ионов тяжелых металлов.

**Тема 2. Электродиализная очистка сточных вод.** Очистка сточных вод гальванических производств с использованием электродиализа

**Модуль 2. Методы электрохимического окисления и восстановления**

**Тема 3. Электрохимическое окисление органических соединений.** Электрохимическое окисление красителей с одновременным генерированием гипохлорита натрия и пероксида водорода.

**Тема 4. Электрохимическое восстановление при очистке сточных вод.** Электрохимическое восстановление органических соединений. Исследование кинетики процесса.

**Модуль 3. Непрямые электрохимические методы очистки сточных вод**

**Тема 5. Электрохимическое генерирование хлорсодержащих окислителей.** Электрохимическая очистка сточных вод от органических соединений с адсорбционной доочисткой.

**Тема 6. Электрофентон, электрохимическое генерирование пероксида водорода.** Очистка сточных вод от органических соединений с использованием реактива Фентона. Фотоэлектрохимическая очистка сточных вод. Очистка сточных вод от органических соединений с использованием электрохимически генерируемого реактива Фентона при облучении УФ-светом.

## 5. Образовательные технологии

Рекомендуемые образовательные технологии:

- ✓ на лекциях используется демонстративный материал в виде презентаций;
- ✓ решение ситуационных задач;
- ✓ расчетные работы выполняются студентами самостоятельно под контролем и с консультацией преподавателя.

Удельный вес занятий, проводимых в интерактивных формах (лекция-беседа, лекция-дискуссия, лекция-консультация, проблемная лекция, лекция-визуализация, лекция с запланированными ошибками), определяется главной целью (миссией) программы, особенностью контингента обучающихся и содержанием конкретных дисциплин, и в целом в учебном процессе по данной дисциплине они должны составлять не менее 12 часов аудиторных занятий. При чтении данного курса применяются такие виды лекций, как вводная, лекция-информация, обзорная, проблемная, лекция-визуализация. Занятия лекционного типа (лекция-беседа, лекция-дискуссия, лекция-консультация, проблемная лекция) составляют 30% аудиторных занятий.

Для аттестации студентов по каждому модулю должны проводиться контрольные работы. В качестве итогового контроля проводится дифференцированный зачет.

## 6. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов.

### 6.1. Виды и порядок выполнения самостоятельной работы

1. Изучение рекомендованной литературы.
2. Поиск в интернете дополнительного материала
3. Подготовка к отчетам по лабораторным работам.
4. Решение экспериментальных и расчетных задач.
5. Подготовка к коллоквиуму.
6. Подготовка к экзамену.

№	Вид самостоятельной работы	Вид контроля	Учебно-методич. обеспечение
1.	Подготовка к отчетам по лабораторным работам	Проверка выполнения расчетов, оформления работы в лабораторном журнале и проработки вопросов к текущей теме по рекомендованной литературе.	См. разделы 7.3, 8, 9 данного документа.
2.	Решение экспериментальных и расчетных задач	Проверка домашних заданий.	См. разделы 7.3, 8, 9 данного документа.

3.	Подготовка к коллоквиуму	Промежуточная аттестация в форме контрольной работы.	См. разделы 7.3, 8, 9 данного документа.
4.	Подготовка к дифференцированному зачету.	Устный или письменный опрос	См. разделы 7.3, 8, 9 данного документа.

1. Текущий контроль: подготовка к отчетам по лабораторным работам.
2. Текущий контроль: решение экспериментальных и расчетных задач.
3. Промежуточная аттестация в форме контрольной работы.

*Текущий контроль* успеваемости осуществляется непрерывно, на протяжении всего курса. Прежде всего, это устный опрос по ходу лабораторных занятий, выполняемый для оперативной активизации внимания студентов и оценки их уровня восприятия. Результаты устного опроса учитываются при выборе индивидуальных задач для решения. Каждую неделю осуществляется проверка выполнения расчетов, оформления работы в лабораторном журнале.

*Промежуточный контроль* проводится в форме контрольной работы, в которой содержатся теоретические вопросы и задачи.

*Итоговый контроль* проводится в виде устного экзамена.

Оценка «отлично» ставится за уверенное владение материалом курса.

Оценка «хорошо» ставится при полном выполнении требований к прохождению курса и умении ориентироваться в изученном материале.

Оценка «удовлетворительно» ставится при достаточном выполнении требований к прохождению курса и владении конкретными знаниями по программе курса.

Оценка «неудовлетворительно» ставится, если требования к прохождению курса не выполнены и студент не может показать владение материалом.

## **7. Фонд оценочных средств для проведения текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины.**

7.1. Перечень компетенций с указанием этапов их формирования в процессе освоения образовательной программы.

Перечень компетенций с указанием этапов их формирования приведен в описании образовательной программы.

<b>Код компетенции и из ФГОС ВО</b>	<b>Наименование компетенции из ФГОС ВО</b>	<b>Планируемые результаты обучения</b>	<b>Процедура освоения</b>
ОК-3	готовность к саморазвитию, самореализации, использованию творческого потенциала	Знает: содержание саморазвитию, самореализации, использованию творческого потенциала, их особенности и технологии реализации, исходя из целей и задач.	Устный опрос, письменный опрос
		Умеет: планировать цели и устанавливать приоритеты при выборе	Письменный опрос

		способов принятия решений при использовании, отладке и проектировании электрохимических систем очистки сточных вод с учетом условий, средств, личностных возможностей и временной перспективы достижения	
		Владеет: технологиями организации процесса саморазвития и самореализации; приемами целеполагания во временной перспективе, способами планирования, организации, самоконтроля и самооценки деятельности при использовании, отладке и проектировании электрохимических технологий очистки сточных вод	Письменный опрос
ОПК-3	способность к профессиональной эксплуатации современного оборудования и приборов в соответствии с направлением и профилем подготовки	Знает: современные методы очистки сточных вод от органических соединений с использованием электрохимических технологий	Устный опрос, письменный опрос
		Умеет: использовать знания о современных методах очистки сточных вод с использованием электрохимических технологий при проектировании и эксплуатации оборудования по очистке сточных вод.	Письменный опрос
		Владеет: навыками по эксплуатации современного оборудования по очистке сточных и природных вод от органических соединений с использованием электрохимических технологий	Мини-конференция
ПК-2	способность организовать самостоятельную и коллективную научно-исследовательскую работу	Знает: основные методы планирования и проведения анализа результатов коллективного и самостоятельного научно-исследовательского эксперимента по электрохимической очистке сточных и природных вод	Устный опрос, письменный опрос
		Умеет: планировать самостоятельную и коллективную научно-исследовательскую работу по использованию электрохимических технологий для утилизации и обезвреживания сточных вод	Письменный опрос
		Владеет: приемами организации коллектива и рабочего места при проведении экспериментальных исследований по электрохимическим процессам очистки сточных вод	Мини-конференция
ПК-5	способность	Знает: принципы составления научно-	Устный

	составлять научно-технические отчеты и готовить публикации по результатам выполненных исследований	технологических отчетов и подготовки публикаций на основе использования современного оборудования для очистки сточных вод, планировать экспериментальные исследования по разработке оборудования для очистки сточных вод от органических соединений с использованием электрохимических технологий	опрос, письменный опрос
		Умеет: проводить анализ полученных данных на профессиональном уровне и выполнять эксперимент с использованием электрохимических технологий и оборудования для их осуществления	Письменный опрос
		Владеет: методикой проведения исследований и навыками составления отчетов и публикаций при использовании электрохимических технологий для очистки природных и сточных вод и навыками по испытанию оборудования с помощью экспериментальных исследований.	Мини-конференция
ПК-7	готовность к разработке мероприятий по энерго- и ресурсосбережению, выбору оборудования и технологической оснастке	Знает: теоретические основы электрохимического окисления органических соединений для их использования при технологической оснастке очистных сооружений.	Устный опрос, письменный опрос
		Умеет: проводить исследования по разработке методов и технологий очистки сточных вод от органических соединений с использованием электрохимических технологий	Письменный опрос
		Владеет: навыками по разработке электрохимических методов очистки сточных вод, их аппаратного оформления и использования для оборотного водоснабжения	Мини-конференция
ПК-8	готовность к разработке технических заданий на проектирование и изготовление нестандартного оборудования	Знает: основы расчета оборудования по электрохимическому обезвреживанию сточных вод, проектирования очистных сооружений.	Устный опрос, письменный опрос
		Умеет: осуществлять расчеты для разработки технических заданий при проектировании и изготовления оборудования по электрохимической очистке питьевых и сточных вод.	Письменный опрос
		Владеет: навыками проектирования и разработки технических заданий при изготовлении оборудования по электрохимической очистке питьевых и	Мини-конференция

		сточных вод	
ПК-9	способность к анализу технологических процессов с целью повышения показателей энерго- и ресурсосбережения, к оценке экономической эффективности технологических процессов, их экологической безопасности	Знает: основы протекания электрохимических процессов, показатели протекания электрохимических процессов и анализа эффективности электрохимических технологий.	Устный опрос, письменный опрос
		Умеет: определять экономическую эффективность внедрения методов очистки сточных вод в технологических процесс и разрабатывать мероприятия по повышению энерго- и ресурсосбережения.	Письменный опрос
		Владеет: навыками анализа технологических процессов очистки сточных вод и разработке рекомендаций по улучшению эффективности процесса на основе научных исследований и современных достижений.	Мини-конференция
ПК-10	способностью оценивать инновационный и технологический риски при внедрении новых технологий	Знает: основополагающие понятия и методы оценки инновационного и технологического риска при внедрении технологии электрохимической очистки сточных и природных вод.	Устный опрос, письменный опрос
		Умеет: пользоваться приемами и методами оценки инновационного и технологического риска при внедрении технологии электрохимической очистки сточных и природных вод	Письменный опрос
		Владеет: способностью обосновывать конкретные технические решения для минимизации инновационного и технологического риска при внедрении технологии электрохимической очистки сточных и природных вод.	Мини-конференция
ПК-11	способностью разрабатывать мероприятия по комплексному использованию сырья, по замене дефицитных материалов	Знает: основные материалы, используемые при разработке технологии электрохимической очистки для более полного и рационального использования ресурсов, а также основы разработки новых материалов для электрохимической очистки	Устный опрос, письменный опрос
		Умеет: проводить научно-исследовательские работы по комплексному использованию водных ресурсов с использованием процессов очистки сточных вод	Письменный опрос
		Владеет: навыками разработки технологических решений по использованию водных ресурсов, и	Мини-конференция

		замене дефицитных материалов, используемых в технологиях очистки сточных вод	
ПК-12	способностью создавать технологии утилизации отходов и системы обеспечения экологической безопасности производства	Знает: существующие способы электрохимической очистки сточных и природных вод	Устный опрос
		Умеет: создавать технологии электрохимической очистки сточных и природных вод	Письменный опрос
		Владеет: методиками создания способов электрохимической очистки сточных вод для обеспечения экологической безопасности производства	Мини-конференция

## 7.2. Типовые контрольные задания

### Контрольные вопросы

1. Основные параметры электрокоагуляционной очистки сточных вод.
2. Устройство электрокоагуляторов.
3. Влияние различных параметров на эффективность электрокоагуляционной очистки сточных вод.
4. Электрохимическое растворение алюминия и железа.
5. Электрокоагуляционная очистка сточных вод от тяжелых металлов.
6. Электрокоагуляционная очистка сточных вод от органических соединений.
7. Современные достижения электрокоагуляционной очистки сточных вод.
8. Электрофлотационная очистка сточных вод. Основные параметры электрофлотационной очистки сточных вод.
9. Устройство и принцип работы электрофлотаторов.
10. Электрохимическое выделение газообразного кислорода и водорода.
11. Пути интенсификации электрофлотации.
12. Использование электрофлотации для очистки сточных вод от органических и неорганических соединений.
13. Теоретические основы электродиализа. Перенос электролита через селективные мембраны.
14. Простейшая конструкция электродиализатора.
15. Электродные материалы и мембраны, используемые при электродиализной очистке сточных вод.
16. Электродиализная очистка сточных вод от ионов тяжелых металлов.
17. Очистка сточных вод предприятий металлообработки и машиностроения.
18. Концентрирование сточных вод с использованием электролиализа.
19. Устройство электродиализаторов и расход электроэнергии.
20. Преимущества и недостатки электрохимических методов очистки сточных вод.
21. Теория электрохимического окисления различных органических и неорганических соединений.



22. Электрохимическое окисление сточных вод.
23. Механизм электрохимического окисления различных соединений.
24. Устройство и принцип работы реакторов электрохимического окисления.
25. Эффективность электрохимического окисления.
26. Пути интенсификации электрохимического окисления органических соединений.
27. Использование электрохимического окисления для очистки сточных вод от различных соединений.
28. Электрохимическое восстановление ионов тяжелых металлов.
29. Электрохимическая очистка сточных вод гальванических производств.
30. Рекуперация металлов электрохимическим восстановлением.
31. Электродные материалы, используемые при электрохимическом восстановлении металлов.
32. Катодное восстановление органических соединений.
33. Механизм катодного восстановления органических соединений.
34. Использование катодного восстановления для очистки сточных вод.
35. Современное состояние проблемы очистки сточных вод катодным восстановлением.
36. Электрохимическое получение хлора и хлорсодержащих окислителей.
37. Механизм образования гипохлорита натрия при электролизе раствора хлорида натрия.
38. Непрямое окисление органических соединений с генерированием хлорсодержащих окислителей.
39. Механизм непрямого окисления органических соединений. Устройство электролизеров.
40. Современные достижения непрямого обезвреживания сточных вод с генерированием хлорсодержащих окислителей.
41. Электрохимическое генерирование озона и других окислителей.
42. Окисление органических соединений реактивом Фентона ( $\text{Fe}^{2+} + \text{H}_2\text{O}_2$ ).
43. Механизм электрохимического образования реактива Фентона при электролизе (Электрофентон).
44. Использование непрямого электрохимического окисления реактивом Фентона для обезвреживания сточных вод.
45. Непрямое электрохимическое окисление реактивом Фентона фенола, анилина, красителей и других органических соединений.
46. Основные пути интенсификации непрямого электрохимического окисления органических соединений реактивом Фентона.
47. Примеры промышленного использования не прямых методов для очистки сточных вод.
48. Электрохимическое восстановление кислорода. Электросинтез пероксида водорода.
49. Непрямое окисление органических соединений электрохимически синтезированным пероксидом водорода.
50. Электродные материалы при непрямом электрохимическом окислении органических соединений. Гидрофобизированные электроды.

51. Непрямое электрохимическое окисление органических соединений с использованием других катализаторов переносчиков.
52. Фотоэлектрохимическое окисление органических соединений.
53. Электрохимическое окисление органических соединений в присутствии пероксида водорода при облучении УФ-светом.
54. Механизм электрохимического окисления органических соединений реактивом Фентона при облучении УФ-светом (Фотоэлектрофентон).
55. Очистка сточных вод с использованием фотоэлектрофентона.
56. Жидкофазное электрохимическое окисление органических соединений при высоких давлениях (wet-electrochemical oxidation).
57. Электрохимическое окисление органических соединений под давлением кислорода.
58. Сочетание электрохимического окисления с биологической доочисткой.
59. Влияние ультразвука на электрохимическое окисление органических соединений.
60. Современные достижения в области электрохимической очистки сточных вод.

7.3. Методические материалы, определяющие процедуру оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций.

Общий результат выводится как интегральная оценка, складывающаяся из текущего контроля - 50% и промежуточного контроля - 50%.

Текущий контроль по дисциплине включает:

- посещение занятий - 20 баллов,
- выполнение лабораторных заданий (допуск, выполнение, сдача работ) – 60 баллов,
- выполнение домашних (аудиторных) контрольных работ - 20 баллов.

Промежуточный контроль по дисциплине включает:

письменная контрольная работа - 100 баллов.

## **8. Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины.**

### ***а) основная литература:***

1. Дамаскин Б.Б. Электрохимия: [учебник] / Дамаскин Б.Б., Петрий О.А., Цирлина Г.А. - 2-е изд., испр. и перераб. - М.: Химия: КолосС, 2006. - 670 с.
2. Практикум по электрохимии: [учеб. пособие для хим. спец. вузов / Б.Б. Дамаскин и др.]; под ред. Б.Б. Дамаскина. - М.: Высш. шк., 1991. - 287 с.
3. Хомяков, В.Г. Технология электрохимических производств / В.Г. Хомяков, В.П. Машовец, Л.Л. Кузьмин. - Москва; Ленинград: Гос. научно-техническое изд-во хим. лит., 1949. - 674 с. - ISBN 978-5-4458-4070-1; То же [Электронный ресурс].: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=212686>
4. Химия. Электрохимические процессы и системы. Варенцов В.К., - НГТУ, 2013, - 57с. То же [Электронный ресурс]. - URL: [https://нэб.пф/catalog/000199\\_000009\\_007560234/](https://нэб.пф/catalog/000199_000009_007560234/)

**б) дополнительная литература:**

1. Дамаскин Б.Б. Основы теоретической электрохимии: Учеб. пособие для хим. спец. вузов / Дамаскин Б.Б., Петрий О.А. - 2-е изд. перераб и доп. - М.: Высш. шк., 1978. - 239с.
2. А. М. Бонд. Полярографические методы в аналитической химии. М.: Химия, 1983
3. Гетманцев, С.В. Очистка производственных сточных вод коагулянтами и флокулянтами: научное издание / С.В. Гетманцев, И.А. Нечаев, Л.В. Гандурина. - Москва: Издательство АСВ, 2008. - 272 с.: табл., схем. - Библиогр.: с.237-253. - ISBN 978-5-93093-573-8; То же [Электронный ресурс]. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=273463>

**9. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины.**

- 1) eLIBRARY.RU [Электронный ресурс]: электронная библиотека / Науч. электрон. б-ка. - Москва, 1999. Режим доступа: <http://elibrary.ru/defaultx.asp> (дата обращения: 01.04.2017). – Яз. рус., англ.
- 2) Moodle [Электронный ресурс]: система виртуального обучения: [база данных] / Даг. гос. ун-т. – Махачкала, г. – Доступ из сети ДГУ или, после регистрации из сети ун-та, из любой точки, имеющей доступ в интернет. – URL: <http://moodle.dgu.ru/> (дата обращения: 22.03.2018).
- 3) Электронный каталог НБ ДГУ [Электронный ресурс]: база данных содержит сведения о всех видах лит, поступающих в фонд НБ ДГУ/Дагестанский гос. ун-т. – Махачкала, 2010 – Режим доступа: <http://elib.dgu.ru>, свободный (дата обращения: 21.03.2018).
- 4) Национальная электронная библиотека (НЭБ) [Электронный ресурс]: электронная библиотека / Нац. электрон. б-ка. — Москва – Режим доступа: <https://нэб.рф> (дата обращения: 21.03.2018). – Яз. рус., англ.
- 5) ProQuest Dissertation & Theses Global (PQDT Global) [Электронный ресурс]: база данных зарубежных диссертаций. – Режим доступа: <http://search.proquest.com/>
- 6) Springer Nature [Электронный ресурс]: электронные ресурсы издательства Springer Nature - Режим доступа: <https://link.springer.com/>  
<https://www.nature.com/siteindex/index.html>  
<http://materials.springer.com/>  
<http://www.springerprotocols.com/>  
<https://goo.gl/PdhJdo>  
<https://zbmath.org/> (дата обращения: 21.03.2018). – Яз., англ.
- 7) Королевское химическое общество (Royal Society of Chemistry) [Электронный ресурс]: журналы издательства. – Режим доступа: <http://pubs.rsc.org/> (дата обращения: 21.03.2018). – Яз., англ.
- 8) Американское химическое общество (ACS) [Электронный ресурс]: база данных полнотекстовых научных журналов Американского химического общества (ACS) коллекции Core+. – Режим доступа: <http://pubs.acs.org> (дата обращения: 21.03.2018). – Яз., англ.

9) American Physical Society (APS) [Электронный ресурс]: журналы издательства American Physical Society (Американского физического общества). - Режим доступа: <http://journals.aps.org/about> (дата обращения: 21.03.2018). – Яз., англ.

10) SAGE Premier [Электронный ресурс]: электронные ресурсы издательства SAGE Premier. – Режим доступа: <http://journals.sagepub.com/> (дата обращения: 21.03.2018). – Яз., англ.

## **10. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины.**

**Лекционный курс.** В ходе лекционного курса проводится систематическое изложение современных научных материалов, с целью формирования у студентов знаний и умений в области процессов и аппаратов в химической технологии. В тетради для конспектирования лекций записи должны быть избирательными, полностью следует записывать только определения. В конспекте рекомендуется применять сокращения слов, что ускоряет запись. Вопросы, возникшие у студентов в ходе лекции, рекомендуется записывать на полях, и после окончания лекции обратиться за разъяснением к преподавателю. Студенту необходимо активно работать с конспектом лекций: после окончания лекции рекомендуется перечитать свои записи, внести поправки и дополнения на полях. Конспекты лекций следует использовать при подготовке к практическим занятиям экзамену, модульным контрольным, при выполнении самостоятельных заданий.

**Лабораторные занятия.** Перед началом лабораторных занятий, студент должен самостоятельно изучить методику выполнения и получить допуск у преподавателя. В ходе лабораторных занятий студент под руководством преподавателя выполняет лабораторные задания, позволяющие закрепить лекционный материал по изучаемой теме, научиться выполнять статистическую обработку полученных данных, научиться работать с методиками, руководящими документами, информацией различного уровня. Студент должен вести активную познавательную работу. Целесообразно строить ее в форме наблюдения, эксперимента и конспектирования. Важно научиться включать вновь получаемую информацию в систему уже имеющихся знаний. Необходимо также анализировать материал для выделения общего в частном и, наоборот, частного в общем.

**Самостоятельная работа** выполняется студентом в виде конспектирования первоисточника, закрепления материала при выполнении практических работ по теме. Результаты самостоятельной работы контролируются преподавателем и учитываются при аттестации студента (зачет, экзамен). При этом проводится: тестирование, экспресс-опрос на семинарских и практических занятиях, заслушивание докладов, проверка письменных работ и т.д.

<b>Разделы и темы для самостоятельного изучения</b>	<b>Виды и содержание самостоятельной работы</b>
Механизм электрохимического окисления различных классов органических соединений	-конспектирование первоисточников и

Электрохимическая очистка сточных вод с электрохимическим генерированием озона и других окислителей	другой учебной литературы; - проработка учебного материала (по конспектам лекций учебной и научной литературе), подготовка докладов на практические занятия, к участию в тематических дискуссиях; - поиск и обзор научных публикаций и электронных источников информации, подготовка; - работа с вопросами для самопроверки;
Использование бромид иона в качестве катализатора переносчика при электрохимической очистке сточных вод	
Электрохимическое окисление пестицидов	
Электрохимическая очистка сточных вод, содержащих фармацевтические препараты	
Определение экономической эффективности электрохимической очистки сточных вод	

## **11. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине, включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем.**

При осуществлении образовательного процесса по дисциплине «Электрохимические методы очистки сточных вод» используются следующие информационные технологии:

- Занятия компьютерного тестирования.
- Демонстрационный материал применением проектора и интерактивной доски.
- Компьютерные программы для статистической обработки результатов анализа.
- Программы пакета Microsoft Office
- Программа Mathcad

## **12. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине.**

В соответствии с требованиями ФГОСЗ+ кафедра имеет специально оборудованную учебную аудиторию для проведения лекционных занятий по потокам студентов, помещения для лабораторных работ на группу студентов из 12-14 человек и вспомогательное помещение для хранения химических реактивов и профилактического обслуживания учебного и учебно-научного оборудования.

Помещение для лекционных занятий укомплектовано комплектом электропитания, специализированной мебелью и оргсредствами (доска аудиторная для написания мелом и фломастером, стойка-кафедра, стол лектора, стул-кресло, столы аудиторные двухместные (1 на каждого двух студентов), стул аудиторный (1 на каждого студента), а также техническими средствами обучения (экран настенный с электроприводом и дистанционным управлением, мультимедиа проектор с ноутбуком).

Лабораторные занятия проводятся в специально оборудованных лабораториях с применением необходимых средств обучения (лабораторного оборудования, образцов, нормативных и технических документов и т.п.). Помещения лабораторных практикумов укомплектованы специальной

учебно-лабораторной мебелью (в том числе столами с химически стойкими покрытиями), учебно-научным лабораторным оборудованием, измерительными приборами и химической посудой, в полной мере обеспечивающими выполнение требований программы.

1. Оборудование химического факультета и Центра коллективного пользования «Аналитическая спектроскопия»: Атомноабсорбционный спектрометр, Contr AA-700, AnalytikJena, Германия; Микроволновая система минерализации проб под давлением, TOPwaveIV, AnalytikJena, Германия; Спектрофотометр, SPECORD 210 PlusBU, AnalytikJena, Германия; Система капиллярного электрофореза, Капель-105М, ЛЮМЕКС, Санкт-Петербург; Рентгеновский дифрактометр, EmpyreanSeries 2 Фирма Panalytical (Голландия); Дифференциальный сканирующий калориметр, NETZSCH STA 409 PC/PG, Германия; Лабораторная экстракционная система, SFE1000M1-2-FMC-50, Waters, США; Хромато-масс-спектрометр, 7820 Маэстро, США, Россия; Высокоэффективный жидкостной хроматограф, Agilent 1220 Infinity, США.

2. Весы аналитические Leki B1604, Pioneer.

3. Весы теххимические Leki B5002.

4. Электролизер

5. Выпрямители

6. Амперметр

7. Вольтметр

8. Электроды

9. Колориметры фотоэлектрические КФК-2, КФК-2МП, КФК-3.

10. Автоклав

11. Дистиллятор А-10.

12. Набор лабораторной посуды.

13. Необходимые реактивы.