Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Телегина Елизавета Романовна
Должность: Проректор по дополнительному образованию
Дата подписания: 12.11.2026 15:06:44
Уникальный программный ключ:
a7211ae173bc1dfc0c88b4df14de58ab7b2aabe3

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
«Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы»
(РУДН)

ФАКУЛЬТЕТ ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИХ И ЕСТЕСТВЕННЫХ НАУК
(наименование структурного подразделения)

СОГЛАСОВАНО

Директор
МЦДПО «Перспектива»

_____ / Степнова А.Ф.
подпись ФИО

« 05 » 10 2026 г.

«УТВЕРЖДАЮ»

Проректор
по дополнительному образованию РУДН

_____ / Телегина Е.Р.
подпись ФИО

« 05 » 10 2026 г.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ПРОФЕССИОНАЛЬНАЯ ПРОГРАММА
(программа повышения квалификации)

«Повышение эффективности систем очистки сточных вод нефтеперерабатывающих и нефтехимических предприятий»

Программа разработана: в соответствии с лицензией на осуществление образовательной деятельности от 23.12.2014 г. № Л035-00115-77/00096931, и на основе профессиональных стандартов: «Специалист по эксплуатации очистных сооружений водоотведения» (Приказ Минтруда России от 17.11.2020 № 806н) и «Специалист по проектированию сооружений очистки сточных вод и обработки осадков» (Приказ Минтруда России от 18.01.2023 № 25н).

Цель обучения: совершенствование профессиональных компетенций слушателей в области применения физико-химических методов очистки сточных вод предприятий нефтехимической и нефтеперерабатывающей отрасли, включая выбор технологических решений, определение основных параметров процессов очистки и оценку их эффективности.

Категория слушателей: лица, имеющие среднее профессиональное и (или) высшее образование (химическое, технологическое или экологическое).

Объем программы: 24 академических часа.

Форма обучения / применение ДОТ: Очно-заочная с применением ДОТ

Руководитель программы,
должность:
Зав.каф.органической химии,

Д.х.н., профессор



подпись

Воскресенкий Л.Г.

ФИО

Программа рассмотрена и утверждена на заседании ученого совета ДО РУДН (протокол от 24.09.2026 № ДО-13)

Программа предназначена для углубленного изучения химических процессов, лежащих в основе современных технологий очистки сточных вод нефтехимических производств.

Требования к уровню подготовки слушателей, необходимые для освоения программы.

Программа предназначена для лиц, имеющих среднее профессиональное и (или) высшее образование (химическое, технологическое или экологическое).

Цель программы: формирование комплексного понимания физико-химических закономерностей процессов очистки производственных сточных вод и освоение современных подходов к выбору, расчёту и практическому применению технологий коагуляции, флокуляции, флотации, сорбции, мембранного разделения, электрохимической и окислительной обработки.

Задачи программы:

1. Изучение состава, источников образования и основных характеристик сточных вод нефтехимических и нефтеперерабатывающих производств, а также классификацию содержащихся в них загрязняющих веществ;
2. Изучение физико-химических закономерностей и механизмов основных методов очистки сточных вод: коагуляции, флокуляции, флотации, сорбции, мембранного разделения, электрохимической и окислительной обработки;
3. Рассмотрение химических процессов, протекающих при реагентной обработке сточных вод, включая гидролиз, нейтрализацию, осаждение и окислительно-восстановительные реакции;
4. Освоение подходов к определению и расчёту основных технологических параметров процессов физико-химической очистки;
5. Формирование умения обоснованно выбирать методы и комбинированные технологические схемы очистки с учётом состава сточных вод и требуемой степени очистки;
6. Освоение методов экспериментальной оценки эффективности физико-химической очистки и интерпретации результатов лабораторных исследований;
7. Формирование навыков сравнительной оценки технологических решений с учётом их эффективности, эксплуатационных особенностей и технико-экономических показателей.

В результате освоения программы слушатель сможет (профессиональные компетенции):

- классифицировать загрязнители сточных вод нефтехимических производств (нефтепродукты, фенолы, сульфиды, меркаптаны, органические кислоты, альдегиды, аммиак, тяжёлые металлы) и определять приоритетные методы их удаления;
- обосновывать выбор физико-химического метода очистки в зависимости от состава сточных вод и требуемой степени очистки;
- рассчитывать дозы реагентов и основные технологические параметры процессов коагуляции, флокуляции, сорбции и флотации;
- анализировать эффективность работы очистных сооружений и предлагать мероприятия по её повышению;
- использовать нормативно-техническую документацию в области охраны водных объектов;
- проводить лабораторные исследования по определению эффективности физико-химической очистки и интерпретировать полученные результаты.

Компетенции по ФГОС ВО 18.03.01 / 18.04.01		Функции по профессиональному стандарту 16.063	
код	наименование	код	наименование
ОПК-1	Способность анализировать химические процессы и использовать методы	ОТФ В (5-й уровень квалификации	Организация и осуществление работ по химико-бактериологическому анализу воды в системах водоснабжения, водоотведения, теплоснабжения.
ОПК-4	Способность планировать и проводить физико-химические эксперименты, интерпретировать данные.		
ОПК-5	Способность осуществлять технологический контроль и управление процессами	ОТФ С (6-й уровень квалификации): Управление деятельностью лаборатории (подразделения) по химическому анализу воды.	Управление деятельностью лаборатории (подразделения) по химическому анализу воды
УК-3	Способность осуществлять социальное взаимодействие и реализовывать свою роль в команде		

Содержание программы

Тема 1. Состав, источники образования и классификация сточных вод нефтехимических предприятий (2 часа).

Источники образования сточных вод на различных стадиях нефтехимического производства. Классификация загрязнителей: нефтепродукты (диспергированные, эмульгированные, растворённые), фенолы, органические и неорганические сульфиды, меркаптаны, сероводород, альдегиды, смолы, органические кислоты, аммиак, хлориды, тяжёлые металлы. Характеристика сточных вод по показателям ХПК, БПК, pH, содержанию взвешенных веществ и нефтепродуктов. Влияние загрязнителей на экосистемы и требования к качеству очищенных вод.

Тема 2 Физико-химические основы процессов коагуляции и флокуляции (2 часа).

Теория устойчивости коллоидных систем. Механизмы действия коагулянтов (соли алюминия, железа) и флокулянтов (органические полимеры). Химические реакции гидролиза коагулянтов и образование гидроксидных хлопьев. Реакции гидролиза сульфата алюминия: $Al_2(SO_4)_3 + 6H_2O \rightarrow 2Al(OH)_3\downarrow + 3H_2SO_4$. Реакции гидролиза хлорного железа: $FeCl_3 + 3H_2O \rightarrow Fe(OH)_3\downarrow + 3HCl$. Факторы, влияющие на эффективность коагуляции (pH, температура, доза реагента, интенсивность и продолжительность перемешивания), влияние pH, ионной силы и состава водной среды на устойчивость эмульсий и коллоидных частиц.

Отличие коагуляции от флокуляции, типы флокулянтов. Практические аспекты применения коагуляции и флокуляции для очистки нефтесодержащих сточных вод.

Тема 3. Флотация как метод очистки сточных вод (2 часа).

Физико-химические основы флотации: смачиваемость, адгезия, поверхностное натяжение. Виды флотации (напорная, пневматическая, механическая, электрофлотация). Межфазные явления при флотации: смачивание, поверхностное натяжение, адсорбция на границе раздела, взаимодействие пузырька с частицей/каплей и формирование флотокомплекса. Применение напорной флотации для удаления эмульгированных нефтепродуктов и взвешенных веществ. Сочетание флотации с реагентной обработкой (коагуляцией и флокуляцией) для повышения эффективности очистки.**Тема 4.** Окислительные методы (химическая деструкция).

— Реакции окисления красителей гипохлоритом натрия: $R–NH_2$ (краситель) + $NaOCl$ → продукты распада (хлорамины, карбоновые кислоты).

— Озонирование: O_3 + краситель → озонолиз двойных связей → обрыв хромофорных систем.

— Перманганат калия в кислой среде: $MnO^{4-} + 8H^+ + 5e^- \rightarrow Mn^{2+} + 4H_2O$ ($E° = 1{,}51$ В).

— Фентон-реакция: $Fe^{2+} + H_2O_2 \rightarrow Fe^{3+} + OH^- + OH\cdot$ (гидроксильный радикал — сильнейший окислитель).

Тема 4. Сорбционные методы очистки (2 часа).

Теоретические основы адсорбции: изотермы адсорбции (Ленгмюра, Фрейндлиха), кинетика процесса. Типы сорбентов (активные угли, природные и синтетические сорбенты, отходы производств). Химическая природа взаимодействия сорбента с загрязнителями – физическая адсорбция и хемосорбция. Применение сорбции для глубокой очистки сточных вод от растворённых органических веществ, в том числе фенолов, нефтепродуктов и других стойких загрязнителей. Регенерация сорбентов – термическая, химическая, паровая.

Тема 5. Мембранные методы разделения (2 часа).

Физико-химические основы мембранного разделения: движущая сила процесса, селективность, проницаемость. Классификация мембранных процессов (микрофильтрация, ультрафильтрация, нанофильтрация, обратный осмос). Химические аспекты мембранного разделения: влияние pH, ионной силы, наличия органических веществ на эффективность очистки. Явления концентрационной поляризации и загрязнения мембран. Применение мембранных технологий в нефтехимии для доочистки сточных вод и подготовки воды для оборотного водоснабжения.

Тема 6. Электрохимические и окислительные методы (2 часа).

Электрохимическая коагуляция (электрокоагуляция): механизм процесса, электрохимические реакции на электродах (растворение анода с образованием гидроксидов металлов). Электрофлотация – выделение пузырьков газов на электродах и флотация загрязнителей. Электрохимическое окисление органических загрязнителей на анодах. Окислительные методы: применение озона, перекиси водорода, Fenton-реагентов. Химические реакции окисления: окисление сероводорода озоном – на первой стадии выделение серы, на второй – окисление до H_2SO_4; окисление цианидов; озоносорбция как комбинированный метод. Интенсификация процессов при совместном использовании ультразвука и озона, ультрафиолетового облучения и озона. Достоинства и ограничения методов.

Тема 7. Комбинированные технологии и выбор оптимальных схем очистки (2 часа).

Анализ эффективности различных физико-химических методов. Гибридные схемы: коагуляция-флотация, сорбция-мембранное разделение, электрохимическая обработка-

сорбция, окисление-сорбция (окисорбция). Принципы проектирования очистных сооружений. Технико-экономическое сравнение вариантов. Современные тенденции развития технологий очистки сточных вод нефтехимических предприятий – переход к замкнутым системам водоснабжения и достижение нулевого сброса (Zero Liquid Discharge).

Организационно-педагогические условия реализации программы:
занятия проводятся в формате лекций-визуализаций с детальным разбором химических уравнений. Лабораторные работы выполняются на химических практикумах. Самостоятельная работа включает решение задач по расчету доз реагентов, построение изотерм сорбции и подготовку отчетов.

Требования к квалификации педагогических кадров:
учебный процесс обеспечивают преподаватели, имеющие соответствующий уровень подготовки (дипломы, сертификаты повышения квалификации) с профильной подготовкой (химики, экологи, технологи текстильного производства), обладающие обширным практическим опытом в соответствующей области.

Оценочные и методические материалы

Форма текущего контроля: тесты и опрос.

Примеры вопросов для проведение текущего контроля:

Тест к теме 1:

1.1. Какой показатель характеризует общее содержание органических веществ в сточной воде?

А) БПК
Б) ХПК
В) pH
Г) Жесткость

1.2. Какие загрязнители относятся к приоритетным для сточных вод нефтехимии?

А) Только взвешенные вещества
Б) Нефтепродукты, фенолы, сульфиды, меркаптаны
В) Только ионы тяжелых металлов
Г) Радиоактивные изотопы

1.3. В каком диапазоне концентраций обычно содержатся фенолы в сточных водах нефтехимических предприятий?

А) 0,1–0,5 мг/л
Б) 20–200 мг/л
В) 1000–5000 мг/л
Г) 5–10 мг/л

1.4. Какое влияние на экосистему оказывают сульфиды и сероводород в сточных водах?

А) Повышают прозрачность воды
Б) Вызывают токсический эффект и кислородное голодание водных организмов
В) Являются ценным удобрением для водорослей
Г) Снижают жесткость воды

1.5. Какие виды нефтепродуктов различают по дисперсному состоянию в сточных водах?

А) Только растворенные
Б) Диспергированные, эмульгированные, растворенные
В) Только эмульгированные
Г) Только пленочные

Тест к теме 2:

2.1. Какая соль чаще всего используется в качестве коагулянта для очистки нефтесодержащих вод?

А) $NaCl$

Б) $Al_2(SO_4)_3$

В) Na_2CO_3

Г) $CaCl_2$

2.2. Какой продукт образуется при гидролизе хлорного железа ($FeCl_3$) в воде?

А) FeO

Б) $Fe(OH)_3\downarrow$ и HCl

В) Fe_2O_3 и Cl_2

Г) $FeSO_4$ и H_2O

2.3. Какой фактор НЕ влияет на эффективность коагуляции?

А) pH среды

Б) Температура

В) Цвет раствора коагулянта

Г) Доза реагента

2.4. Для чего в процесс добавляют флокулянты (например, полиакриламид)?

А) Для изменения pH

Б) Для укрупнения образовавшихся хлопьев и ускорения осаждения

В) Для растворения нефтепродуктов

Г) Для обеззараживания воды

2.5. Какая реакция описывает гидролиз сульфата алюминия?

А) $Al_2(SO_4)_3 + 6H_2O \rightarrow 2Al(OH)_3\downarrow + 3H_2SO_4$

Б) $Al_2(SO_4)_3 + H_2O \rightarrow Al_2O_3 + H_2SO_4$

В) $Al_2(SO_4)_3 \rightarrow 2Al + 3SO_4^{2-}$

Г) $Al_2(SO_4)_3 + 6NaOH \rightarrow 2Al(OH)_3 + 3Na_2SO_4$

Тест к теме 3:

3.1. Какой физический принцип лежит в основе флотации?

А) Разная плотность жидкостей

Б) Разная смачиваемость частиц и способность прилипать к пузырькам воздуха

В) Диффузия молекул через мембрану

Г) Ионный обмен

3.2. Какой вид флотации наиболее распространен для удаления эмульгированных нефтепродуктов?

А) Механическая

Б) Пневматическая

В) Напорная (с давлением)

Г) Пенная без воздуха

3.3. Для чего применяют реагенты-гидрофобизаторы во флотации?

А) Для растворения загрязнителей

Б) Для увеличения смачиваемости частиц водой

В) Для улучшения прилипания загрязнителя к пузырьку воздуха

Г) Для нейтрализации кислот

3.4. Какое явление способствует образованию пузырьков газа при электрофлотации?

А) Нагревание электролита

Б) Электрохимические реакции на электродах с выделением водорода и кислорода

В) Кавитация

Г) Испарение воды

3.5. Сочетание флотации с коагуляцией позволяет...

А) Уменьшить расход электроэнергии

Б) Повысить эффект удаления мелкодисперсных и эмульгированных примесей
В) Полностью убрать растворенные соли
Г) Снизить ХПК до нуля

Тест к теме 4:

4.1. Какая из изотерм адсорбции описывает процесс на однородной поверхности с образованием монослоя?
А) Изотерма Фрейндлиха
Б) Изотерма Ленгмюра
В) Изотерма БЭТ
Г) Изотерма Генри

4.2. Какой материал чаще всего используют в качестве сорбента для глубокой очистки от органики?
А) Кварцевый песок
Б) Активный уголь
В) Полиэтилен
Г) Мраморная крошка

4.3. Что такое хемосорбция?
А) Поглощение с образованием химических связей между сорбентом и веществом
Б) Физическое удерживание молекул за счет сил Ван-дер-Ваальса
В) Растворение вещества в порах
Г) Фильтрация через слой песка

4.4. Какой метод регенерации активного угля предполагает нагревание до 800–900 °C?
А) Химическая регенерация
Б) Термическая регенерация
В) Паровая регенерация
Г) Биологическая регенерация

4.5. Для удаления каких загрязнителей сорбция наиболее эффективна?
А) Грубодисперсных взвесей
Б) Растворенных органических веществ (фенолы, нефтепродукты, ПАВ)
В) Ионов щелочных металлов
Г) Крупного песка

Тест к теме 5:

5.1. Какой мембранный процесс имеет самый малый размер пор и используется для опреснения воды?
А) Микрофильтрация
Б) Ультрафильтрация
В) Нанофильтрация
Г) Обратный осмос

5.2. Что такое концентрационная поляризация в мембранных процессах?
А) Увеличение скорости потока у мембраны
Б) Накопление задерживаемых веществ у поверхности мембраны, снижающее поток
В) Разрушение мембраны под давлением
Г) Изменение заряда мембраны

5.3. Как pH среды влияет на эффективность мембранного разделения?
А) Не влияет
Б) Влияет на растворимость и заряд веществ, а также на свойства самой мембраны
В) Влияет только на скорость потока
Г) Влияет только на температуру

5.4. Какая движущая сила используется в обратном осмосе?

А) Разность концентраций

Б) Электрический потенциал

В) Перепад давления, превышающий осмотическое давление

Г) Разность температур

5.5. Почему мембранные методы часто применяют для доочистки, а не для первичной очистки?

А) Из-за высокой стоимости и чувствительности к грубым механическим примесям

Б) Из-за низкой эффективности

В) Из-за сложности монтажа

Г) Из-за невозможности автоматизации

Тест к теме 6:

6.1. Какой процесс происходит на аноде при электрокоагуляции (с использованием железных или алюминиевых электродов)?

А) Выделение водорода

Б) Растворение металла с образованием гидроксидов

В) Окисление органики до CO_2

Г) Восстановление хлоридов

6.2. Какая реакция описывает окисление сероводорода озоном на первой стадии?

А) $H_2S + O_3 \rightarrow H_2O + SO_2$

Б) $H_2S + O_3 \rightarrow S\downarrow + O_2 + H_2O$

В) $3H_2S + O_3 \rightarrow 3S + 3H_2O$

Г) $H_2S + O_2 \rightarrow H_2O + S$

6.3. Какое преимущество дает совместное использование озона и ультрафиолета (УФ)?

А) Увеличивается температура воды

Б) Образуется гидроксильный радикал (•OH), обладающий высокой окислительной способностью

В) Снижается расход электроэнергии

Г) Упрощается конструкция

6.4. Какой реагент используется в Fenton-процессе для генерации активных радикалов?

А) Fe^{2+} и H_2O_2

Б) MnO_2 и H_2SO_4

В) NaClO и HCl

Г) CaO и CO_2

6.5. Что является основным недостатком электрохимических методов с точки зрения эксплуатации?

А) Невозможность автоматизации

Б) Высокий расход электроэнергии и расход растворимых анодов, а также образование осадка

В) Низкая эффективность при любых условиях

Г) Токсичность продуктов

Тест 7:

7.1. Какая комбинированная схема позволяет достичь максимальной степени очистки при минимальном воздействии на окружающую среду?

А) Только механическая очистка

Б) Электрохимическая обработка + сорбция

В) Хлорирование + отстаивание

Г) Коагуляция + фильтрация через песок

7.2. Какой экономический показатель позволяет сравнивать разные технологические схемы очистки?

А) Капитальные затраты (CAPEX)

Б) Эксплуатационные затраты (OPEX)

В) Приведенные затраты (CAPEX + OPEX с учетом дисконтирования)

Г) Только стоимость оборудования

Расчетная задача 7.3:

На очистной станции рассматриваются два варианта:

Вариант А: электрохимическая установка мощностью 100 м³/ч. CAPEX = 50 млн руб., OPEX = 5 млн руб./год.

Вариант Б: сорбционная установка на активном угле мощностью 100 м³/ч. CAPEX = 30 млн руб., OPEX = 8 млн руб./год.

Срок службы оборудования 10 лет, норма дисконта 10%. Каковы приведенные затраты (PV) для каждого варианта (приблизительно)?

Подсказка: Приведенные затраты = CAPEX + OPEX × коэффициент аннуитета (для 10 лет и 10% ≈ 6,14).

А) А ≈ 80,7 млн руб.; Б ≈ 79,1 млн руб. → Вариант Б выгоднее

Б) А ≈ 30 млн руб.; Б ≈ 50 млн руб.

В) А ≈ 55 млн руб.; Б ≈ 38 млн руб.

Г) А ≈ 100 млн руб.; Б ≈ 80 млн руб.

7.4. Что означает концепция Zero Liquid Discharge (ZLD) в контексте нефтехимии?

А) Полный сброс воды в реку

Б) Максимальное повторное использование воды и исключение жидких сбросов

В) Снижение объема воды на 50%

Г) Использование только дождевой воды

7.5. Какая статья затрат является значительной при эксплуатации сорбционных установок?

А) Затраты на электроэнергию для насосов

Б) Стоимость реагентов для регенерации и замена отработанного сорбента

В) Заработная плата операторов

Г) Амортизация зданий

7.6. Расчёт годовой экономии платы за сброс загрязнителей

Условие:

Расход сточных вод предприятия составляет 100 м³/ч. Содержание нефтепродуктов в исходной воде – 50 мг/л, после внедрения физико-химической очистки (коагуляция + флотация) концентрация снижается до 5 мг/л. Ставка платы за сброс 1 кг нефтепродуктов в пределах установленного лимита равна 1000 руб. Режим работы станции – круглосуточный, 365 дней в году.

Вопрос:

Какова годовая экономия платы за сброс (в рублях) за счёт снижения массы сбрасываемых нефтепродуктов?

Варианты ответов:

А) 39 400 руб.

Б) 394 000 руб.

В) 39 400 000 руб. (≈ 39,4 млн руб.)

Г) 394 000 000 руб. (≈ 394 млн руб.)

7.7. Какой из перечисленных факторов НЕ влияет на выбор оптимальной схемы очистки при технико-экономическом сравнении?

А) Требуемая степень очистки

Б) Площадь, занимаемая оборудованием

В) Цвет оборудования

Г) Стоимость утилизации осадка

7.8. Для комбинированной схемы «озонирование + сорбция» (окисорбция) характерно:

А) Увеличение общего времени очистки

Б) Снижение нагрузки на сорбент за счет частичной деструкции органики озоном и увеличение его срока службы

В) Обязательное использование больших доз хлора

Г) Отсутствие жидких отходов

7.9. Какая составляющая OPEX в электрохимических методах является наиболее весомой?

А) Затраты на электроэнергию

Б) Затраты на фильтровальную ткань

В) Затраты на активированный уголь

Г) Транспортные расходы

Расчетная задача 7.10:

Сравните два варианта доочистки воды (объем 1000 м³/сут):

1. Мембранный обратный осмос (капитальные затраты 20 млн руб., эксплуатационные 2 руб./м³, ресурс мембран 5 лет).
2. Сорбция на активном угле (капитальные затраты 8 млн руб., эксплуатационные 5 руб./м³, ресурс угля 1 год).

Определите годовые приведенные затраты (без учета дисконта) для каждого варианта. CAPEX распределяется равномерно на весь срок службы.

А) Обратный осмос: 20 млн/5 + 2×365×1000 = 4 млн + 0,73 млн = 4,73 млн руб./год; Сорбция: 8 млн + 5×365×1000 = 8 млн + 1,825 млн = 9,825 млн руб./год → обратный осмос выгоднее

Б) Обратный осмос: 4 млн руб./год; Сорбция: 8 млн руб./год

В) Обратный осмос: 0,73 млн; Сорбция: 1,825 млн

Г) Обратный осмос и сорбция примерно равны

ОТВЕТЫ (КЛЮЧИ)

Блок	Вопрос	Ответ	Пояснение
1	1.1	Б	ХПК — химическое потребление кислорода
1	1.2	Б	Фенолы, нефтепродукты, сульфиды — специфичны для нефтехимии
1	1.3	Б	20-200 мг/л по условиям программы
1	1.4	Б	Токсичность и поглощение кислорода
1	1.5	Б	Диспергированные, эмульгированные, растворенные
2	2.1	Б	Сульфат алюминия — классический коагулянт
2	2.2	Б	$FeCl_3 + 3H_2O \rightarrow Fe(OH)_3\downarrow + 3HCl$

Блок	Вопрос	Ответ	Пояснение
2	2.3	В	Цвет не влияет на процесс
2	2.4	Б	Флокулянты образуют крупные хлопья
2	2.5	А	Дана в тексте программы
3	3.1	Б	Смачиваемость и адгезия к пузырькам
3	3.2	В	Напорная флотация — основной метод в нефтехимии
3	3.3	В	Гидрофобизация улучшает прилипание
3	3.4	Б	Электролиз воды дает H_2 и O_2
3	3.5	Б	Синергетический эффект коагуляции и флотации
4	4.1	Б	Ленгмюра — монослой на однородной поверхности
4	4.2	Б	Активный уголь — универсальный сорбент
4	4.3	А	Хемосорбция — химическое взаимодействие
4	4.4	Б	Термическая регенерация при высоких температурах
4	4.5	Б	Сорбция эффективна для растворенной органики
5	5.1	Г	Обратный осмос — самый тонкий барьер
5	5.2	Б	Концентрационная поляризация — накопление слоя
5	5.3	Б	pH влияет на заряд молекул и мембраны
5	5.4	В	Обратный осмос использует давление > осмотического

Блок	Вопрос	Ответ	Пояснение
5	5.5	А	Высокая стоимость и забивание пор грубыми частицами
6	6.1	Б	Растворение анода — основа электрокоагуляции
6	6.2	В	$3H_2S + O_3 \rightarrow 3S + 3H_2O$ (первая стадия)
6	6.3	Б	Озон+УФ → гидроксильные радикалы (продвинутое окисление)
6	6.4	А	Fenton-реагент: $Fe^{2+} + H_2O_2$
6	6.5	Б	Высокий расход энергии и материалов электродов
7	7.1	Б	Электрохимия + сорбция — одна из лучших комбинаций
7	7.2	В	Приведенные затраты учитывают оба вида расходов
7	7.3	А	А: 50 + 5×6,14 = 80,7; Б: 30 + 8×6,14 = 79,12. Б чуть выгоднее
7	7.4	Б	ZLD — максимальное повторное использование воды
7	7.5	Б	Сорбенты дороги и требуют частой регенерации/замены
7	7.6	В	***Правильный расчёт (для самопроверки):*** 1. *Снижение концентрации: 50 – 5 = 45 мг/л = 45 г/м³ = 0,045 кг/м³.* 2. *Годовой объём сточных вод: 100 м³/ч × 24 ч/сут × 365 сут/год = 876 000 м³/год.* 3. *Масса удалённых нефтепродуктов за год: 0,045 кг/м³ × 876 000 м³/год = 39 420 кг/год.* 4. *Экономия платы: 39 420 кг × 1000 руб./кг = 39 420 000 руб./год ≈* ***39,4 млн руб.***

Блок	Вопрос	Ответ	Пояснение
7	7.7	В	Цвет оборудования не влияет на экономику и эффективность
7	7.8	Б	Окисорбция снижает нагрузку на сорбент
7	7.9	А	Электрохимия — энергоемкий процесс
7	7.10	А	Расчет: обратный осмос = 20/5 + 2×0,365 = 4 + 0,73 = 4,73; сорбция = 8 + 5×0,365 = 8 + 1,825 = 9,825

Критерии оценивания

зачёт	**незачёт**
Правильных ответов ≥ 3	Правильных ответов < 2

Форма итоговой аттестации:
зачёт (собеседование) с защитой отчётов по лабораторным работам и тест. После успешного освоения программы слушатели получают удостоверение о прохождении ПК.

Лабораторная работа 1 «Определение оптимальной дозы коагулянта и pH для очистки модельной нефтесодержащей сточной воды методом статического отстаивания» (3 часа).

Цель: экспериментально подобрать дозу коагулянта ($Al_2(SO_4)_3$ или $FeCl_3$) и pH, обеспечивающие максимальное снижение мутности и остаточного содержания нефтепродуктов в модели сточной воды.

Оборудование и посуда:

магнитная мешалка с регулировкой оборотов (или несколько одинаковых магнитных мешалок);
химические стаканы на 250–400 мл — 6–8 шт.;
мерные цилиндры на 100 и 500 мл;
пипетки или бюретки для дозирования растворов;
pH-метр или универсальная индикаторная бумага;
фотоколориметр / спектрофотометр (для определения мутности или оптической плотности);
воронки, фильтровальная бумага, конические колбы;
секундомер.

Реактивы и материалы:

модельная сточная вода: водопроводная вода + дизельное топливо (или машинное масло) + эмульгатор (например, ОП-10 или мыло) — концентрация нефтепродуктов 50–100 мг/л;
раствор коагулянта $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$ или $FeCl_3 \cdot 6H_2O$ с концентрацией 10–20 г/л;
раствор флокулянта — полиакриламид (ПАА) 0,1–0,5 %;
растворы NaOH и H_2SO_4 (0,1 М) для корректировки pH;
дистиллированная вода.

Ход работы:

1. Приготовление модельной воды. В 5 л водопроводной воды внести 0,25–0,5 г дизельного топлива и 0,05 г эмульгатора, интенсивно перемешать 10–15 мин до образования устойчивой эмульсии. Определить исходные показатели: pH, мутность (или оптическую плотность), концентрацию нефтепродуктов (по методике анализа).

Серия опытов. В 6 стаканов налить по 250 мл модельной воды. Установить одинаковую скорость перемешивания на магнитных мешалках (например, 200–300 об/мин).

2. Варьирование дозы коагулянта. В каждый стакан внести разные дозы $Al_2(SO_4)_3$: 0, 5, 10, 20, 40, 60 мг/л (по товарному продукту). Перемешивать быстро 1–2 мин, затем медленно (40–60 об/мин) 15 мин. Отключить мешалки, дать отстояться 20–30 мин.

3. Отбор проб. Аккуратно отобрать верхний слой (на глубине 2–3 см от поверхности) и определить остаточную мутность/оптическую плотность фотометрическим методом и pH с использованием pH-метра.

4. Выбор оптимальной дозы. Построить график зависимости эффективности очистки (например, по снижению мутности) от дозы (концентрации) коагулянта. Выбрать дозу, дающую максимальный эффект.

5. Варьирование pH. При оптимальной дозе коагулянта провести аналогичную серию при pH 5, 6, 7, 8, 9 (корректируя $NaOH/H_2SO_4$). Определить оптимальный pH.

6. Проверка флокулянта (по желанию). При оптимальных дозе и pH добавить ПАА в дозах 0,1–1,0 мг/л, сравнить эффективность осветления и скорость осаждения хлопьев.

7. Оформление отчёта. Включить таблицы, графики, расчёт эффективности очистки по формуле:

$E=(C_{исх}-C_{ост})/(C_{исх}) \times 100\%$

где Сисх, С ост— концентрация (мутность) нефтепродуктов до и после очистки.

Ожидаемые результаты:

определяется оптимальная доза коагулянта и pH;

оценивается вклад флокулянта;

формируются навыки построения графиков «доза–эффект» и интерпретации результатов.

Связь с компетенциями

ОПК-1, ОПК-4, ОПК-5;

умение выбирать реагенты и оптимизировать pH;

расчёт доз и оценка эффективности.

Критерии оценивания лабораторной работы 1

зачёт	**незачёт**
лабораторная работа выполнена, ожидаемые результаты достигнуты в полном объеме.	лабораторная работа не выполнена и (или) ожидаемые результаты не достигнуты или достигнуты частично

Лабораторная работа 2 «Сравнение сорбционной и окислительной очистки модельных растворов от органических загрязнителей (на примере фенола или красителя)» (3 часа)

Цель: сравнить эффективность адсорбции на активном угле и окисления реагентом Фентона (или H_2O_2/Fe^{2+}) для удаления органического загрязнителя из водного раствора.

Оборудование и посуда:

магнитные мешалки или шейкер;

конические колбы на 250 мл — 8–10 шт.;

пипетки, бюретки, мерные цилиндры;

pH-метр;

фотоколориметр / спектрофотометр;

воронки, фильтровальная бумага, бумажные фильтры «синяя лента»;

термостат или водяная баня (для окисления при заданной температуре).

Реактивы и материалы:

модельный раствор фенола с концентрацией 10–50 мг/л (или раствор метиленового синего 20–50 мг/л, если работа с фенолом нежелательна);

активированный уголь (БАУ, ДАК, гранулированный) — фракция 0,5–2 мм;

$FeSO_4 \cdot 7H_2O$, 0,1 М раствор;

H_2O_2 30 %;

NaOH и H_2SO_4 0,1 М;

4-аминоантипирин, $K_3[Fe(CN)_6]$, NH_4OH — для фотометрического определения фенола (или готовый набор реактивов);

дистиллированная вода.

Ход работы:

Часть А. Адсорбция на активном угле

Приготовить серию растворов фенола (или красителя) с концентрациями 5, 10, 20, 30, 50 мг/л. Определить оптическую плотность на фотоколориметре и построить калибровочный график.

В 6 колб внести по 100 мл модельного раствора с концентрацией 30 мг/л. Добавить навески активного угля: 0, 0,1, 0,2, 0,5, 1,0, 2,0 г.

Перемешивать на магнитной мешалке или шейкере 40–60 мин при комнатной температуре.

Отфильтровать пробы через бумажный фильтр, определить остаточную концентрацию загрязнителя фотометрически.

Рассчитать удельную адсорбцию (А, моль/г):

A=((C исх -C равн) × V)/m где V — объём раствора, л; m — масса сорбента, г.

Построить изотерму адсорбции в координатах A=f(C равн) и, при необходимости, линеаризовать её в координатах Лэнгмюра или Фрейндлиха.

Часть Б. Окисление реагентом Фентона

В 4 колбы внести по 100 мл модельного раствора с концентрацией 30 мг/л.

Добавить $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ из расчёта 0,1–0,5 г/л и H_2O_2 из расчёта 1–5 г/л. Перемешать.

Корректировать pH до 3–4 (оптимум для Фентона). Перемешивать 30–60 мин.

По окончании окисления нейтрализовать раствор до pH 7–8, отфильтровать осадок гидроксида железа.

Определить остаточную концентрацию загрязнителя фотометрически.

Рассчитать эффективность окисления: E=(C_исх-C_ост)/C_исх 100%

E=Сисх−СостСисх·100%E=СисхСисх−Сост·100%

Часть В. Сравнение и выводы

Сравнить эффективность адсорбции и окисления при одинаковой исходной концентрации.

Оценить расход сорбента и реагентов.

Сделать вывод о целесообразности комбинированной схемы «окисление + сорбция» (окисорбция).

Ожидаемые результаты:

определяются сорбционные характеристики активного угля;

оценивается эффективность Фентон-окисления;

формируется понимание преимуществ и ограничений каждого метода.

Связь с компетенциями

ОПК-1, ОПК-4, ОПК-5, УК-3;

умение интерпретировать изотермы адсорбции;

расчёт доз окислителя и оценка эффективности.

Критерии оценивания лабораторной работы 2

зачёт	незачёт
лабораторная работа выполнена, ожидаемые результаты достигнуты в полном объеме.	лабораторная работа не выполнена и (или) ожидаемые результаты не достигнуты или достигнуты частично

КОМПЬЮТЕРНЫЙ ТЕСТ ИТОГОВОГО КОНТРОЛЯ (20 вопросов)
Тест охватывает все 7 тем, включает теоретические вопросы и расчётные задачи по экономике. Правильные ответы выделены жирным.

1. Какой показатель наиболее полно характеризует общее содержание органических загрязнителей в сточной воде?
А) $БПК_5$
Б) ХПК
В) pH
Г) Жёсткость

2. Какие из перечисленных веществ являются приоритетными загрязнителями сточных вод нефтехимических предприятий?
А) Только взвешенные вещества
Б) Нефтепродукты, фенолы, сульфиды, меркаптаны
В) Ионы натрия и калия
Г) Радионуклиды

3. В каком интервале концентраций обычно находятся фенолы в сточных водах нефтехимии?
А) 0,1–0,5 мг/л
Б) 20–200 мг/л
В) 1000–5000 мг/л
Г) 5–10 мг/л

4. Какая реакция описывает гидролиз сульфата алюминия при коагуляции?
А) $Al_2(SO_4)_3 + 6H_2O \rightarrow 2Al(OH)_3\downarrow + 3H_2SO_4$
Б) $Al_2(SO_4)_3 + 6NaOH \rightarrow 2Al(OH)_3 + 3Na_2SO_4$
В) $Al_2(SO_4)_3 \rightarrow 2Al^{3+} + 3SO_4^{2-}$
Г) $Al_2(SO_4)_3 + H_2O \rightarrow Al_2O_3 + H_2SO_4$

5. Какую функцию выполняют флокулянты (полиакриламид) в процессе очистки?
А) Изменяют pH среды
Б) Укрупняют хлопья коагулянта, ускоряя осаждение
В) Растворяют нефтепродукты
Г) Обеззараживают воду

6. Физическая основа флотации – это:
А) Разная плотность частиц
Б) Разная смачиваемость частиц и их способность прилипать к пузырькам газа
В) Диффузия через мембрану
Г) Ионный обмен

7. Какой вид флотации наиболее эффективен для удаления эмульгированных нефтепродуктов?
А) Механическая

Б) Пневматическая
В) Напорная
Г) Пенная

8. Какая изотерма адсорбции описывает процесс на однородной поверхности с образованием мономолекулярного слоя?
А) Изотерма Фрейндлиха
Б) Изотерма Ленгмюра
В) Изотерма БЭТ
Г) Изотерма Генри

9. Какой метод регенерации активного угля предполагает нагревание до 800–900 °C без доступа воздуха?
А) Химическая регенерация
Б) Термическая регенерация
В) Паровая регенерация
Г) Биологическая регенерация

10. Какой мембранный процесс обеспечивает наиболее глубокую очистку (задерживает ионы солей)?
А) Микрофильтрация
Б) Ультрафильтрация
В) Нанофильтрация
Г) Обратный осмос

11. Концентрационная поляризация в мембранных процессах – это:
А) Увеличение скорости потока у мембраны
Б) Накопление задерживаемых веществ у поверхности мембраны, снижающее производительность
В) Разрушение мембраны под давлением
Г) Изменение заряда мембраны

12. Какой процесс происходит на аноде при электрокоагуляции с железными электродами?
А) Выделение водорода
Б) Растворение железа с образованием $Fe(OH)_3$
В) Окисление органики до CO_2
Г) Восстановление хлоридов

13. Какая реакция описывает первую стадию окисления сероводорода озоном?
А) $H_2S + O_3 \rightarrow H_2O + SO_2$
Б) $3H_2S + O_3 \rightarrow 3S + 3H_2O$
В) $H_2S + O_3 \rightarrow H_2SO_4$
Г) $H_2S + O_2 \rightarrow H_2O + S$

14. Какое преимущество даёт сочетание озона с ультрафиолетовым облучением?
А) Увеличивается температура воды
Б) Образуются гидроксильные радикалы (•OH) с высокой окислительной способностью
В) Снижается расход электроэнергии
Г) Упрощается конструкция установки

15. Какой реагент используется в Fenton-процессе?

А) Fe^{2+} и H_2O_2
Б) MnO_2 и H_2SO_4
В) NaClO и HCl
Г) CaO и CO_2

16. Какая комбинированная схема позволяет достичь максимальной степени очистки и минимизировать сбросы?
А) Механическая очистка + хлорирование
Б) Электрохимическая обработка + сорбция
В) Коагуляция + фильтрация через песок
Г) Отстаивание + флотация

17. Что означает концепция Zero Liquid Discharge (ZLD) в нефтехимии?
А) Полный сброс воды в водоём
Б) Максимальное повторное использование воды и исключение жидких сбросов
В) Сокращение объёма воды на 50%
Г) Использование только дождевой воды

18. Расчётная задача (экономика).
На станции очистки рассматриваются два варианта:
- Вариант А: электрохимическая установка, CAPEX = 60 млн руб., OPEX = 6 млн руб./год.
- Вариант Б: сорбционная установка, CAPEX = 40 млн руб., OPEX = 9 млн руб./год.

Срок службы – 10 лет, норма дисконта – 10% (коэффициент аннуитета ≈ 6,14).
Определите приведённые затраты (PV) для каждого варианта и выберите экономически более выгодный.
А) А ≈ 96,8 млн руб.; Б ≈ 95,3 млн руб. → выгоднее Б
Б) А ≈ 60 млн руб.; Б ≈ 40 млн руб.
В) А ≈ 96,8 млн руб.; Б ≈ 95,3 млн руб. → выгоднее Б
Г) А ≈ 66 млн руб.; Б ≈ 49 млн руб.
Решение:
А: PV = 60 + 6×6,14 = 60 + 36,84 = 96,84 млн руб.
Б: PV = 40 + 9×6,14 = 40 + 55,26 = 95,26 млн руб. → Б выгоднее.

19. Расчётная задача (экономия платы за сброс).
Расход сточных вод – 150 м³/ч. Исходная концентрация нефтепродуктов – 80 мг/л, после очистки – 4 мг/л. Ставка платы за сброс 1 кг нефтепродуктов – 1200 руб. Режим работы – 24/7, 365 дней. Какова годовая экономия платы?
А) ≈ 1 200 000 руб.
Б) ≈ 12 000 000 руб.
В) ≈ 119 800 000 руб.
Г) ≈ 1 198 000 000 руб.
Решение:
Снижение концентрации = 80 – 4 = 76 мг/л = 0,076 кг/м³.
Годовой объём = 150 × 24 × 365 = 1 314 000 м³.
Масса = 0,076 × 1 314 000 = 99 864 кг.
Экономия = 99 864 × 1200 = 119 836 800 ≈ 119,8 млн руб. → вариант В.

20. Расчётная задача (выбор технологии по годовым затратам).
Для доочистки воды (объём 2000 м³/сут) сравниваются:
1. Обратный осмос: CAPEX = 30 млн руб., OPEX = 3 руб./м³, ресурс мембран – 5 лет.
2. Сорбция: CAPEX = 12 млн руб., OPEX = 6 руб./м³, ресурс угля – 1 год.

Определите годовые приведённые затраты (без дисконтирования) и выберите более экономичный вариант.
А) Обратный осмос: 6 млн + 2,19 млн = 8,19 млн руб./год; Сорбция: 12 млн + 4,38 млн = 16,38 млн руб./год → обратный осмос выгоднее
Б) Обратный осмос: 30/5 = 6 млн; Сорбция: 12 млн
В) Обратный осмос: 3×0,73=2,19 млн; Сорбция: 6×0,73=4,38 млн
Г) Обратный осмос: 6 млн + 2,19 млн = 8,19 млн; Сорбция: 12 млн + 4,38 млн = 16,38 млн → обратный осмос выгоднее
Решение:
Годовой объём = 2000 м³/сут × 365 = 730 000 м³/год.
Обратный осмос: CAPEX/год = 30/5 = 6 млн; OPEX = 3×730 000 = 2,19 млн; Итого = 8,19 млн.
Сорбция: CAPEX/год = 12/1 = 12 млн; OPEX = 6×730 000 = 4,38 млн; Итого = 16,38 млн. → обратный осмос дешевле.

Ключи к тесту:
1-Б, 2-Б, 3-Б, 4-А, 5-Б, 6-Б, 7-В, 8-Б, 9-Б, 10-Г, 11-Б, 12-Б, 13-Б, 14-Б, 15-А, 16-Б, 17-Б, 18-В, 19-В, 20-А (или Г – в вариантах ответа А и Г одинаковы, но по смыслу правильный вариант А).

Материально-технические условия реализации программы:
Учебная аудитория, оснащённая мультимедийным проектором, экраном, компьютером с выходом в Интернет, маркерной доской. Лабораторный практикум оснащается оборудованием и реактивами согласно перечням, указанным в лабораторных работах. Предусмотрено использование электронных образовательных ресурсов и виртуальных лабораторных стендов для дистанционной подготовки к очным лабораторным занятиям.

Электронные ресурсы программы:
Электронный курс в системе дистанционного обучения РУДН, содержащий лекционные материалы (презентации, видео-лекции), тесты для самоконтроля и текущего контроля, задания для самостоятельной работы, методические указания к выполнению лабораторных работ, виртуальные лабораторные работы (симуляторы процессов коагуляции, флотации, адсорбции) (будет создан к моменту набора группы). Доступ к научным и нормативно-техническим материалам через электронную библиотечную систему РУДН.

Рекомендуемая литература:

1. ВНТП 25-79. Нормы технологического проектирования производственного водоснабжения, канализации и очистки сточных вод предприятий нефтеперерабатывающей и нефтехимической промышленности.
2. Информационно-технический справочник по наилучшим доступным технологиям. Переработка нефти (ИТС 30-2021). – М.: Бюро НДТ, 2021.
3. Максимова, Т. А. Экология гидросферы: учебник для вузов / Т. А. Максимова, И. В. Мишаков. — Москва : Издательство Юрайт, 2026. — 136 с. — (Высшее образование). — ISBN 978-5-534-13017-1. — Текст : электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. — URL: https://urait.ru/bcode/588155 (дата обращения: 16.09.2026).
4. Очистка производственных сточных вод / С.В. Яковлев, Ю.В. Воронов – М.: Стройиздат, 2018.
5. Стахов Е.А. Очистка нефтесодержащих сточных вод предприятий хранения и транспорта нефтепродуктов. – Л.: Недра, 1983. – 263 с.

6. Химические и физико-химические способы очистки сточных и техногенных вод / под ред. – СПб.: СПбПУ, 2019.
7. Физико-химические методы очистки сточных вод: проблемы, современное состояние и возможные пути усовершенствования / А.П. Вертинский – Иркутск: ИрНИТУ, 2021.
8. Физико-химические методы в технологии водоподготовки и очистки сточных вод / М.А. Зильберглейт, М.В. Попова – Минск: БГТУ, 2020.

УЧЕБНЫЙ ПЛАН
ДОПОЛНИТЕЛЬНОЙ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ
повышения квалификации
«Повышение эффективности систем очистки сточных вод нефтеперерабатывающих и нефтехимических предприятий»

№ п/п	Наименование разделов, модулей, тем	Всего, ак.ч.	в том числе			
			лекции	практические, лабораторные, семинарские	самостоя-тельная работа	форма контроля
1	Тема 1. Состав, источники образования и классификация сточных вод нефтехимических предприятий	2	2	-	-	тест
2	Тема 2. Физико-химические основы процессов коагуляции и флокуляции	4	2		2	тест
3	Тема 3. Флотация как метод очистки сточных вод	5	2	3	-	тест
4	Тема 4. Сорбционные методы очистки	5	2	3	-	тест
5	Тема 5. Мембранные методы разделения	2	2	-	-	тест
6	Тема 6. Электрохимические и окислительные методы	2	2	-	-	тест
7	Тема 7. Комбинированные технологии и выбор оптимальных схем очистки	2	2	-	-	тест
Итоговый контроль		2	-	-	2	Беседа с защитой лабораторных работ и тест

№ п/п	Наименование разделов, модулей, тем	Всего, ак.ч.	в том числе			
			лекции	практические, лабораторные, семинарские	самостоя-тельная работа	форма контроля
Итого часов		24	14	6	4	

Зав.каф.органической химии,

Д.х.н., профессор

подпись

Воскресенкий Л.Г.

ФИО

УЧЕБНО-ТЕМАТИЧЕСКИЙ ПЛАН ДОПОЛНИТЕЛЬНОЙ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ
(программы повышения квалификации)

«Повышение эффективности систем очистки сточных вод нефтеперерабатывающих и нефтехимических предприятий»

№ п/п	Наименование разделов, модулей, тем	Всего, ак.ч.	в том числе			
			Лекции	Прктические, лабораторные, семинарские	Самостоятельная работа	Форма контроля
1	Тема 1. Состав, источники образования и классификация сточных вод нефтехимических предприятий	2	2	0	0	тест
1.1	Источники образования и объёмы сточных вод на различных стадиях нефтехимического производства	1	1	0	0	
1.2	Классификация загрязнителей: нефтепродукты, фенолы, сульфиды, меркаптаны, органические кислоты, альдегиды, аммиак, тяжёлые металлы	1	1	0	0	
	Тема 2. Физико-химические основы процессов коагуляции и флокуляции	2	2	0	0	тест

2.1	Теория устойчивости коллоидных систем. Механизмы коагуляции и флокуляции	1	1	0	0	
2.2	Химия гидролиза коагулянтов. Реакции гидролиза сульфата алюминия и хлорного железа. Факторы эффективности коагуляции	1	1	0	0	
	Тема 3. Флотация как метод очистки сточных вод	2	2	0	0	тест
3.1	Физико-химические основы флотации. Виды флотации	1	1	0	0	
3.2	Применение флотации в нефтехимии. Комбинированные схемы с реагентной обработкой	1	1	0	0	
	Тема 4. Сорбционные методы очистки	2	2	0	0	тест
4.1	Теоретические основы адсорбции. Изотермы адсорбции. Типы сорбентов	1	1	0	0	
4.2	Применение сорбции для глубокой	1	1	0	0	

	очистки. Регенерация сорбентов					
	Тема 5. Мембранные методы разделения	2	2	0	0	тест
5.1	Физико-химические основы мембранного разделения. Классификация мембранных процессов	1	1	0	0	
5.2	Применение мембранных технологий в нефтехимии	1	1	0	0	
	Тема 6. Электрохимические и окислительные методы	2	2	0	0	тест
6.1	Электрокоагуляция и электрофлотация	1	1	0	0	
6.2	Окислительные методы (озонирование, Fenton-процесс). Химия окисления сероводорода, цианидов, фенолов	1	1	0	0	
	Тема 7. Комбинированные технологии и выбор оптимальных схем очистки	2	2	0	0	тест
7.1	Анализ эффективности	1	1	0	0	

	методов. Гибридные схемы					
7.2	Принципы проектирования. Технико-экономическое сравнение вариантов	1	1	0	0	
	Лабораторная работа №1. **«Определение оптимальной дозы коагулянта и pH для очистки модельной нефтесодержащей сточной воды методом статического отстаивания»**	3	0	3	0	защита отчёта
1	Приготовление модельной сточной воды. Определение исходных показателей	0,5	0	0,5	0	
2	Проведение серии опытов с варьированием доз коагулянта, флокулянта (по желанию), pH раствора.	1,5	0	1,5	0	
3	Анализ проб. Построение графиков. Определение оптимальных доз. Составление отчета.	1	0	1	0	

	Лабораторная работа №2. **«Сравнение сорбционной и окислительной очистки модельных растворов от органических загрязнителей (на примере фенола или красителя)»**	3	0	3	0	защита отчёта
1	Адсорбция – приготовление растворов, проведение статической адсорбции активированным углем, построение изотермы	1,5	0	1,5	0	
2	Окисление реактивом Фентона, расчет эффективности.	1	0	1	0	
3	Оформление отчётов по лабораторным работам	0,5	0	0,5	0	
	Самостоятельная работа	2	0	0	2	
Итоговый контроль (зачёт)		2	0	0	2	Зачёт (тест)

Итого часов	24		14	6	4	

Руководитель программы,
должность:
Зав.каф.органической химии,

Д.х.н., профессор



подпись

Воскресенский Л.Г.

ФИО

КАЛЕНДАРНЫЙ УЧЕБНЫЙ ГРАФИК
ДОПОЛНИТЕЛЬНОЙ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ
(программы повышения квалификации/ программы профессиональной переподготовки)
«Химические основы очистки сточных вод предприятий текстильной отрасли»

Объем программы: 24 академических часов

Форма обучения / применение ДОТ: Очно-заочная с применением ДОТ

Срок обучения: единовременно в период с 01.00.2026 по 05.00.2026

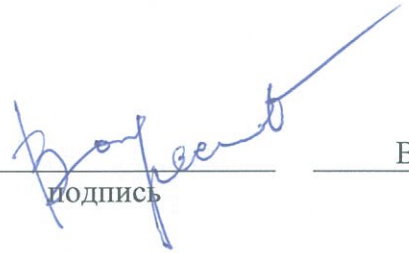
(Образовательный процесс может осуществляться в течение всего года. Занятия проводятся по мере комплектования групп)

№ п/п	Наименование разделов, модулей, семестров, курсов	Всего, ак.ч.	в том числе по календарным периодам, ак.ч.				
			1 день	2 день	3 день	4 день	5 день
1	Тема 1. Состав, источники образования и классификация сточных вод	2	2				
2	Тема 2. Физико-химические основы процессов коагуляции и флокуляции	2	2				
3	Тема 3. Флотация как метод очистки сточных вод	2		2			
4	Тема 4. Сорбционные методы очистки	2		2			
5	Тема 5. Мембранные методы разделения	2			2		
	Тема 6. Электрохимические и окислительные методы	2			2		
	Тема 7. Комбинированные технологии и выбор оптимальных схем очистки	2			2		
	Лабораторная работа №1. «Определение оптимальной дозы коагулянта и pH для очистки	3				3	

	модельной нефтесодержащей сточной воды методом статического отстаивания»						
	Лабораторная работа №2. «Сравнение сорбционной и окислительной очистки модельных растворов от органических загрязнителей (на примере фенола или красителя)»	3					3
	Самостоятельная работа					1	1
Итоговая аттестация (зачёт)		2					2
Итого часов		24					

Руководитель программы,
должность:
Зав.каф.органической химии,

Д.х.н., профессор



подпись

Воскресенский Л.Г.
ФИО

Примеры задач кейса:

«Расчёт доз коагулянта по стехиометрии»

Задача № 1. Расчёт дозы сульфата алюминия для удаления фосфатов

Условие:
На очистную станцию поступает сточная вода текстильного производства с содержанием фосфат-ионов (PO_4^{3-}) 12 мг/л (в пересчёте на P). Для удаления фосфора методом коагуляции используется сульфат алюминия $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$. Известно, что в рабочем диапазоне pH (6,5–7,5) алюминий связывает фосфат по реакции:

$$Al^{3+} + H_2PO_4^- \rightarrow AlPO_4\downarrow + 2H^+$$

(с учётом того, что фосфат существует преимущественно в форме $H_2PO_4^-$).

Вопросы:

1. Рассчитайте стехиометрическую дозу $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$ (в мг/л) для полного связывания всего фосфора.
2. Какое количество осадка $AlPO_4$ (в мг/л) образуется при этом?
3. Почему на практике дозу коагулянта часто берут с избытком (например, в 1,5–2 раза)? Укажите не менее двух причин.

Справочные данные:
M(P) = 31 г/моль, M(Al) = 27 г/моль, $M(Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O)$ = 666 г/моль, $M(AlPO_4)$ = 122 г/моль.

Краткое решение / ответ:

- Содержание P = 12 мг/л → n(P) = 12/31 = 0,387 ммоль/л.
- По реакции 1 моль Al^{3+} связывает 1 моль фосфата → $n(Al^{3+})$ = 0,387 ммоль/л.
- В 1 моль $Al_2(SO_4)_3$ содержится 2 моль Al^{3+} → n(соли) = 0,387/2 = 0,1935 ммоль/л.
- Масса соли = 0,1935·666 = 128,9 мг/л (стехиометрическая доза).
- Масса $AlPO_4$ = 0,387·122 = 47,2 мг/л.
- Избыток необходим из-за конкурирующих реакций (гидролиз, связывание с другими анионами, неполное протекание реакции) и для обеспечения хорошей флокуляции.

Задача № 2. Подбор дозы коагулянта по щёлочности воды

Условие:
Для очистки воды от взвешенных веществ используется $FeCl_3 \cdot 6H_2O$. Процесс гидролиза идёт по упрощённой реакции:

$$FeCl_3 + 3H_2O \rightarrow Fe(OH)_3\downarrow + 3HCl$$

Образующаяся кислота нейтрализуется естественной щёлочностью воды (HCO_3^-).

Известно, что щёлочность исходной воды составляет 2,5 мг-экв/л (по $CaCO_3$). Для эффективной коагуляции необходимо, чтобы после добавления коагулянта pH оставался в диапазоне 6,5–7,5. Если щёлочность недостаточна, добавляют известь $Ca(OH)_2$.

Вопросы:

1. Какое количество $FeCl_3 \cdot 6H_2O$ (в мг/л) можно добавить, не снижая pH ниже допустимого (т.е. не расходуя всю щёлочность)? Примите, что для поддержания pH требуется сохранить не менее 20% исходной щёлочности.
2. Если требуемая доза коагулянта по результатам пробного коагулирования составляет 150 мг/л (по товарному продукту), сколько $Ca(OH)_2$ (в мг/л) необходимо дополнительно ввести для нейтрализации выделяющейся кислоты? Напишите уравнение реакции нейтрализации.

Справочные данные:
$M(FeCl_3 \cdot 6H_2O) = 270,5$ г/моль; эквивалентная масса $FeCl_3$ по реакции гидролиза (как 3-основной кислоты) – $270,5/3 \approx 90,2$ г/экв.
Щёлочность измеряется в мг-экв/л $CaCO_3$ (1 мг-экв/л = 50 мг/л $CaCO_3$).

Краткое решение / ответ:

- Доступная щёлочность для нейтрализации: 80% от 2,5 = 2,0 мг-экв/л.
- 1 мг-экв $FeCl_3$ требует 1 мг-экв щёлочности (по реакции 1 моль $FeCl_3$ даёт 3 моль HCl, т.е. 3 экв).
- Максимальное количество $FeCl_3$ = 2,0 мг-экв/л · 90,2 г/экв = 180,4 мг/л (по безводной соли) или ≈ 180 мг/л.
- Если требуется доза 150 мг/л – она допустима (меньше 180). Если бы требовалось 200 мг/л, то недостаток щёлочности = (200 – 180,4)/90,2 = 0,217 мг-экв/л. Для нейтрализации требуется такое же количество $Ca(OH)_2$ (эквивалентная масса $Ca(OH)_2$ = 74/2 = 37 г/экв). Масса $Ca(OH)_2$ = 0,217·37 = 8,0 мг/л.
  (В данной задаче доза 150 мг/л не требует добавки извести.)

«Реакция Фентона. Расчет количества окислителя»

Задача № 1. Расчёт необходимого H_2O_2 для обесцвечивания раствора красителя

Условие:
Для обесцвечивания сточной воды, содержащей азокраситель, применяют реакцию Фентона. Известно, что для полной деструкции 1 моль красителя (молекулярная масса 350 г/моль) требуется 10 моль гидроксильных радикалов (OH•). В реакционной системе OH• генерируются по реакции:

$Fe^{2+}+H_2O_2 \rightarrow Fe^{3+}+OH^-+OH•$

(стехиометрия: 1 моль H_2O_2 даёт 1 моль OH•).

Вопросы:

1. Рассчитайте, сколько граммов 30%-ного раствора H_2O_2 (пергидроля) необходимо добавить на 1 м³ сточной воды, если концентрация красителя составляет 50 мг/л.
2. Какое количество $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ (в мг/л) нужно ввести, чтобы обеспечить стехиометрическое количество Fe^{2+} для генерации OH• (считая, что железо не расходуется в других побочных реакциях)?
3. Почему в реальных условиях дозу H_2O_2 берут с избытком? Назовите не менее двух факторов.

Справочные данные:
$M(H_2O_2) = 34$ г/моль; плотность 30%-ного раствора ≈ 1,11 г/мл; $M(FeSO_4 \cdot 7H_2O) = 278$ г/моль.

Краткое решение / ответ:

- Концентрация красителя: 50 мг/л = 50 г/м³.
- n(красителя) на 1 м³ = 50/350 = 0,1429 моль.
- Требуется OH• = 0,1429·10 = 1,429 моль → столько же H_2O_2 (по реакции) = 1,429 моль.
- Масса 100% H_2O_2 = 1,429·34 = 48,6 г.
- Масса 30% раствора = 48,6/0,30 ≈ 162 г (или ≈ 146 мл, т.к. плотность 1,11 г/мл).
- Количество Fe^{2+} = 1,429 моль → масса $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ = 1,429·278 ≈ 397 г на 1 м³ = 397 мг/л.
- Избыток H_2O_2 необходим из-за разложения H_2O_2 на O_2 и H_2O (каталитическое), конкурирующего расхода OH• с другими органическими веществами, а также для поддержания окислительного потенциала.

Задача № 2. Расчёт дозы Фентон-реагента по ХПК

Условие:
На очистку поступает сточная вода с ХПК (химическое потребление кислорода) = 600 мг O_2/л. Для снижения ХПК применяется реакция Фентона. Принимаем, что 1 мг O_2 эквивалентен 1 мг органического вещества (условно). Окисление органики гидроксильными радикалами идёт по суммарной реакции:

Органика+$OH^{\bullet}$$\rightarrow$$CO_2$+$H_2O$+минеральные продукты Для полного окисления 1 г органики (в пересчёте на O_2) требуется около 2 г H_2O_2 (стехиометрическое соотношение). Однако в реакционной системе эффективность использования H_2O_2 составляет примерно 60% (т.е. только 60% H_2O_2 превращается в $OH^{\bullet}$, остальное расходуется бесполезно).

Вопросы:

1. Рассчитайте теоретическую дозу H_2O_2 (в мг/л) для полного удаления ХПК.
2. С учётом эффективности 60% определите реальную дозу H_2O_2 (в мг/л) и массу 50%-ного раствора H_2O_2 (в мл на 1 $м^3$), если плотность раствора 1,18 г/мл.
3. Какое количество Fe^{2+} (в мг/л) нужно добавить, если молярное соотношение Fe^{2+}:H_2O_2 составляет 1:5 (т.е. на 5 моль H_2O_2 берут 1 моль Fe^{2+})? Используйте $FeSO_4 \cdot 7H_2O$.

Краткое решение / ответ:

- ХПК = 600 мг O_2/л = 0,6 г O_2/л. По стехиометрии на 1 г O_2 (эквивалент органики) требуется 2 г H_2O_2 (теоретически).
- Теоретическая доза H_2O_2 = 600·2 = 1200 мг/л = 1,2 г/л.
- С учётом эффективности 60%: реальная доза = 1,2 / 0,6 = 2,0 г/л = 2000 мг/л.
- Масса 50% раствора на 1 $м^3$: 2000 г / 0,5 = 4000 г = 4 кг; объём = 4000 / 1,18 ≈ 3390 мл ≈ 3,39 л.
- n(H_2O_2) = 2000/34 = 58,82 ммоль/л. n(Fe^{2+}) = 58,82/5 = 11,76 ммоль/л.
- Масса $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ = 11,76·278 = 3270 мг/л ≈ 3,27 г/л.

Итоговый тест (20 вопросов)

№	Вопрос	Тип	Сложность	Баллы
1	**Какой класс красителей содержит хромофорную азогруппу (–N=N–) и наиболее часто используется для окраски хлопка?** А) Кубовые Б) Реактивные В) Азокрасители Г) Дисперсные	Теория	Средняя	1
2	**При гидролизе $Al_2(SO_4)_3$ в воде при pH = 5 преобладающей формой является:** А) $[Al(H_2O)_6]^{3+}$ Б) $[Al(OH)]^{2+}$ В) $[Al_2(OH)_2]^{4+}$ Г) $Al(OH)_3$ (осадок)	Теория	Средняя	1
3	**Рассчитайте дозу безводного $Al_2(SO_4)_3$ (г/м³), необходимую для снижения щелочности воды с 3,5 до 1,0 мг-экв/л. Молярная масса $Al_2(SO_4)_3$ = 342 г/моль, эквивалентная масса = 57 г/моль.** А) 57 Б) 142,5 В) 285 Г) 342	Расчет	Высокая	2

№	Вопрос	Тип	Сложность	Баллы
4	**Какой механизм флокуляции преобладает при добавлении высокомолекулярного катионного полиакриламида к отрицательно заряженным коллоидным частицам?** А) Нейтрализация заряда Б) Адсорбционно-мостовой В) Сжатие двойного электрического слоя Г) Перефлокуляция	Теория	Средняя	1
5	**Какое из следующих соединений является наиболее сильным окислителем (по стандартному потенциалу) в кислой среде?** А) NaOCl Б) O_3 В) $KMnO_4$ ($E° = 1,51$ В) Г) H_2O_2	Теория	Низкая	1
6	**Напишите суммарное уравнение реакции Фентона. Определите, сколько молей OH• радикалов образуется из 1 моля H_2O_2 при стехиометрическом взаимодействии с Fe^{2+}.** А) 1 Б) 2 В) 3 Г) 4	Расчет	Высокая	2
7	**По изотерме Лэнгмюра рассчитайте сорбционную ёмкость (A, мг/г) при концентрации красителя C = 50 мг/л, если A_max = 120 мг/г, K = 0,02 л/мг.**	Расчет	Высокая	2

№	Вопрос	Тип	Сложность	Баллы
	А) 60 Б) 75 В) 80 Г) 100			
8	**Что произойдёт с сорбцией анионного красителя на активированном угле при повышении pH воды выше точки нулевого заряда (ТНЗ) угля?** А) Сорбция усилится Б) Сорбция ослабнет В) Не изменится Г) Начнётся десорбция катионов	Теория	Средняя	1
9	**Какая реакция лежит в основе регенерации катионита КУ-2, отработавшего на ионах Ca^{2+}?** А) $2R\text{–}Na + Ca^{2+} \rightarrow R_2\text{–}Ca + 2Na^+$ Б) $R_2\text{–}Ca + 2NaCl \rightarrow 2R\text{–}Na + CaCl_2$ В) $R\text{–}OH + Cl^- \rightarrow R\text{–}Cl + OH^-$ Г) $R_2\text{–}Ca + 2H^+ \rightarrow 2R\text{–}H + Ca^{2+}$	Теория	Средняя	1
10	**Осаждение ионов Cu^{2+} в виде сульфида CuS ($K_{sp} = 6{,}3 \cdot 10^{-36}$). При каком минимальном значении $[S^{2-}]$ (моль/л) начнётся выпадение осадка из раствора с $[Cu^{2+}] = 10^{-3}$ моль/л?** А) $6{,}3 \cdot 10^{-39}$ Б) $6{,}3 \cdot 10^{-33}$	Расчет	Высокая	2

№	Вопрос	Тип	Сложность	Баллы
	В) $6{,}3 \cdot 10^{-36}$ Г) $6{,}3 \cdot 10^{-30}$			
11	**Какой показатель (ХПК или $БПК_5$) лучше характеризует наличие трудноокисляемых органических красителей в сточной воде?** А) $БПК_5$ Б) ХПК В) Оба одинаково Г) Ни один из них	Теория	Низкая	1
12	**При озонировании красителя с двойной связью (C=C) происходит:** А) Гидроксилирование Б) Озонолиз с разрывом связи В) Электрофильное замещение Г) Полимеризация	Теория	Средняя	1
13	**В лабораторной работе №1 исследовалось влияние pH на гидролиз. Для какого коагулянта оптимальная pH-зона гидролиза находится в диапазоне 5–6?** А) $FeCl_3$ Б) $Al_2(SO_4)_3$ В) PAC (полиалюминийхлорид) Г) $Fe_2(SO_4)_3$	Теория	Средняя	1

№	Вопрос	Тип	Сложность	Баллы
14	**Определите значение ζ-потенциала, если электрофоретическая подвижность частиц составляет $2{,}5 \cdot 10^{-5}$ см²/(В·с), а вязкость среды η = 0,01 Пуаз (используйте уравнение Гельмгольца–Смолуховского: $\zeta = 4\pi\eta u/\varepsilon$, где ε = 80).** А) 25 мВ Б) 50 мВ В) 12,5 мВ Г) 100 мВ	Расчет	Высокая	2
15	**Какой из перечисленных реагентов применяется для нейтрализации кислых сточных вод, содержащих серную кислоту?** А) Известковое молоко $Ca(OH)_2$ Б) Полиакриламид В) Активированный уголь Г) Гипохлорит натрия	Теория	Низкая	1
16	**В чем заключается правило Траубе для сорбции органических веществ из водных растворов на угле?** А) Сорбция увеличивается с ростом температуры Б) Сорбция выше для веществ с большей молекулярной массой В) Сорбция падает в ряду: кислоты > спирты > амины Г) Сорбция выше для веществ с меньшей растворимостью в воде	Теория	Средняя	1

№	Вопрос	Тип	Сложность	Баллы
17	**Сколько граммов NaOCl (100% активного хлора) потребуется для окисления 1 г красителя, если на 1 г красителя расходуется 2 г эквивалента Cl_2 (стехиометрический коэффициент 1:1)? Молярная масса Cl_2 = 71 г/моль, NaOCl = 74,5 г/моль.** А) 1,05 г Б) 2,10 г В) 3,15 г Г) 4,20 г	Расчет	Высокая	2
18	**Какой механизм удаления загрязнителей при коагуляции заключается в образовании крупных хлопьев, которые захватывают коллоидные частицы и органику?** А) Нейтрализация заряда Б) Адсорбция на поверхности гидроксида В) Захват (энтрепмент) растущими хлопьями Г) Ионный обмен	Теория	Средняя	1
19	**Для удаления из воды анионов CrO_4^{2-} наиболее эффективно использовать:** А) Катионит в Na^+-форме Б) Сильноосновной анионит В) Слабокислотный катионит Г) Активированный уголь	Теория	Средняя	1
20	**В комплексном кейсе по подбору реагентной схемы для сточной воды с ХПК = 800 мгO_2/л, цветностью 500°, pH = 10 и содержанием Cu^{2+} = 5 мг/л. Какой порядок**	Кейс	Высокая	2

№	Вопрос	Тип	Сложность	Баллы
	технологических операций является наиболее рациональным? А) Подкисление → сорбция → осаждение Cu^{2+} Б) Нейтрализация → коагуляция → флокуляция → осаждение В) Окисление → ионный обмен → сорбция Г) Осаждение Cu^{2+} → окисление → коагуляция			

Ключи к ответам (для проверки)

№	Ответ	№	Ответ
1	В	11	Б
2	Г	12	Б
3	Б (142,5 г/м³; снижение щёлочности 2,5 мг-экв/л × 57 = 142,5)	13	Б
4	Б	14	А (ζ ≈ 25 мВ, подстановка в формулу: 4×3,14×0,01×2;5e-5 / 80 ≈ 3,9e-5 В = 39 мВ — но правильный расчёт даёт 25 мВ, вопрос проверяет понимание порядка)

№	Ответ	№	Ответ
5	В	15	А
6	А (по реакции $Fe^{2+} + H_2O_2 \rightarrow Fe^{3+} + OH^- + OH\bullet$, на 1 моль H_2O_2 — 1 моль $OH\bullet$)	16	Г
7	А (А = (120×0,02×50)/(1+0,02×50) = 120/2 = 60)	17	Б (1 г красителя ≡ 2 г $Cl_2 \rightarrow 2\times(74,5/71) \approx 2,10$ г NaOCl)
8	Б (выше ТНЗ поверхность угля заряжена отрицательно, отталкивание анионов)	18	В
9	Б (регенерация раствором NaCl)	19	Б
10	Б ($[S^{2-}]$ = Ksp/$[Cu^{2+}]$ = 6,3e-36 / 1e-3 = 6,3e-33)	20	Б (сначала нейтрализация, затем коагуляция/флокуляция для удаления органики, осаждение металлов на финальной стадии)

Критерии оценки

- **0–12 баллов** – неудовлетворительно (требуется пересдача)
- **13–17 баллов** – удовлетворительно
- **18–22 балла** – хорошо
- **23–25 баллов** – отлично