Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Телегина Елизавета Романовна
Должность: Проректор по дополнительному образованию
Дата подписания: 12.11.2026 15:08:54
Уникальный программный ключ:
a7211ae173bc1dfc0c88b4dc14de58a67b2aade5

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	**«УТВЕРЖДАЮ»**
Директор МЦДПО «Перспектива»	Проректор по дополнительному образованию РУДН
_____ / Степнова А.Ф. подпись ФИО	_____ / Телегина Е.Р. подпись ФИО
« 05 » 10 2026 г.	« 05 » 10 2026 г.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ПРОФЕССИОНАЛЬНАЯ ПРОГРАММА
(программа повышения квалификации)
«Реагентные и физико-химические технологии очистки сточных вод текстильных производств»

Программа разработана: в соответствии с лицензией на осуществление образовательной деятельности от 23.12.2014 г. № Л035-00115-77/00096931, и на основе Профессионального стандарта "16.063 Специалист по химическому анализу воды в системах водоснабжения, водоотведения, теплоснабжения". Утвержден приказом Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации от «27» апреля 2023 г. № 344н; квалификационных требований к инженерам-химикам-технологам водоподготовки, а также анализа актуальных производственных задач текстильной промышленности.

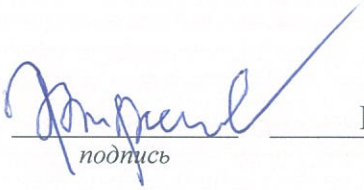
Цель обучения: совершенствование профессиональных компетенций в области применения физико-химических и химических методов очистки промышленных сточных вод текстильных предприятий, включая глубокое понимание механизмов реакций коагуляции, флокуляции, сорбции и окисления.

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

Объем программы: 24 академических часа.

Форма обучения / применение ДОТ: Очная с применением ДОТ

Руководитель программы, должность:
Зав.каф.органической химии,
Д.х.н., профессор



Воскресенский Л.Г.
подпись *ФИО*

Программа рассмотрена и утверждена на заседании ученого совета ДО РУДН (протокол от 14.09.2026 № ДО-12)

Программа предназначена для углубленного изучения химических процессов, лежащих в основе современных технологий очистки сточных вод текстильных фабрик, содержащих органические красители, ПАВ, соли тяжелых металлов и взвешенные вещества.

Требования к уровню подготовки слушателей, необходимые для освоения программы.

Программа предназначена для лиц, имеющие высшее или среднее профессиональное образование (химическое, технологическое или экологическое). Инженеры-химики, технологи водоочистки, экологи, лаборанты химических анализов предприятий текстильной и легкой промышленности, а также специалисты проектных организаций,

Цель программы: формирование у слушателей системного понимания специфики загрязнения сточных вод в текстильной промышленности, химических механизмов очистки воды, повышение практических навыков самостоятельно рассчитывать материальные балансы реакций, подбирать реагенты и интерпретировать результаты лабораторных анализов с позиций химической термодинамики и кинетики

Задачи программы:

1. Изучение химического состава сточных вод текстильного производства и его влияние на выбор методов очистки.
2. Освоение физико-химическое основы гидролиза солей алюминия и железа, механизмы адсорбции, ионного обмена, окислительно-восстановительных процессов.
3. Обучение навыкам рассчитывать стехиометрию реакций, дозы реагентов, константы равновесия и скорость процессов.
4. Формирование практических навыков работы с химическими реактивами, pH-метрами, спектрофотометрами.
5. Развитие компетенции по оценке эффективности очистки на основе химических показателей (ХПК, БПК, цветность, жесткость).

В результате освоения программы слушатель сможет (профессиональные компетенции):

— Проводить качественный и количественный анализ загрязнителей сточных вод.
— Выбирать реагенты ($Al_2(SO_4)_3$, $FeCl_3$, PAC, полимеры) на основе химического состава воды.
— Оптимизировать pH-режим для максимального гидролиза коагулянтов.
— Рассчитывать сорбционную емкость активированных углей и цеолитов.
— Организовывать процесс реагентного хозяйства и утилизации осадков.
— Оценивать экономическую эффективность применения различных химических схем.

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	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.	квалификации	
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. Химический состав сточных вод текстильной промышленности.

— Органические загрязнители: реактивные, кубовые, прямые, дисперсные красители (их строение, хромофорные и ауксохромные группы). Азокрасители.

— ПАВ (анионоактивные, неионогенные) — эмульгаторы и моющие средства.

— Неорганические компоненты: ионы меди, хрома, свинца (из пигментов), сульфаты, хлориды, сульфиды (после отбелки).

— Показатели: ХПК, БПК5, цветность, pH, общая жесткость.

Тема 2 Химические основы коагуляции: гидролиз ионов Al(III) и Fe(III), образование гидроксокомплексов и осадков.

— Гидратация и гидролиз ионов Al(III) и Fe(III) в водных растворах: $Al^{3+} + H_2O \rightleftharpoons [Al(OH)]^{2+} + H^+$.

— Образование полиядерных гидроксокомплексов и аморфных гидроксидных фаз. $[Al_2(OH)_2]_4+ \rightarrow [Al_{13}O_4(OH)_{24}]^{7+}$.

-Равновесия растворения–осаждения гидроксидов металлов и их зависимость от pH.

-Роль pH, температуры, щёлочности и состава воды в процессах гидролиза и коагуляции.

- Механизмы удаления загрязнителей при коагуляции: нейтрализация заряда, адсорбция и захватывание частиц образующимся осадком.

Тема 3. «Физико-химические основы флокуляции: устойчивость дисперсных систем и механизмы агрегации».

-Устойчивость коллоидных и дисперсных систем. Поверхностный заряд частиц и двойной электрический слой.

- Электрокинетический потенциал (ζ-потенциал) и его роль в устойчивости дисперсий.

- Дестабилизация частиц при изменении ионной силы.

- Механизмы агрегации частиц: нейтрализация заряда, адсорбционно-мостовой механизм и образование флокул.

- Полимерные флокулянты: катионные, анионные и неионогенные полиэлектролиты;

влияние молекулярной массы и плотности заряда. Правило выбора флокулянтов для сточных вод

- Влияние pH, ионной силы, дозы и условий перемешивания на эффективность флокуляции.

- Выбор типа и дозы флокулянта по результатам пробной флокуляции. Перефлокуляция.

- Ионный обмен на цеолитах и глинистых минералах; специфическая адсорбция органических веществ на поверхности

Тема 4. Окислительные методы (химическая деструкция).

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

— Озонирование: O_3 + краситель $\rightarrow$ озонолиз двойных связей $\rightarrow$ 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 5. Сорбционные процессы.

- Классификация сорбции по механизму: физическая адсорбция (силы Ван-дер-Ваальса), ионный обмен (электростатическое связывание), хемосорбция

- Заряд поверхности сорбента и его зависимость от pH. Точка нулевого заряда (ТНЗ). Влияние pH на сорбцию катионных и анионных красителей.

- Изотермы сорбции Лэнгмюра ($A = \frac{A_{max}KC}{1+KC}$) и Фрейндлиха ($A = K_F C^{1/n}$). Физический смысл констант сорбции.

- Конкурентная сорбция и влияние ПАВ. Приоритетность адсорбции: правило Траубе для органических веществ. Вытеснение целевых красителей ПАВ с поверхности угля.

Тема 6. Ионообменная очистка.

— Катиониты (сульфоуголь, КУ-2) — реакции замещения Na^+ на Ca^{2+}, Mg^{2+}, Cu^{2+}, Cr^{3+}.

— Аниониты — удаление сульфатов, хлоридов, хроматов.

Тема 7. Химия осаждения и нейтрализации.

— Осаждение тяжелых металлов в виде гидроксидов и сульфидов: $Cu^{2+} + S^{2-} \rightarrow CuS\downarrow$ ($Ksp = 6.3\cdot10^{-36}$).

— Нейтрализация кислот и щелочей в сточных водах.

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:

— Итоговый зачет в формате теста (20 вопросов с расчетными задачами).

Материально-технические условия реализации программы:

— Лекционная аудитория с проектором.

— Лаборатория химического анализа: весы, pH-метры, спектрофотометр, термостаты, магнитные мешалки, микроскоп.

— Реактивы: $Al_2(SO_4)_3$, $FeCl_3$, NaOCl, H_2O_2, $KMnO_4$, полиакриламид, активированный уголь, цеолит, бентонит.
— Посуда: бюретки, пипетки, колбы, цилиндры, химические стаканы.

Форма итоговой аттестации:
Тестирование и защита практического кейса. После успешного освоения программы слушатели получают удостоверение о прохождении ПК.

Электронные ресурсы программы:
1. ЭБС «Лань»: https://e.lanbook.com/;
2. Образовательная платформа «Юрайт»: https://urait.ru/;
3. Открытая лекция «Химия воды» Петросяна В.С. на платформе Teach-in: https://teach-in.ru/lecture/03-04-Petrosyan/ .

Рекомендуемая литература:

1. Гончарук В.В., Галай В.Ф. Химия воды. — М.: Наука, 2020.
2. Избуллаева М.С., Амонова М.М., Амонов М.Р. Изучение эффективности флокулянтов для очистки сточных вод газоперерабатывающих производств // Universum: технические науки : электрон. научн. журн. 2024. 3(120)
3. Кульский Л.А., Строкач П.П. Технология очистки природных вод. — Киев: Вища школа, 2019.
4. Лурье Ю.Ю. Справочник по аналитической химии. — М.: Химия, 2022.
5. Родионов А.И., Клушин В.Н., Торочешников Н.С. Техника защиты окружающей среды. — М.: Химия, 2021.
6. 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).
7. Экологические аспекты текстильного производства (под ред. Петрова И.И.). — Иваново: ИГХТУ, 2021.

УЧЕБНЫЙ ПЛАН
ДОПОЛНИТЕЛЬНОЙ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ
повышения квалификации
«Химические основы очистки сточных вод предприятий текстильной отрасли»

№ п/п	Наименование разделов, модулей, тем	Всего, ак.ч.	в том числе			
			лекции	практические, лабораторные, семинарские	самостоя-тельная работа	форма контроля
1	Тема 1. Химический состав сточных вод. Классификация красителей.	2	2	-	-	-
2	Тема 2. Гидролиз солей металлов. Теория коагуляции.	3	2	1 (расчет pH)	-	-
3	Тема 3. Флокуляция: полимерные реагенты, механизмы.	1	1	-	-	-
4	Тема 4. Окисление и деструкция органических загрязнителей.	4	2	1 (стехиометрия)	1	-
	Лабораторная работа №1: «Влияние pH на процесс гидролиза и коагуляции»	3	-	3	-	-
5	Тема 5. Сорбционные процессы: изотермы, механизмы.	3	1	1 (расчет емкости)	1	-

№ п/п	Наименование разделов, модулей, тем	Всего, ак.ч.	в том числе			
			лекции	практические, лабораторные, семинарские	самостоя-тельная работа	форма контроля
	Лабораторная работа №2: «Сорбционная очистка от красителей на различных адсорбентах»	3	-	3	-	-
6	Тема 6. Ионообменная очистка.	1	1	-	-	-
7	Тема 7. Химические методы осаждения и нейтрализации.	2	1	1 (осаждение металлов)	-	-
Итоговый контроль		2	-	-	2	Тестирование + кейс
Итого часов		24	10	10	4	

Зав.каф.органической химии,

Д.х.н., профессор

подпись

Воскресенкий Л.Г.

ФИО

УЧЕБНО-ТЕМАТИЧЕСКИЙ ПЛАН ДОПОЛНИТЕЛЬНОЙ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

(программы повышения квалификации/ программы профессиональной переподготовки)

«Химические основы очистки сточных вод предприятий текстильной отрасли»

№ п/п	Наименование разделов, модулей, тем	Всего, ак.ч.	в том числе			
			лекции	практические, лабораторные, семинарские	самостоя-тельная работа	форма контроля
	Тема 1. Химический состав сточных вод текстильной промышленности	2	2	-	-	-
1.1	Химическая классификация красителей (реактивные, прямые, кубовые, дисперсные). Хромофоры.	1	1	-	-	-
1.2	Неорганические загрязнители: металлы, сульфаты, хлориды.	1	1	-	-	-
	Тема 2. Гидролиз солей металлов. Теория коагуляции	3	2	1	-	-
2.1	Константы гидролиза. Образование полиядерных комплексов. pH-зоны.	1	1	-	-	-
2.2	Расчёт доз коагулянта по стехиометрии.	2	1	1	-	-
	Тема 3. Флокуляция: полимерные реагенты, механизмы.	1	1	-	-	-

№ п/п	Наименование разделов, модулей, тем	Всего, ак.ч.	в том числе			
			лекции	практические, лабораторные, семинарские	самостоя-тельная работа	форма контроля
3.1	Адсорбционно-мостовой и электростатический механизмы. Практика подбора флокулянтов.	1	1	-	-	-
	Тема 4. Окисление и деструкция органических загрязнителей	4	2	1	1	-
4.1	Окисление гипохлоритом, озоном, перманганатом (электродные потенциалы).	1	1	-	-	-
4.2	Реакция Фентона. Расчет количества окислителя.	3	1	1	1	-
	Лабораторная работа №1: «Влияние pH на процесс гидролиза и коагуляции»	3	-	3	-	-
5.1	Приготовление серии проб с разным pH.	-	-	1	-	-
5.2	Визуальная и фотометрическая оценка.	-	-	2	-	-
	Тема 5. Сорбционные процессы: изотермы, механизмы	2	1	1	-	-
6.1	Уравнения Лэнгмюра и Фрейндлиха, кинетика сорбции.	1	1	-	-	-

№ п/п	Наименование разделов, модулей, тем	Всего, ак.ч.	в том числе			
			лекции	практические, лабораторные, семинарские	самостоя-тельная работа	форма контроля
6.2	Расчет сорбционной емкости.	1	-	1	-	-
	Лабораторная работа №2: «Сорбционная очистка от красителей на различных адсорбентах»	3	-	3	-	-
7.1	Подготовка сорбентов.	1	-	1	-	-
7.2	Сравнение угля, цеолита и глины.	2	-	2	-	-
	Тема 6. Ионообменная очистка	2	1	-	1	-
8.1	Катиониты и аниониты. Реакции регенерации.	1	1	-	-	-
8.2	Выбор ионообменных смол.	1	-	-	1	-
	Тема 7. Химические методы осаждения и нейтрализации	2	1	1	-	-
9.1	Осаждение гидроксидов и сульфидов.	1	1	-	-	-
9.2	Расчет полноты осаждения (ПР).	1	-	1	-	-
Итоговый контроль		2	-	-	2	Тест + кейс
Итого часов		24	10	10	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

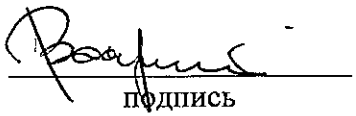
Форма обучения / применение ДОТ: очная с применением ДОТ

Срок обучения: единовременно в период с 01.00.2026 по 04.00.2026 (например, 4 дня по 6 часов)

(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.			
			день, неделя, месяц	день, неделя, месяц	день, неделя, месяц	день, неделя, месяц
1	Темы 1–2 (Состав, гидролиз, коагуляция)	5	5	-	-	-
2	Темы 3–4 (Флокуляция, окисление)	6	-	6	-	-
3	Лабораторная работа №1 (Коагуляция)	3	-	-	3	-
4	Тема 5 + Лабораторная работа №2 (Сорбция)	6	-	-	3	3
5	Темы 6–7 (Ионный обмен, осаждение) + Итоговая аттестация	4	-	-	-	4
Итоговая аттестация (тестирование + защита кейса)		-	-	-	-	(входит в 4 ч)
Итого часов		24	5	6	6	7

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 $Ca(OH)_2 = 0,217 \cdot 37 = 8,0$ 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 ($\zeta \approx 25$ 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