

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ
КАЗАХСТАН

Казахский национальный исследовательский технический университет
имени К. И. Сатпаева

Институт геологии и нефтегазового дела им. К. Турысова

Кафедра Химическая и биохимическая инженерия

УДК: 543.3; 543.31; 543.32/.34; 628.1

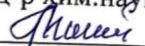
На правах руководителя

Таубатырова Анель


МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ


На соискание академической степени магистра

Название диссертации «Повышение качества и очистка оборотных вод
реагентами на основе активированного алюминия»
Направление подготовки 7M07142 – Химическая технология органических
веществ

Научный руководитель
д-р хим.наук, профессор кафедры ХиБИ
 Г.И. Бойко
"17" "06" 2025 г.

Рецензент
К.Т.Н. Старший научный сотрудник
Департамент
 О.В. Атанова
"17" "06" 2025 г.

Нормоконтроль
д-р хим.наук, профессор кафедры
ХиБИ
 Г.И. Бойко
"11" "06" 2025 г.

ДОПУЩЕНА К ЗАЩИТЕ
Заведующий кафедрой «Химической
и биохимической инженерии»
к.х.н. ассоциированный профессор
 Р.А. Мангазбаева
"17" "06" 2025 г.



Алматы 2025


МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ
КАЗАХСТАН

Казахский национальный исследовательский технический университет
имени К. И. Сатпаева

Институт геологии и нефтегазового дела им. Турысова
Кафедра «Химической и биохимической инженерии»

7М07142 – Химическая технология органических веществ

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой
«Химическая и
биохимическая инженерия»
к.х.н., ассоциированный
профессор

Р.А. Мангазбаева
2025 г.

ЗАДАНИЕ
на выполнение магистерской диссертации

Магистранту Таубатыровой Анель

Тема: Повышение качества и очистка оборотных вод реагентами на основе активированного алюминия

Утверждена приказом проректора по академической работе №721-м от "12" мая 2025 г.

Срок сдачи законченной диссертации "15" 06 2025 г.

Исходные данные к магистерской диссертации: Повышение качества и очистка оборотных вод реагентами на основе активированного алюминия

Перечень подлежащих разработке в магистерской диссертации вопросов:

- Анализ физико-химических характеристик оборотных вод АНПЗ.
- Разработка технологии синтеза комбинированных коагулянтов на основе полиоксихлорида воздействия (ПОХА) и альгината натрия в соотношении 2:1.
- Оценка эффективности различных коагулянтов (ПОХА 2.1, ПОХА 7.1, смеси ПОХА 7.1 и альгината натрия) и их активности в зависимости от дозировки.
- Исследование коррозионной активности водных растворов на образцах стали для оценки их воздействия на оборудование.

Рекомендуемая основная литература: из 73 предложенных.

ГРАФИК
подготовки магистерской диссертации

Наименование разделов, перечень разрабатываемых вопросов	Сроки представления научному руководителю	Примечание
Анализ литературного обзора, подбор подходящих источников	20.10.2023 – 19.01.2024 гг.	<i>Исследован</i>
Разработка и выбор методов исследования. Отбор проб, проведение лабораторных анализов, интерпретация полученных результатов	22.01.2024 – 15.01.2025 гг.	<i>выполнено</i> <i>Исследован</i>
Обработка и обсуждение полученных данных. Завершение исследования и анализ выводов	27.01.2025 – 23.05.2025 гг.	<i>выполнено</i> <i>Исследован</i>

Подписи
консультантов и нормоконтролера на законченную магистерскую
диссертацию с указанием относящихся к ним разделов диссертации

Наименования разделов	Консультанты, И.О.Ф. (уч. степень, звание)	Дата подписания	Подпись
Нормоконтролер	д-р хим.наук, профессор Г.И. Бойко	<i>11.06</i>	<i>Г.И. Бойко</i>

Научный руководитель

Г.И. Бойко

Г.И. Бойко

Задание принял к исполнению обучающийся

А. Таубатырова

А. Таубатырова

Дата

"11" 06 2025г.

АНДАТПА

Негізгі сөздер: адсорбция, айналым су, белсенді алюминий, коагуляция, натрий альгинаты, өнеркәсіптік су дайындау, реагенттер, суды тазарту.

Магистрлік диссертацияның мақсаты – Атырау мұнай өңдеу зауытының (АМӨЗ) айналым суларын тазарту үшін полиоксихлориді алюминий мен натрий альгинаты негізіндегі біріктірілген коагулянттердің тиімділігін әзірлеу және зерттеу. Жұмыс су сапасын жақсартуға, жабдықтардың коррозиялық белсенділігін азайтуға бағытталған, бұл олардың пайдалану мерзімін ұзартады.

Жұмыстың міндеті – «АМӨЗ» ЖШС өндірісіндегі айналым суларының физика-химиялық сипаттамаларын зерттеу, органикалық коагулянт пен белсенді алюминий қорытпасы негізіндегі біріктірілген коагулянттің көмегімен айналым суларын тазарту тиімділігін және коррозиялық белсенділікті азайтуды бағалау.

Зерттеудің негізгі әдістері – суды талдаудың зертханалық физика-химиялық әдістері, кинетикалық газ талдауы, коррозиялық белсенділікті өлшеуге арналған гравиметриялық әдіс және коагулянттердің салыстырмалы талдауы.

Ғылыми жаңалығы – көпкомпонентті қорытпаның бірегей құрамдық арақатынасымен әзірленген коагулянтті және оны органикалық коагулянтпен бірге қолдану. Сонымен қатар, тазартудың максималды тиімділігін қамтамасыз ететін коагулянттердің оңтайлы дозалары анықталды.

АННОТАЦИЯ

Ключевые слова: адсорбция, активированный алюминий, альгинат натрия, коагуляция, обратная вода, очистка воды, промышленная водоподготовка, реагенты.

Целью магистерской диссертации является разработка и исследование эффективности комбинированных коагулянтов на основе полиоксихлорида алюминия и альгината натрия для очистки оборотных вод Атырауского нефтеперерабатывающего завода. Направлена на повышение качества, уменьшения коррозионной активности на оборудование, что увеличивает срок эксплуатации.

Задача работы заключается в исследованиях физико-химических характеристик оборотных вод на производстве ТОО «АНПЗ», оценке эффективности очистки и уменьшения коррозионной активности оборотных вод с помощью комбинированного коагулянта на основе органического коагулянта и активированного сплава алюминия.

Основными методами исследования лабораторные физико-химические методы анализа воды, кинетический газовый анализ и гравиметрический метод для измерения коррозионной активности и сравнительный анализ коагулянтов.

Научная новизна заключается в использованиях коагулянта, разработанного с уникальным соотношением состава многокомпонентного сплава и использовании его вместе с органическим коагулянтом. Помимо этого, установлены оптимальные дозировки коагулянтов, обеспечивающие максимальную эффективность очистки.

ANNOTATION

Keywords: adsorption, activated aluminum, coagulation, industrial water preparation, recycled water, reagents, sodium alginate, water treatment.

Objective of the Master's Dissertation: The aim of the master's dissertation is to develop and investigate the efficacy of combined coagulants based on polyaluminum chloride and sodium alginate for the treatment of recycled water at the Atyrau Oil Refinery (AOR). The study is focused on enhancing water quality and reducing the corrosive activity on equipment, thereby extending its operational lifespan.

Research Tasks: The tasks of the study include examining the physicochemical properties of recycled water at AOR LLP, evaluating the efficiency of water treatment, and reducing the corrosive activity of recycled water using a combined coagulant based on an organic coagulant and an activated aluminum alloy.

Main Research Methods: The primary methods employed include laboratory physicochemical water analysis, kinetic gas analysis, gravimetric method for measuring corrosive activity, and comparative analysis of coagulants.

Scientific Novelty: The novelty lies in the use of a coagulant developed with a unique compositional ratio of a multicomponent alloy and its application in combination with an organic coagulant. Additionally, optimal coagulant dosages have been established to ensure maximum treatment efficiency.

СОДЕРЖАНИЕ

	Аннотация	4
	Введение	8
1	Литературный обзор	9
1.1	Проблема очистки оборотных вод	9
1.2	Особенности оборотных вод АНПЗ	10
1.3	Современные методы очистки	17
1.4	Механизм работы коагулянтов	19
1.4.1	Органические коагулянты	23
1.4.2	Неорганические коагулянты	25
1.5	Экономические аспекты	28
2	Экспериментальная часть	30
2.1	Используемые реагенты	30
2.2	Характеристика исследуемой воды	31
2.2.1	Методика определения мутности	34
2.2.2	Методика определения химического потребления кислорода	34
2.2.3	Методика определения перманганатной окисляемости	35
2.2.4	Методика определения содержания хлор-ионов	35
2.2.5	Методика определения общей жесткости воды	36
2.3	Метод изготовления многокомпонентного сплава активированного алюминия	36
2.4	Метод синтеза полиоксихлорида алюминия	37
2.4.1	Методика определения содержания оксида алюминия в коагулянте	38
2.4.2	Методика определения основности в данном коагулянте	38
2.4.3	Метод получения 0,1% раствора полиоксихлорида алюминия	39
2.5	Метод получения 0,1% раствора органического коагулянта	39
2.6	Приготовление смешанного раствора органического и неорганического коагулянтов	40
2.7	Методика обработки оборотной воды смешанным раствором коагулянта	40
2.8	Метод анализа коррозионной активности	41
3	Результаты и выводы	42
3.1	Сравнение активности сплавов	42
3.2	Сравнение эффективности коагулянтов	45
3.3	Влияние дозы коагулянта на эффективность снижения мутности	46
3.4	Результаты коррозионной активности	48
3.5	Экономическая оценка стоимости	51
3.5.1	Расчет стоимости сплава	51
3.5.2	Расчет стоимости коагулянта полиоксихлорида алюминия	51
3.5.3	Расчет стоимости 0,1% альгината натрия	52
3.5.4	Расчет стоимости 0,1% раствора комбинированного коагулянта	52

3.5.5	Результаты оценки стоимости коагулянтов	53
	Заключение	54
	Список сокращения	55
	Список использованной литературы	56
	Приложение	61

ВВЕДЕНИЕ

Современные промышленные предприятия потребляют значительные объемы водных ресурсов, что сопровождается образованием крупных количеств оборотной и сточной воды. В связи с этим особую актуальность приобретает разработка технологий, обеспечивающих их эффективную очистку и повторное использование. Такие подходы способствуют не только снижению нагрузки на природные водные объекты, но и оптимизируют затраты, связанные с водоснабжением. Однако функционирование систем оборотного водоснабжения сопровождается накоплением различных загрязняющих веществ, включая нефтепродукты, соединения тяжелых металлов и органику. Это приводит к ухудшению качества воды, ускоренному износу оборудования вследствие коррозии и снижению производственной эффективности [1].

На сегодняшний день широко применяемые методы очистки, такие как механическая фильтрация, коагуляция и ионный обмен, имеют ряд недостатков: они не всегда обеспечивают требуемую степень очистки и зачастую связаны с высокими затратами на эксплуатацию. В связи с этим растет интерес к новым реагентам, демонстрирующим улучшенные характеристики.

Одним из перспективных направлений считается использование коагулянтов на основе активированного алюминия, таких как полиоксихлорид алюминия [2], в сочетании с природными органическими веществами, например, альгинатом натрия. Такие составы обладают выраженными адсорбционными свойствами, устойчивостью к химическому воздействию и способностью эффективно удалять широкий спектр загрязнителей, что делает их особенно привлекательными для применения в модернизированных системах водоподготовки.

Необходимость внедрения доступных, безопасных и эффективных технологий очистки особенно остро стоит на промышленных объектах, подобных Атыраускому нефтеперерабатывающему заводу, где качество оборотной воды напрямую влияет на стабильность производственных процессов и экологические риски. Использование комбинированных коагулянтов позволяет значительно улучшить характеристики воды, снизить степень коррозионного воздействия и сократить техногенное влияние на окружающую среду.

1 Литературный обзор

1.1 Проблема очистки оборотных вод

В условиях нарастающего дефицита пресной воды и ужесточения экологических нормативов эффективная очистка оборотных вод становится приоритетной задачей для промышленных предприятий. Оборотные воды, используемые повторно в технологических процессах, накапливают различные загрязнители, включая органические вещества, тяжелые металлы и нефтепродукты, что снижает эффективность производства и увеличивает риск негативного воздействия на окружающую среду [1].

В Казахстане, где водные ресурсы ограничены, а инфраструктура очистных сооружений зачастую устарела, данная проблема приобретает особую актуальность. Настоящий раздел посвящён анализу текущих вызовов в области очистки оборотных вод, с акцентом на ситуацию на Атырауском нефтеперерабатывающем заводе (АНПЗ), и обоснованию необходимости внедрения инновационных методов очистки, таких как реагентная коагуляция с использованием активированного алюминия [3].

Оборотные воды промышленных предприятий, включая АНПЗ, характеризуются сложным составом, включающим высокие концентрации нефтепродуктов, взвешенных веществ, органических соединений и солей тяжёлых металлов. Эти загрязнители снижают качество воды, делая её непригодной для повторного использования без предварительной обработки. Исследования показывают, что содержание нефтепродуктов в основных сулах нефтеперерабатывающих предприятий может колебаться от 50 до 100 мг/л, что увеличивает число установленных зон для повторного использования, составляющих менее 5 мг/л. Кроме того, присутствие коллоидных частиц и эмульсий усложняет процесс очистки, требуя применения специализированных методов. Традиционные методы очистки, такие как отстаивание, флотация и механическая фильтрация, часто не обеспечивают достаточной степени удаления загрязнителей. Современные технологии, включая мембранные биореакторы, анаэробные и аэробные процессы, фотокаталитическую и электрохимическую очистку, а также био- и нанофильтрацию, демонстрируют высокую эффективность, но их внедрение сопряжено с рядом ограничений. Высокие капитальные затраты на оборудование, сложность эксплуатации и необходимость квалифицированного персонала делают эти технологии менее доступными для предприятий в развивающихся странах, включая Казахстан [4]. Например, мембранные биореакторы требуют регулярной замены мембран и точной настройки процессов, что увеличивает эксплуатационные расходы на 20–30% по сравнению с традиционными методами [5]. В Казахстане проблема усугубляется изношенностью очистных сооружений, многие из которых были построены ещё в советский период и не соответствуют современным экологическим требованиям. По оценкам, более 60% очистных систем на промышленных предприятиях Казахстана нуждаются в модернизации [6]. Недостаточная автоматизация процессов очистки приводит к нестабильному

качеству воды и увеличению водозабора из природных источников, что дополнительно нагружает водные ресурсы региона. Например, АНПЗ, перерабатывая значительные объёмы нефти, сталкивается с необходимостью очистки до 10 000 м³ оборотной воды в сутки, что требует устойчивых и экономически эффективных решений.

Современные методы очистки, такие как мембранные биореакторы, анаэробные и аэробные технологии, фотокаталитическая и электрохимическая очистка, а также био- и нанофильтрация, демонстрируют высокую эффективность в удалении различных загрязнителей. Однако их внедрение сопряжено с высокими капитальными затратами и сложностью эксплуатации, особенно в условиях развивающихся стран.

Атырауский нефтеперерабатывающий завод (АНПЗ), являющийся одним из крупнейших предприятий нефтепереработки в Казахстане, сталкивается с проблемой эффективной очистки оборотных вод. Сложный состав таких вод и высокая концентрация загрязняющих веществ требуют внедрения эффективных технологий очистки, сочетающих надёжность, экономическую целесообразность и экологическую безопасность.

В этой связи АНПЗ и аналогичные предприятия активно ищут современные и устойчивые подходы к водоочистке, заключая соглашения с отечественными и зарубежными научными организациями и технологическими компаниями. Особое внимание уделяется разработке и внедрению инновационных методов, в том числе реагентной очистки с использованием коагулянтов на основе активированного алюминия (АА), таких как полиоксихлорид алюминия (ПОХА), который показывает высокую эффективность в удалении коллоидных и взвешенных веществ [7].

1.2 Особенности оборотных вод АНПЗ

Функционирование промышленных объектов, таких как Атырауский нефтеперерабатывающий завод (АНПЗ), во многом зависит от надежного обеспечения систем водоснабжения водой с заданными характеристиками. В условиях ограниченности водных ресурсов организация замкнутых циклов оборотного водоснабжения является приоритетной задачей, направленной на минимизацию водопотребления, сокращение объемов сбрасываемых сточных вод и повышение экологической и энергетической эффективности. На Атырауском нефтеперерабатывающем заводе применяются передовые технологии и оборудование, обеспечивающие надежное функционирование систем оборотного водоснабжения, включая блоки оборотных вод 1 и 2, которые играют решающую роль в поддержании производственных процессов.

Оборотное водоснабжение на АНПЗ направлено на многократное использование воды в технологических процессах, что позволяет минимизировать забор свежей воды из природных источников и снизить воздействие на окружающую среду. Основной задачей является поддержание качества воды на уровне, обеспечивающем стабильную работу оборудования,

предотвращение коррозии, накипи и биообрастаний. Система оборотного водоснабжения включает несколько ключевых компонентов: охлаждающие устройства (градирни, радиаторные охладители), системы рециркуляции, водоподготовки и очистки. На АНПЗ используются замкнутые циклы, где очищенные сточные воды возвращаются в оборот, однако накопление солей требует дополнительных мер по обессоливанию и стабилизации качества воды [8, 9].

Блок оборотной воды №1 на Атырауском нефтеперерабатывающем заводе обслуживает ключевые производственные установки, включая первичную переработку нефти и каталитические процессы. Этот блок представляет собой сложную инженерную систему, включающую вентиляторные градирни, насосные станции, системы фильтрации и водоподготовки. Его производительность достигает до 2000 м³/ч, что обеспечивает необходимое охлаждение оборудования установок первичной переработки. Вентиляторные градирни с принудительной циркуляцией воздуха эффективно охлаждают воду за счёт испарения, при этом форсуночные системы равномерно распределяют поток, повышая теплоотдачу. Для предотвращения накипи и коррозии в системе водоподготовки применяются реагентные методы умягчения воды, включая дозирование ингибиторов коррозии и антинакипинов. Также используются полиоксихлориды алюминия (ПОХА), которые способствуют коагуляции и удалению взвешенных веществ. В условиях тёплого климата Атырау значимую проблему представляют биообрастания, и для их предотвращения вода регулярно обрабатывается хлором и медным купоросом, что помогает сохранить эффективность теплообмена. Блок оснащён автоматизированными системами контроля качества воды, которые непрерывно отслеживают такие параметры, как pH, жёсткость, содержание солей и органических примесей, позволяя оперативно корректировать режимы работы и дозирование реагентов. В состав БОВ-1 входят системы №1 и №2, которые предназначены для подготовки оборотной воды. Системы №1 и №2 в БОВ-1 работают в замкнутом цикле, обеспечивая многократное использование воды после ее очистки. Система №1 выполняет грубую очистку, удаляя до 80–90% взвешенных веществ и нефтепродуктов, что снижает нагрузку на фильтры системы №2. Система №2 обеспечивает тонкую очистку, доводя качество воды до уровня, пригодного для повторного использования в технологических процессах. После фильтрации вода направляется в охладительные башни (градирни) БОВ-1, где она охлаждается до температуры не выше 29°C, а затем подается насосами к технологическим установкам, таким как установки атмосферной и вакуумной перегонки или гидроочистки. Отбор проб с данного блока проводился весной и осенью. На рисунке 1 и 2 показаны места отбора [9].



Рисунок 1 – Отбор проб с БОВ-1 системы №1



Рисунок 2 – Отбор проб с БОВ-1 система №2

Блок оборотной воды 2 обслуживает установки глубокой переработки нефти, включая гидрокрекинг и каталитический риформинг, и спроектирован для функционирования в условиях повышенных тепловых нагрузок, характерных для более интенсивных технологических процессов. Его производительность составляет до 1500 м³/ч, что соответствует потребностям установок вторичной переработки. В этом блоке используются эжекционные градирни, работающие на основе перепадов давления и обеспечивающие форсуночное распыление воды, что позволяет эффективно отводить тепло даже при высоких температурах окружающей среды. Система водоподготовки блока 2 включает ионный обмен для снижения карбонатной жёсткости и магнитную обработку воды, предотвращающую образование отложений [10, 11]. Также активно применяются ПОХА для удаления органических соединений и взвешенных частиц, что особенно важно при контакте воды с нефтепродуктами. В дополнение к химическим методам обработки, для борьбы с биообрастаниями в блоке используются ультразвуковые технологии, которые разрушают биоплёнки, уменьшая необходимость применения реагентов и повышая экологическую эффективность всей системы.

Так же как и в БОВ-1 имеет системы обработки воды для последующего использования. Рисунки 3 и 4 представляют отбор проб для дальнейшего анализа:



Рисунок 3 – Отбор проб с БОВ-2 системы №2



Рисунок 4 – Отбор проб с БОВ-2 системы №1

Блок оборотной воды 2 на Атырауском НПЗ оснащён системой мониторинга, которая в режиме реального времени контролирует тепловые и химические параметры воды, обеспечивая стабильную и надёжную работу оборудования. Ключевым элементом охлаждающей инфраструктуры предприятия являются градирни, классифицируемые по типу воздухообмена и принципу действия. На заводе используются вентиляторные и эжекционные градирни, относящиеся к испарительным типам. Вентиляторные градирни, установленные в блоке 1, обеспечивают стабильное охлаждение при больших объёмах воды за счёт принудительной циркуляции воздуха, что повышает эффективность теплоотдачи и делает их оптимальными для задач, требующих высокой производительности и постоянства рабочих условий. В блоке 2 применяются эжекционные градирни, обеспечивающие более интенсивное охлаждение за счёт форсуночного распыления воды и использования перепадов давления, что особенно эффективно в условиях высоких температур окружающей среды. Выбор типа градирен обусловлен

технологическими потребностями производства и климатическими особенностями региона [12].

Рециркуляционные системы на АНПЗ включают градирни, брызгальные бассейны и пруды-охладители. Эти системы обеспечивают повторное использование воды, минимизируя ее потери. Градирни являются основным элементом, отводя тепло за счет испарения части воды. Брызгальные бассейны используются как дополнительный элемент для охлаждения в периоды пиковых нагрузок, а пруды-охладители применяются для стабилизации температуры воды перед возвращением в цикл.

Радиаторные охладители применяются в системах, где недопустимы потери воды или загрязнение охлаждающей среды. На АНПЗ такие охладители используются в отдельных контурах, где требуется высокая чистота воды. Они работают по принципу теплообмена без контакта воды с воздухом, что снижает риск биообрастаний, но требует больших объемов воздуха для эффективного охлаждения.

Биообрастания являются серьезной проблемой для систем водообеспечения Атырауского НПЗ, особенно в условиях тёплого климата региона. Микроорганизмы, включая водоросли и бактерии, способны образовывать плотные биоплёнки на внутренних поверхностях теплообменников и трубопроводов, что приводит к снижению эффективности теплообмена и увеличению эксплуатационных затрат. Для предотвращения этих процессов на заводе проводится регулярная обработка воды дезинфицирующими средствами, такими как хлор и медный купорос. В блоке 2 дополнительно внедрены ультразвуковые технологии, направленные на разрушение биоплёнок без повреждения оборудования. Также применяются современные биоциды, которые безопасны как для элементов системы, так и для окружающей среды. Совокупность этих мер позволяет существенно продлить срок службы оборудования и поддерживать стабильную работу систем охлаждения.

Для обеспечения стабильной работы систем охлаждения на Атырауском нефтеперерабатывающем заводе применяются комплексные решения по водоподготовке, направленные на предотвращение наиболее распространённых проблем. Для контроля накипи используются специальные ингибиторы и реагенты, которые препятствуют образованию карбонатных отложений на поверхности оборудования, тем самым снижая риск засоров и падения эффективности теплообменников. Защита от коррозии обеспечивается за счёт применения ингибиторов коррозии, а также внедрения систем мониторинга, позволяющих отслеживать коррозионную активность и оперативно реагировать на её изменения. В целях борьбы с микробиологическим загрязнением применяются биоциды, а также ультразвуковые методы, предотвращающие рост и размножение микроорганизмов в оборотной воде, что позволяет сохранять чистоту трубопроводов и стабильность теплообмена [11].

Для предотвращения отложений и коррозии в системах водоснабжения на АНПЗ применяются различные методы водоподготовки, обеспечивающие

эффективную стабилизацию качества воды. Одним из таких методов является реагентное умягчение, при котором в воду дозируются специальные реагенты, способствующие снижению карбонатной жёсткости и препятствующие образованию накипи. Также широко используется метод ионного обмена, позволяющий удалять из воды ионы кальция и магния, что значительно снижает риск образования твёрдых отложений на поверхностях оборудования. Дополнительно применяется магнитная обработка воды, стабилизирующая её структуру и уменьшающая склонность к образованию отложений. Эти технологии особенно актуальны при использовании воды из природных источников, содержащей повышенное количество растворённых солей и других минералов.

Полиоксихлориды алюминия (ПОХА) применяются в системах водоподготовки Атырауского нефтеперерабатывающего завода в качестве эффективных коагулянтов для удаления взвешенных веществ, органических соединений и нефтепродуктов из воды. Эти соединения демонстрируют высокую эффективность в широком диапазоне pH, обладают стабильностью, низкой токсичностью и способны снижать общую минерализацию воды. Благодаря этим свойствам ПОХА активно используются в обоих блоках оборотной воды завода, обеспечивая стабильное и высокое качество очищенной воды, необходимое для надёжного функционирования технологических процессов [9].

Сорбенты на основе активированного угля, древесных и торфяных материалов используются для доочистки воды от органических примесей и нефтепродуктов. Эти технологии экологически безопасны и экономичны, что делает их привлекательными для АНПЗ. Сорбенты применяются в системах доочистки сточных вод перед их возвратом в оборотный цикл.

Система оборотного водоснабжения АНПЗ разработана с учетом возросших потребностей производства после модернизации завода. Основной акцент сделан на возврате очищенных стоков в оборотный цикл, что снижает потребление свежей воды. Однако накопление солей в системе требует внедрения эффективных методов обессоливания, таких как обратный осмос и электродиализ. Развитие инфраструктуры охлаждения и водоочистки остается приоритетным направлением для повышения экологической устойчивости и эффективности производства.

1.3 Современные методы очистки

Очистка оборотных вод на нефтеперерабатывающих предприятиях, таких как Атырауский нефтеперерабатывающий завод (АНПЗ), является критически важным процессом для обеспечения устойчивого водопользования, минимизации экологического воздействия и поддержания стабильной работы технологического оборудования. Используемые технологии включают физико-химические, биологические и комбинированные методы, выбор которых определяется составом воды, объемом обработки, экологическими нормами и экономическими факторами.

В работах [13, 14] рассматриваются основные методы очистки оборотных вод, включая механическую фильтрацию (песчаные и гравийные фильтры), сорбцию (активированный уголь, цеолиты), мембранные технологии (обратный осмос, ультрафильтрация), коагуляцию, флокуляцию, окисление (озонирование, хлорирование) и биологическую очистку (биореакторы, микроводоросли). Эти методы адаптированы для удаления характерных загрязнителей оборотных вод, таких как нефтепродукты, взвешенные вещества, органические соединения и соли. Выбор технологии зависит от специфики состава воды, производственных требований и экономической целесообразности. Например, авторы [13] отмечают, что мембранные технологии, такие как обратный осмос, способны удалять до 99% растворенных солей, тяжелых металлов и органических загрязнителей. В экспериментах, описанных в [13], обратный осмос снизил концентрацию хлоридов с 500 мг/л до 10–20 мг/л, а нефтепродуктов — с 50 мг/л до 1–2 мг/л, что соответствует требованиям для оборотной воды в системах охлаждения. Однако высокая стоимость оборудования (1–2 млн долларов для станций производительностью 1000 м³/сутки), энергозатраты (3–5 кВт·ч/м³) и необходимость предварительной подготовки воды (удаление крупных частиц и нефтепродуктов) ограничивают применение мембранных технологий на предприятиях с ограниченными ресурсами, таких как АНПЗ.

Сорбционные методы, подробно изученные в [15], основаны на использовании активированного угля, природных цеолитов и ионообменных смол для удаления органических загрязнителей (нефтепродукты, фенолы) и тяжелых металлов (свинец, кадмий). В [15] указано, что активированный уголь адсорбирует до 90% нефтепродуктов при концентрации 1–5 мг/л, что особенно актуально для оборотных вод АНПЗ с высоким содержанием углеводородов. Однако адсорбционная емкость угля снижается через 3–6 месяцев, требуя термической регенерации при 800–1000 °С или замены, что увеличивает эксплуатационные расходы на 20–30%. В работе [16, 17] обсуждаются перспективные сорбенты, такие как углеродные нанотрубки и графеновые композиты, которые обладают высокой адсорбционной способностью (до 200–300 мг/г для нефтепродуктов). Например, нанотрубки удаляют до 95% фенолов при концентрации 10 мг/л за 2–3 часа [16]. Тем не менее, высокая стоимость данных материалов, превышающая стоимость активированного угля в 10–20 раз, а также сложность их производства ограничивают их применение в промышленных условиях.

Электрокоагуляция, рассмотренная в [15], представляет собой перспективный метод для очистки оборотных вод, при котором ионы коагулянтов (алюминия или железа) генерируются путем электролиза. Предложенный метод позволяет снизить потребность в химических реагентах на 50–70% и эффективно снизить мутность до 95%, а также тяжелые металлы, такие как хром и свинец, и органические загрязнители, включая нефтепродукты и гуминовые кислоты. В эксперименте, описанном в [15], электрокоагуляция снизила мутность воды с 100 NTU до 1–2 NTU за 20–30 минут при токе 5–10 А/м². Однако высокие энергозатраты (до 10 кВт·ч/м³ для

воды с высокой мутностью) и необходимость замены электродов каждые 3–6 месяцев увеличивают эксплуатационные расходы на 15–20%. В [18] подчеркивается, что электрокоагуляция наиболее эффективна для очистных систем с объемом обработки 100–500 м³/сутки, но для крупных систем, таких как БОВ-1 и БОВ-2 АНПЗ, требуется оптимизация энергопотребления.

Биологические методы, описанные в [16], включают использование микроводорослей, бактерий и водных растений для удаления питательных веществ (нитратов, фосфатов) и органических загрязнителей. В [14] отмечается, что микроводоросли, такие как *Chlorella vulgaris*, поглощают до 80% нитратов (с 50 мг/л до 10 мг/л) и 70% фосфатов (с 5 мг/л до 1,5 мг/л) за 5–7 дней при температуре 20–25 °С. Эти методы также способствуют насыщению воды кислородом, что улучшает ее качество. Однако их эффективность снижается при низких температурах (менее 10 °С), высоких концентрациях нефтепродуктов (выше 10 мг/л) или в условиях промышленных стоков АНПЗ, что ограничивает их применение. В [17] предлагается интеграция биологических методов с физико-химическими, например, использование микроводорослей после коагуляции для доочистки воды от остаточных загрязнителей, что позволяет снизить концентрацию нитратов до 5 мг/л и мутность до 0,5 NTU.

Комбинированные технологии, такие как коагуляция с последующей ультрафильтрацией или сорбцией, являются приоритетным направлением для очистки оборотных вод [11]. В [17] описана система, сочетающая коагуляцию с ультрафильтрацией, которая снижает мутность с 50 NTU до 0,1 NTU и концентрацию органического углерода с 15 мг/л до 1–2 мг/л. Такие системы обеспечивают удаление до 95% органических загрязнителей и 99% тяжелых металлов, что соответствует требованиям для оборотной воды в системах охлаждения. Однако их внедрение требует значительных капитальных вложений (500 000–1 млн долларов для станций производительностью 1000 м³/сутки) и квалифицированного персонала, что может быть ограничением для АНПЗ. В [9] подчеркивается необходимость адаптации технологий к местным условиям, включая состав оборотной воды (высокое содержание нефтепродуктов и солей), климат Атырауской области и экономические возможности, а также разработки экологически устойчивых методов, минимизирующих энергозатраты и образование отходов.

1.4 Механизм работы коагулянтов

Коагуляция и флокуляция представляют собой специальные процессы очистки воды, направленные на удаление взвешенных частиц, таких как глина, органические вещества и микрозагрязнители, для снижения мутности и улучшения качества воды [18]. Коагуляция — это процесс дестабилизации коллоидных частиц в воде путем добавления химических реагентов, называемых коагулянтами, таких как сульфат алюминия ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$), хлорид железа (FeCl_3) или ПОХА. Флокуляцию необходимо рассматривать как неотъемлемый этап коагуляционного процесса, предполагающий мягкое

перемешивание, способствующее агрегации дестабилизированных частиц в укрупнённые флоккулы, пригодные для последующего осаждения или фильтрации (18, 19). Исследования показывают, что частицы в воде, например, глина или органика, имеют отрицательный заряд, что приводит к их отталкиванию и стабильности в суспензии (19). Коагулянты, такие как ПОХА, гидролизуются, образуя положительно заряженные виды, которые адсорбируются на поверхности частиц, нейтрализуя их заряд и уменьшая отталкивание.

Физика коагуляции в процессах очистки воды основана на фундаментальных принципах взаимодействия коллоидных частиц, которые являются результатом теории Дерягина-Ландау-Вервея-Овербека (ДЛВО). Эта теория временной стабильности коллоидных суспензий и механизмов их дестабилизации при добавлении коагулянтов, таких как ПОХА или альгинат натрия с ионами. Теория ДЛВО наблюдает баланс между притяжением Ван-дер-Ваальса и электростатическим отталкиванием, определяя условия, при которых частицы могут агрегироваться. Добавление коагулянтов изменяет свойства двойного разрыва слоя вокруг частиц, снижая зета-потенциал и способствуя их агрегации [20-22].

Теория ДЛВО, разработанная Борисом Дерягиным, Льво Ландау, Эвертом Вервеем и Теодором Овербеком в 1940-х годах, описывает стабильность коллоидных систем через взаимодействие двух основных сил:

1. Притяжение Ван-дер-Ваальса: это универсальная сила, возникшая из-за мгновенных дипольных взаимодействий между молекулами или частицами. Для двух сферических частиц радиуса a на расстоянии h энергия притяжения Ван-дер-Ваальса V_A выражается как:

$$V_A = -\frac{A}{12} \left(\frac{1}{h^2} + \frac{1}{(h+2a)^2} - \frac{2}{(h+a)^2} \right), \quad (1)$$

где A – константа Гамакера, зависящая от свойств материала частиц и среды (обычно 10^{-20} – 10^{-19} Дж для коллоидов в воде). Для малых расстояний $h \ll a$ уравнение упрощается:

$$V_A \approx -Aa/12h$$

Эта сила всегда притягивает частицы, способствуя их агрегации [23].

2. Электростатическое отталкивание: коллоидные частицы в воде, такие как глина или органические вещества, обычно имеют отрицательный поверхностный заряд из-за адсорбции ионов или диссоциации поверхностных групп. Этот заряд создает двойной электрический слой (ДЭС), состоящий из поверхностного заряда и окружающего облака противоионов. Энергия электростатического отталкивания (V_R) между двумя сферическими частицами радиусом a выражается как:

$$V_R = 2\pi\epsilon\epsilon_0 a\psi_0^2 \exp(-\kappa h) \quad (2)$$

где ε - диэлектрическая проницаемость среды (для воды $\varepsilon \approx 80$), ε_0 - электрическая постоянная ($8,854 \times 10^{-12}$ Ф/м), ψ_0 - поверхностный потенциал частицы (приблизительно равен зета-потенциалу), κ - обратная длина Дебая, характеризующая толщину ДЭС, h - расстояние между частицами.

Обратная длина Дебая (κ) зависит от ионной силы раствора:

$$\kappa = \sqrt{\frac{2e^2 N_A I}{\varepsilon \varepsilon_0 k T}} \quad (3)$$

где: e - заряд электрона,

N_A - число Авогадро,

I - ионная сила (моль/м³),

k - постоянная Больцмана,

T - абсолютная температура.

Электростатическое отталкивание создает энергетический барьер, предотвращающий агрегацию частиц [26].

Общая энергия взаимодействия (V_T) в теории ДЛВО - это сумма притяжения и отталкивания:

$$V_T = V_A + V_R \quad (4)$$

Энергетический профиль V_T обычно имеет первичный минимум (глубокое притяжение на малых расстояниях), вторичный минимум (слабое притяжение на больших расстояниях) и энергетический барьер, препятствующий агрегации. Стабильность коллоидной системы определяется высотой этого барьера, которая зависит от зета-потенциала и ионной силы [27].

Двойной электрический слой (ДЭС) представляет собой структуру, формирующуюся на границе раздела фаз между твердой поверхностью и жидкой средой, и состоит из двух основных компонентов. Первый - стерновский слой, включающий в себя прочно связанные противоионы, которые непосредственно прилегают к поверхности заряженной частицы и удерживаются за счёт электростатических сил. Второй - диффузный слой, который представляет собой более разреженное облако ионов, постепенно переходящее в объем раствора. Эта структура играет ключевую роль в процессах коагуляции, адсорбции и стабилизации коллоидных систем [23, 24].

Зета-потенциал (ζ) - это электрический потенциал на границе скольжения между диффузным слоем и окружающей средой, измеряемый в милливольтках (мВ). Для большинства коллоидов в воде зета-потенциал отрицательный (-20 до -50 мВ), что обеспечивает стабильность суспензии за счет электростатического отталкивания. Высокий абсолютный зета-потенциал ($|\zeta| > 30$ мВ) указывает на стабильную суспензию, тогда как низкий ($|\zeta| > 15$ мВ) способствует агрегации [26].

Добавление коагулянтов, таких как полиоксихлорид алюминия (ПОХА), сульфат алюминия или ионы кальция (в случае использования альгината натрия), изменяет свойства двойного электрического слоя (ДЭС) несколькими ключевыми способами. Сжатие двойного разъединенного слоя увеличивает коэффициент экранирования (κ), что уменьшает радиус электростатического отталкивания, способствуя сближению частиц и созданию условий для их агрегации [28, 29]. Во-вторых, происходит нейтрализация заряда: катионы, такие как Al^{3+} , комплекс $\text{Al}_{13}\text{O}_4(\text{OH})_{24}^{7+}$ из ПОХА или Ca^{2+} в случае с альгинатом, адсорбируются на отрицательно заряженных поверхностях частиц, снижая их поверхностный и зета-потенциал. По мере приближения зета-потенциала к нулю — точке изоэлектричности — исчезает электростатический отталкивающий барьер, что способствует агрегации частиц [27, 30]. В-третьих, при высоких дозировках коагулянтов может происходить обволакивание частиц и образование межчастичных "мостиков" — например, за счёт образования гидроксидов алюминия или геля кальций-альгината. Это физически способствует агрегации частиц путём их захвата в осадок или полимерную сеть [29, 31].

Коагулянты, такие как ПОХА или альгинат натрия с ионами кальция, дестабилизируют коллоидную систему, изменяя энергетический профиль взаимодействия:

Неорганические коагулянты (ПОХА): ПОХА гидролизует в воде, образуя полимерные виды, такие как $\text{Al}_{13}\text{O}_4(\text{OH})_{24}^{7+}$, которые обладают высоким положительным зарядом. Эти виды эффективно нейтрализуют отрицательный заряд частиц, снижая зета-потенциал до значений, близких к нулю ($\zeta \approx 0$ мВ). Одновременно гидролиз увеличивает ионную силу, сжимая ДЭС. Это уменьшает высоту энергетического барьера, позволяя частицам преодолевать его и агрегироваться в первичном минимуме [27, 28].

Органические коагулянты (альгинат натрия): альгинат натрия работает в сочетании с ионами кальция (Ca^{2+}), которые выполняют двойную роль: нейтрализуют заряд частиц и способствуют гелеобразованию. Ионы кальция адсорбируются на частицах, снижая зета-потенциал, а альгинат формирует гель кальций-альгината через структуру «яичной коробки», физически улавливая частицы. Этот процесс сочетает нейтрализацию заряда и полимерное мостикообразование, снижая зависимость от электростатического барьера и способствуя агрегации во вторичном минимуме или через гелевую сеть [25, 28].

В воде с высокой мутностью, характерной для оборотных вод нефтеперерабатывающих заводов, коллоидные частицы, такие как глина, органические соединения и нефтепродукты, формируют устойчивые суспензии с высоким отрицательным зета-потенциалом (примерно $\zeta \approx 0$ мВ). Для эффективной дестабилизации этих систем необходимо снизить зета-потенциал и сжать двойной электрический слой (ДЭС). Исследования показывают, что применение полиоксихлорида алюминия (ПОХА) в дозировках 10–50 мг/л снижает зета-потенциал до диапазона от –5 до +5 мВ, что обеспечивает агрегацию частиц и снижает мутность воды до уровня 5–10

FNU [30]. Альгинат натрия в сочетании с ионами кальция (Ca^{2+}), при дозах 0,02–10 мг/л альгината и 50–200 мг/л CaCl_2 , позволяет достичь остаточной мутности до 1–2 FNU за счёт образования геля, эффективно захватывающего частицы даже при умеренном снижении зета-потенциала [29]. После дестабилизации коллоидной системы начинается процесс агрегации, протекающий по механизму ортокINETической коагуляции, при котором столкновения между частицами происходят в результате перемешивания. Скорость этого процесса описывается уравнением Смолуховского:

$$\frac{dN}{dt} = -\frac{4}{3}\alpha\phi GN \quad (5)$$

где:

N – концентрация частиц,

α – коэффициент столкновений (зависит от зета-потенциала и энергетического барьера),

ϕ – объемная доля частиц,

G – градиент скорости [31].

При низком зета-потенциале ($\zeta \approx 0$) коэффициент α приближается к 1, что максимизирует скорость агрегации. Оптимальное перемешивание (быстрое: 100–150 об/мин, 1–2 мин; медленное: 20–30 об/мин, 10–15 мин) обеспечивает эффективные столкновения без разрушения флоков [32].

Теория ДЛВО, хотя и эффективно описывает электростатические и ван-дер-ваальсовы взаимодействия, имеет определённые ограничения при применении к реальным системам очистки воды. В частности, она не учитывает стерические взаимодействия, которые обусловлены присутствием полимеров, таких как альгинат натрия, и требуют дополнительного рассмотрения альтернативных механизмов агрегации [33]. Кроме того, сложный химический состав водной среды, включающий нефтепродукты, органические соединения и различные ионы (например, фосфаты), способен существенно изменять поверхностные характеристики частиц и ионную силу раствора, что затрудняет точное моделирование агрегационных процессов [34]. Также важным фактором являются гидродинамические условия, включая перемешивание и турбулентные потоки, которые оказывают значительное влияние на скорость агрегации частиц и должны учитываться наряду с теоретическими предпосылками классической модели [33]. С целью преодоления этих ограничений современные исследования применяют расширенные модели ДЛВО (XDLVO), которые включают в себя стерические и гидрофобные взаимодействия, а также используют численные методы, такие как молекулярная динамика, для более точного описания процессов агрегации в сложных средах (32, 35).

1.4.1 Неорганические коагулянты

Физика коагуляции и флокуляции основана на взаимодействиях между частицами в водной среде. Взвешенные частицы, такие как глина или органика, обычно имеют слабый поверхностный заряд, что приводит к электростатическому отталкиванию, препятствующему их агрегации. Эта стабильность описывается теорией ДЛВО (Дерягина-Ландау-Вервея-Овербека), которая наблюдает баланс между притяжением Ван-дер-Ваальса и электростатическим отталкиванием [32, 34]. Для предотвращения этого воздействия коагулянты включаются для сжатия двойного слоя, что приводит к агрегации малых зета-потенциальных частиц.

К основным физическим механизмам коагуляции относятся несколько процессов, обеспечивающих агрегацию коллоидных частиц в водной среде. Один из них — сжатие двойного электрического слоя, которое происходит при высоких концентрациях индифферентных электролитов, таких как добавленные коагулянты. В результате толщина двойного слоя уменьшается, что приводит к снижению радиуса действия электростатических отталкивающих сил между частицами. Другой важный механизм — нейтрализация заряда, при которой коагулянты, например полиоксихлорид алюминия (ПОХА), поставляют положительно заряженные виды, способные адсорбироваться на поверхности отрицательно заряженных коллоидов. Это способствует нейтрализации их заряда и, соответственно, снижению электростатического отталкивания. Также существует механизм обволакивающей коагуляции, который проявляется при высоких дозировках коагулянтов, вызывающих образование осадков, таких как гидроксид алюминия $Al(OH)_3$. Эти осадки формируют аморфную структуру, способную захватывать частицы подобно сетке в процессе осаждения. Наконец, при использовании полимерных коагулянтов, таких как полиамины, возможен механизм мостикообразования: длинные молекулярные цепи полимеров связывают отдельные частицы между собой, образуя мостики. Этот процесс особенно эффективен на стадии флокуляции, когда агрегаты достигают крупных размеров и легко осаждаются [36].

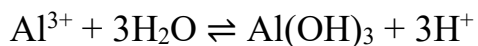
Флокуляция, как физический процесс, зависит от кинетики столкновения частиц. ОртокINETическая флокуляция, вызванная механическим перемешиванием, описывается уравнения:

$$\frac{dN}{dt} = -k \times G \times N \quad (6)$$

Где N — количество частиц, G — градиент скорости (s^{-1}), k — константа, определяемая свойствами частиц и среды [37]. Оптимальное перемешивание обеспечивает достаточную энергию для столкновения без помех, образующихся флоков.

Химия коагуляции и флокуляции включает процессы гидролиза коагулянтов и их взаимодействие с частицами. Для алюминиевых коагулянтов, таких как ПОХА, добавление в воду приводит к диссоциации и

перспективам гидролиза, образуя ряд видов. Упрощенно, гидролиз можно представить так:



Однако, согласно [36], в таких условиях получают мономерные ($\text{Al}(\text{OH})^{2+}$, $\text{Al}(\text{OH})_2^+$), димерные и полимерные виды, такие как $\text{Al}_{13}\text{O}_4(\text{OH})_{24}^{7+}$, которые особенно эффективны в коагуляции. Эти типы зависят от pH, температуры и состояния коагулянта. При низком pH доминирует Al^{3+} , при нейтральном pH – $\text{Al}(\text{OH})_3$ а при высоком pH – $\text{Al}(\text{OH})_4$

Для ПОХА, согласно предварительным гидролизованным видам, высокий уровень pH для коагуляции составляет 5,5–7,5, где полимерные виды, такие как Al_{13} , чтобы обеспечить нейтрализацию заряда (Дуан и Грегори, 2003). При высоких дозировках жизнеспособность осадки $\text{Al}(\text{OH})_3$, которые захватывают частицы в процессе обволакивающей коагуляции [38].

Химия флокуляции включает дальнейшее взаимодействие между дестабилизированными частицами, где полимерные коагулянты или гидроксокомплексы усиливают мостикобразование, способствуя росту флоков. Такие факторы, как щелочность воды, влияют на гидролиз коагулянтов, требуя корректировки pH для обеспечения эффективности.

Эффективность процессов коагуляции и флокуляции определяется рядом ключевых параметров, влияющих на поведение коагулянтов и стабильность коллоидных систем. Ключевым фактором, влияющим на процесс, является pH среды: для коагулянтов на основе диапазона влажности составляет 5,5–7,5, где гидролизованные формы проявляют активную активность, вызывая стадию дестабилизации частиц [32, 36]. Температура также оказывает влияние на процесс, ускоряя кинетику реакций, хотя при этом может изменять растворимость добавляемых веществ. Дозировка коагулянта должна быть тщательно подобрана: её должно быть достаточно для эффективного разрушения двойного слоя и агрегации частиц, но избыток коагулянта способен привести к эффекту рестабилизации, при котором частицы снова приобретают стабильность. Существенное значение имеют и условия перемешивания: на этапе введения коагулянта необходимо быстрое перемешивание в течение 1–2 минут при скорости 100–150 об/мин для равномерного распределения вещества, после чего следует более медленное перемешивание в течение 10–15 минут при 20–30 об/мин, способствующее росту и укрупнению флокул [38]. Кроме того, химический состав воды также влияет на эффективность коагуляции: наличие фосфатов, природных органических веществ или нефтепродуктов может затруднять процесс и потребовать предварительной обработки воды для достижения желаемого результата [39].

1.4.2 Органические коагулянты

В последние годы органические коагулянты, особенно природные полимеры, такие как альгинат натрия, привлекают внимание благодаря их биоразлагаемости, экологической безопасности и низкой токсичности по сравнению с традиционными неорганическими коагулянтами, такими как ПОХА или сульфат алюминия. Альгинат натрия, полисахарид, извлекаемый из бурых водорослей, демонстрирует потенциал как коагулянт или коагулянт-помощник, особенно при использовании с ионами кальция для формирования геля кальций-альгината. Данный раздел подробно описывает механизм, физические и химические аспекты коагуляции и флокуляции с использованием альгината натрия, основываясь на современных научных исследованиях.

Физика коагуляции и флокуляции с альгинатом натрия основана на электростатических взаимодействиях и гелеобразовании. Взвешенные частицы в воде, такие как глина или органические вещества, обычно имеют отрицательный поверхностный заряд, создавая электростатическое отталкивание, которое поддерживает их стабильность в суспензии. Это отталкивание описывается теорией ДЛВО (Дерягина-Ландау-Вервея-Овербека), которая учитывает баланс между притяжением Ван-дер-Ваальса и электростатическим отталкиванием [40]. В случае альгината натрия физический процесс включает следующие этапы:

- Адсорбция ионов кальция: при внесении в водную среду солей кальция, таких как хлорид кальция, двухвалентные ионы Ca^{2+} взаимодействуют с отрицательно заряженными поверхностями дисперсных частиц, частично нейтрализуя их заряд. Это приводит к снижению зета-потенциала и уменьшению силы электростатического отталкивания между частицами.

- Гелеобразование: добавление альгината натрия в присутствии ионов кальция инициирует процесс гелеобразования за счёт специфического связывания Ca^{2+} с гулурановыми фрагментами полимера. В результате формируется трёхмерная структура кальций-альгинатного геля, способная физически захватывать и удерживать взвешенные частицы, способствуя формированию устойчивых агрегатов.

- Флокуляция: Проведение медленного перемешивания со скоростью около 20–30 об/мин в течение 10–15 минут обеспечивает благоприятные условия для взаимодействия и слипания частиц. Это способствует росту флоков до размеров, при которых они становятся способными к эффективному осаждению или удалению фильтрацией [41, 42].

Кинетика флокуляции описывается той же формулой (6), что и для неорганического коагулянта.

Химия коагуляции с альгинатом натрия связана с его способностью образовывать гель при взаимодействии с ионами кальция. Натрий альгинаты представляют собой линейный сополимер, включающий остатки β -D-маннурановой (M) и α -L-гулурановой (G) кислот. Как показано на рисунке:

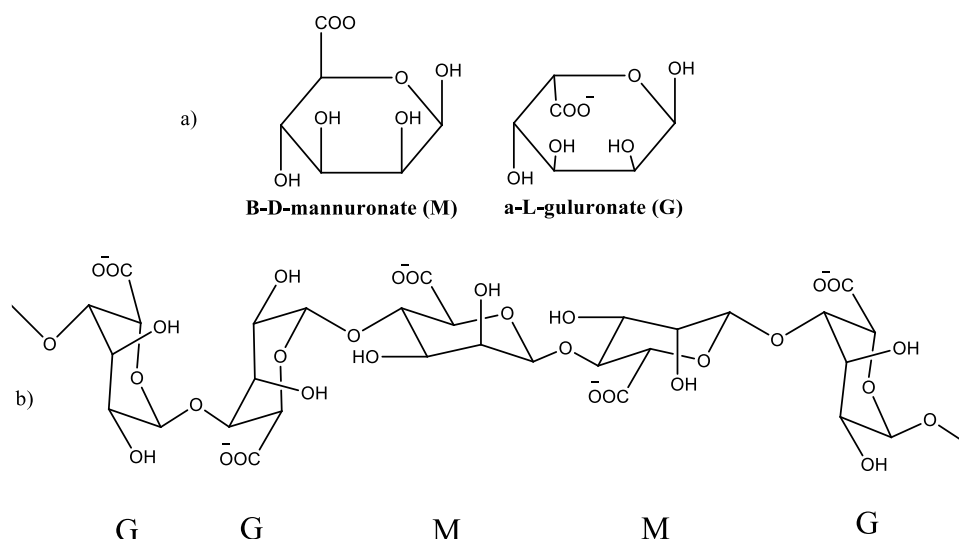
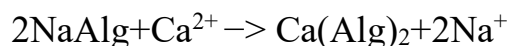


Рисунок 5 – Структурная формула альгината натрия

Гулурановые блоки альгината натрия обладают высокой аффинностью к двухвалентным катионам, особенно к ионам кальция (Ca^{2+}), что приводит к кросс-связыванию полимерных цепей и формированию гелевой структуры, известной как модель «яичной коробки» (egg-box model) [43-46]. Этот процесс начинается с растворения альгината натрия в воде, при котором он диссоциирует с образованием анионных полимерных цепей, содержащих карбоксильные группы ($-\text{COO}^-$). Эти группы обеспечивают способность к ионному взаимодействию с положительно заряженными ионами. При добавлении ионов кальция, обычно поступающих из раствора хлорида кальция (CaCl_2), двухвалентные катионы вступают в координационные связи с карбоксильными группами гулурановых участков полимерной цепи. Такие связи образуются внутри специфических полостей, формируемых парными G-мономерами соседних макромолекул. В результате этих взаимодействий происходит перекрёстное связывание полимерных цепей, что приводит к образованию трёхмерной сетчатой структуры геля. Эта структура обеспечивает эффективное связывание взвешенных частиц и обеспечение формирования стабильных флоккул в процессе водоочистки [45, 47].

Химическая реакция гелеобразования упрощенно описывается как:



где Alg — анион альгината. Оптимальный pH для этого процесса составляет 6–8, так как в кислой среде ($\text{pH} < 5$) гелеобразование ослабляется из-за протонирования карбоксильных групп, а в щелочной ($\text{pH} > 9$) снижается растворимость кальций-альгината [48].

Когда альгинат натрия используется в качестве вспомогательного коагулянта совместно с неорганическими веществами, такими как сульфат алюминия ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$) или полигидрохлорид алюминия (ПОХА), коагуляционный процесс включает в себя комплекс взаимодействий,

сочетающий ионные и полимерные механизмы. На начальной стадии коагуляции неорганический коагулянт снижает поверхностный заряд частиц за счет гидролиза, что приводит к образованию аморфных флокулов гидроксида, таких как $\text{Al}(\text{OH})_3$, которые способствуют дальнейшей агрегации [49, 50]. Следующим этапом является формирование полимерных мостиков: благодаря своей высокомолекулярной структуре альгинат натрия способен соединять между собой уже сформированные первичные флокулы, создавая более крупные и устойчивые агрегаты, которые легче осаждаются и удаляются из воды [51, 52].

Дополнительно, если альгинат натрия применяется совместно с ионами кальция в качестве основного реагента, в процесс коагуляции вовлекаются другие механизмы. Во-первых, происходит ионная адсорбция: двухвалентные ионы кальция (Ca^{2+}) сорбируются на поверхности отрицательно заряженных дисперсных частиц, таких как органические вещества или глинистые минералы, тем самым уменьшая их зета-потенциал и ослабляя электростатическое отталкивание [53]. Во-вторых, альгинат натрия вступает во взаимодействие как со свободными, так и с адсорбированными ионами Ca^{2+} , формируя пространственную кальций-альгинатную гелевую структуру. Эта структура способна инкорпорировать взвешенные частицы в свою трёхмерную матрицу, эффективно удерживая их в объёме геля [54, 55]. Далее происходит развитие флоков: благодаря сочетанию зарядовой нейтрализации, обеспеченной кальцием, и полимерного мостикобразования, обусловленного альгинатом, формируются крупные, прочные агрегаты [56]. В завершение, такие флокулы успешно осаждаются под действием силы тяжести или удаляются посредством фильтрации, что значительно снижает мутность воды и концентрацию взвешенных веществ [54].

Таким образом, применение альгината натрия в качестве вспомогательного коагулянта включает две ключевые стадии: первичную коагуляцию, в ходе которой под действием неорганического коагулянта, например ПОХА, происходит снижение поверхностного заряда коллоидов и образование первичных флокулов, и усиление флокуляции, при котором альгинат натрия, формируя полимерные мостики между частицами, способствует их укрупнению, повышению устойчивости и ускоренному осаждению [57].

1.5 Экономические аспекты

Согласно концепции устойчивого развития, приоритетным направлением научно-технического прогресса выступает внедрение технологий, направленных на бережное использование природных ресурсов. В этом контексте особо актуальной становится задача рационального водопользования, учитывая масштабное применение воды в различных отраслях промышленности, особенно в нефтепереработке. Для снижения водной нагрузки и предотвращения загрязнения окружающей среды промышленными сточными водами широко внедряются системы оборотного

водоснабжения, предполагающие повторное использование очищенной воды в производственных процессах [58].

Применение замкнутых циклов водооборота позволяет не только существенно сократить объем свежего водозабора, но и снизить количество сточных вод, направляемых на централизованные очистные сооружения. Это способствует уменьшению антропогенного давления на водные экосистемы, укреплению экологической безопасности промышленных территорий и сохранению водных ресурсов для будущих поколений.

Особую обеспокоенность вызывает присутствие в сточных водах токсичных и трудноудаляемых соединений, таких как нефтепродукты и их производные, широко встречающиеся на предприятиях нефтехимического профиля, а также на объектах автосервиса и в производстве химической продукции. Эффективная очистка таких сточных вод затрудняется, в частности, из-за использования неадаптированных технологических схем или недостаточно эффективного локального оборудования [59, 60].

В условиях изменяющейся концентрации загрязнителей и колебаний объемов сточных вод необходимо применять гибкие, адаптивные технологии, учитывающие специфику загрязненности и характеристики конкретного предприятия [59, 61]. Повышение степени очистки, снижение эксплуатационных затрат, а также интенсификация процессов удаления вредных примесей — ключевые задачи, стоящие перед современными системами оборотного водоснабжения.

Разрабатываемые технические решения в этой области должны удовлетворять совокупности требований: обеспечивать высокую эффективность очистки, быть энерго- и ресурсосберегающими, экологически безопасными и экономически оправданными в условиях промышленного применения [62, 63]. Кроме того, они должны обладать способностью к масштабированию, удобству в эксплуатации и устойчивости к изменениям состава сточных вод. Всё это делает актуальным поиск и внедрение инновационных методов очистки, включая использование новых реагентов, комбинированных схем обработки и автоматизированных систем управления процессами водоподготовки.

2 Экспериментальная часть

2.1 Используемые реагенты

В рамках исследования были использованы материалы, приобретенные в соответствии со стандартом качества, что обеспечивает точность и воспроизводимость экспериментальных данных.

Алюминий: приобретен в виде гранул у АО «Казахстанский электролизный завод» (входит в состав Eurasian Resources Group, ERG), единственного производителя первичного алюминия в Казахстане. Чистота алюминия составляет 99.7% (марка А7 по ГОСТ 11069-2019), плотность — 2.70 г/см³, температура плавления — 660.32°C. Алюминий подвергался предварительной очистке от оксидной пленки в щелочной среде для повышения реакционной активности.

Галлий: поставлен в виде цилиндрических слитков массой 900–1000 г от АО «Казахстанский электролизный завод». Чистота галлия — 99.999% (марка Гл0 по ГОСТ 12797-77), температура плавления — 29.80°C, плотность при 20°C — 5.904 г/см³. Низкая температура плавления позволяла проводить легирование при умеренных температурах, минимизируя энергозатраты. Галлий хранился в герметичных контейнерах из-за его склонности к окислению на воздухе.

Индий: закуплен у АО «Казахстанский электролизный завод» в виде цилиндрических слитков массой от 50 г до 1 кг (марка Ин00, чистота 99.999% по ГОСТ 10297-94). Температура плавления — 156.59°C, плотность при 20°C — 7.31 г/см³. Индий использовался как легирующий элемент для формирования эвтектических структур в сплавах, улучшающих их реакционную способность в кислых средах. Перед использованием слитки дробились на фрагменты размером 10–20 мм.

Олово использовалось в виде чушек массой от 22 до 26 кг с массовой долей основного вещества 99,565 % (соответствует марке О1 по ГОСТ 860-75). Данный металл характеризуется температурой плавления 231,91°C и плотностью 7,31 г/см³. Перед использованием чушки подвергались предварительному измельчению до гранул размером 3–5 мм, что обеспечивало более равномерное распределение олова в составе сплава. Введение олова в сплав способствовало снижению энергии активации процесса растворения алюминия в кислой среде.

Соляная кислота: использовалась без дополнительной очистки, концентрация 35% (массовая доля HCl — 35%, плотность 1.16 г/см³), соответствующая ГОСТ 3118-77 (марка «химически чистая», ХЧ). Температура кипения азеотропной смеси (20.22% HCl) — 108.6°C. Кислота применялась для растворения сплавов и синтеза полиоксихлорида алюминия, обеспечивая стабильные условия реакции.

Четырехкомпонентные сплавы:

Сплав 1: состав Al — 90%, Ga — 5%, In — 2.5%, Sn — 2.5%. Получен методом индукционной плавки при 800°C с выдержкой 30 минут в защитной атмосфере аргона для предотвращения окисления.

Коагулянт 7.1: на основе сплава Al — 90%, Ga — 5%, In — 2.5%, Sn — 2.5%. Массовая доля Al_2O_3 в ПОХА — 32.5%, основность — 49.6%. Коагулянт синтезировался путем растворения сплава в 3% HCl с последующим упариванием при 105°C. Полученный порошок растворялся в дистиллированной воде до концентрации 0.1% для применения в очистке воды.

Дистиллированная вода: произведена с использованием лабораторного дистиллятора АЭ-10 (трехфазный, производительность 10 л/ч). Качество воды соответствовало ГОСТ Р 58144-2018 (электропроводность < 5 мкСм/см, pH 5.5–7.0). Использовалась для приготовления растворов и промывки оборудования, минимизируя влияние примесей.

Альгинат натрия: закуплен у компании «Molecular Meal» (Казахстан). Химическое название — натриевая соль поли(3,4,5,6-тетрагидроксиоксан-2-карбоксилата). Это природный полисахарид, извлекаемый из бурых водорослей (*Laminaria spp.*), соответствующий пищевой добавке E401 по Codex Alimentarius. Температура плавления достигает 99°C, плотность — 1.25 г/см³. Растворение в воде происходило медленно, с образованием вязкого геля при концентрации 0.1%. Коммерческая стоимость данного продукта составляла – 5990 тг/кг.

2.2 Характеристика исследуемой воды

В качестве исследуемой воды анализировались оборотные воды, отобранные с блоков биологической очистки (БОВ-1 и БОВ-2) ТОО «Атырауский нефтеперерабатывающий завод» (АНПЗ). Сравнительный анализ проводился с использованием подпиточной воды из реки Жайык в качестве эталона. Результаты физико-химических анализов представлены в таблицах 1 и 2, отражающих данные за май и сентябрь 2024 года соответственно. Эти данные служат основой для оценки качества воды и определения необходимости применения коагулянтов, таких как сплав 7.1, для повышения эффективности очистки.

Таблица 1 иллюстрирует существенные различия в характеристиках подпиточной воды и оборотных вод блоков БОВ-1 (системы 1 и 2) и БОВ-2 (система 2). Подпиточная вода из реки Жайык характеризуется нейтральным pH (7,33) и высокой начальной мутностью (98,1 FNU), указывающей на значительное содержание взвешенных частиц. Оборотные воды демонстрируют более высокие значения pH (7,60–7,94), что может быть связано с накоплением щелочных компонентов в процессе переработки. Мутность оборотной воды варьируется от 30,2 FNU (БОВ-2, 2-я система) до 73,58 FNU (БОВ1, 2-я система), что ниже, чем у подпиточной воды, но всё ещё требует очистки. Электропроводность увеличивается от 447 мС/см (подпиточная вода) до 1310 мС/см (БОВ-2, 2-я система), отражая рост общей минерализации (407,03 мг/дм³ до 904,96 мг/дм³), что указывает на накопление солей и ионов. ХПК (химическое потребление кислорода) снижается от 1000 мгО/л (подпиточная вода) до 160 мгО/л (БОВ-2, 2-я система), что

свидетельствует об частичном окислении органических загрязнителей, однако остаточные значения остаются высокими.

Таблица – 1. Исходные данные физико-химических свойств анализируемой воды отобранной в мае

Показатели	21.05.24			
	Подпиточная вода с реки Жайык	Оборотная вода БОВ-1 (1 система)	Оборотная вода БОВ-1 (2 система)	Оборотная вода БОВ-2 (2 система)
рН, ГОСТ 26449.2-85	7.33	7.60	7.82	7.94
Плотность, кг/м ³ ГОСТ 26449.1-85	995	990	985	990
Мутность, FNU. ГОСТ 3351-74	98.1	43.94	73.58	30.2
Электропроводность, мS/cm	447	477	1075	1310
Карбонатная жесткость воды, мг.экв/дм ³ . ГОСТ 4151-72	1.36	3.4	2.52	3.68
Общая минерализация, мг/дм ³	407.03	330.31	661.57	904.96
Карбонаты, мг/дм ³	0	5.2	20	60
Гидрокарбонаты, мг/дм ³	264.3	164.8	447.33	630.3
Хлориды, мг/дм ³ ГОСТ 4245-72	18.23	34.40	35.10	20.93
Перманганатная окисляемость, мгО/дм ³ ГОСТ 26449.2-85	1.60	3.68	4.86	3.63
ХПК, мгО/л	1000	400	200	160

Таблица 2 показывает изменения характеристик воды в сентябре 2024 года. Подпиточная вода из реки Жайык демонстрирует рост мутности до 201,3 FNU и увеличение электропроводности до 497 mS/cm, что может быть связано с сезонными факторами на территории Атырау, такими как летние-осенние паводки. Мутность оборотных вод блоков БОВ-1 (системы 1 и 2) и БОВ-2 (система 1) находится в основном 30,3–89,1 FNU, что ниже, чем у подпиточной воды, но варьируется в зависимости от используемой системы очистки. рН остается нейтральным (7,18–7,51), а электропроводность достигает максимума 880 mS/cm (БОВ-1, 2-я система), указывая на дальнейшее нарастание минерализации. ХПК варьируется от 200 мгО/л до 320 мгО/л, что подтверждает наличие остаточных органических загрязнителей.

Увеличение хлоридов (до 124,03 мг/дм³ в БОВ-2, 1-я система) и гидрокарбонатов (до 326,35 мг/дм³ в БОВ-1, 2-я система) подчёркивает сложность химического состава оборотных вод.

Таблица – 2. Исходные физико-химические свойства анализируемой воды отобранной в сентябре

Показатели	25.09.24				
	Подпиточная вода с реки Жайык	Оборотная вода БОВ-1 (1 система)	Оборотная вода БОВ-1 (2 система)	Оборотная вода БОВ-2 (1 система)	Оборотная вода БОВ-1 (1 система)
рН, ГОСТ 26449.2-85	7.40	7.32	7.51	7.44	7.18
Плотность, кг/м ³ ГОСТ 26449.1-85	990	990	990	980	985
Мутность, FNU. ГОСТ 3351-74	201.3	66.4	89.1	30.3	33.2
Электропроводность, мС/см	497	715	880	874	528
Карбонатная жесткость воды, мг.экв/дм ³ ГОСТ 4151-72	3.64	4.2	5.32	3.08	2.24
Общая минерализация, мг/дм ³	616.0	611.8	369.6	611.8	369.6
Карбонаты, мг/дм ³	5.6	5.6	11.5	5.6	0
Гидрокарбонаты, мг/дм ³	219.6	259.3	326.35	292.8	271.45
Хлориды, мг/дм ³ ГОСТ 4245-72	30.50	75.20	93.43	124.03	62.01
Перманганатная окисляемость, мгО/дм ³ ГОСТ 26449.2-85	3.378	5.12	3.749	2.431	0.453
ХПК, мгО/л	280	200	280	320	320

Сравнение данных за май и сентябрь выявляет сезонные и эксплуатационные различия. Мутность подпиточной воды увеличивается с 98,1 FNU до 201,3 FNU, что указывает на ухудшение качества исходного водного источника. Оборотные воды демонстрируют снижение мутности в среднем на 30–50% по сравнению с подпиточной водой, однако значения остаются значительными (до 89,1 FNU), что требует применения коагулянтов. Рост электропроводности и общей минерализации в оборотных водах (с 330,31 мг/дм³ до 904,96 мг/дм³ в мае и до 611,8 мг/дм³ в сентябре) свидетельствует о накоплении солей и ионов, что может затруднять процессы

коагуляции. Снижение ХПК с мая по сентябрь (с 400–1000 мгО/л до 200–320 мгО/л) указывает на частичную эффективность существующих систем очистки, однако остаточные загрязнители требуют дополнительной обработки.

2.2.1 Методика определения мутности

Измерение мутности проводилось осуществлялось в соответствии с [64] с применением турбидиметра НАСН 2100Qis. Перед измерением пробу тщательно перемешивали для достижения однородности, после чего проводили анализ согласно инструкциям, предоставленным производителем прибора. Значение мутности определялось путем считывания показаний по градуировочной шкале, предварительно откалиброванной с использованием стандартных растворов. Метод позволяет получить точные данные о концентрации взвешенных частиц, отражающих прозрачность исследуемой воды.

2.2.2 Методика определения химического потребления кислорода

Определение химического потребления кислорода (ХПК) в ограниченных пробах воды проводилось согласно [65] с использованием бихроматного метода окисления. Суть метода заключается в окислении органических и частично неорганических веществ, содержащихся в воде, с использованием двуххромовокислого калия ($K_2Cr_2O_7$) в присутствии концентрированной серной кислоты (H_2SO_4). Значение ХПК рассчитывали по разнице объёмов титранта, израсходованного в основном и холостом опытах, с учётом объёма пробы и концентрации восстановителя.

Для расчета результатов используется данная формула:

$$ХПК = \frac{V_A \times V_X \times N \times 8 \times 1000}{V_0}, \text{ мгО/л, (7)}$$

где

V_A и V_X – объёмы раствора соли Мора, использованные для титрования в контрольном эксперименте и при анализе проб, соответственно, мл;

N – нормальность титрованного раствора соли Мора, г-экв/л;

V – объём анализируемой пробы сточной воды, мл;

8 – эквивалент кислорода.

ХПК служит важным индикатором степени загрязнения воды органическими соединениями и применяется для оценки эффективности процессов водоочистки.

2.2.3 Методика определения перманганатной окисляемости

Перманганатная окисляемость воды определялась по [66]. Метод основан на окислении веществ и некоторых легкоокисляемых неорганических

соединений раствором перманганата калия (KMnO_4) в кислой среде, образующей серную кислоту (H_2SO_4). Пробу нагревают до заданной температуры в течение строго определенного времени. После завершения реакции остаток не вступившего в реакцию перманганата количественно титруется раствором щавелевой кислоты ($\text{C}_2\text{H}_2\text{O}_4$), что позволяет установить количество израсходованного окислителя. Полученное значение отражает содержание веществ, способных к окислению, и служит индикатором степени органического загрязнения воды. Метод отличается доступностью, воспроизводимостью и пригоден для оперативного контроля качества водной среды.

$$I_{Mn} = \frac{V_3 \times V_0 \times C \times K \times 5 \times M}{V_4}, \text{ мгО/л, (8)}$$

где

V_3 – объем рабочего раствора, израсходованного на титрование анализируемой воды, см^3 ;

V_0 – объем рабочего раствора, израсходованного на титрование холостой пробы воды, см^3 ;

C – концентрация рабочего раствора KMnO_4 , ммоль/ дм^3

N – поправочный коэффициент;

M – атомная масса кислорода, равная 8, гО/моль;

V_4 – объем пробы аналитической воды, взятой для титрования, см^3 ;

5 – стехиометрический коэффициент.

2.2.4 Методика определения концентрации хлорид-ионов

Содержание ионов хлора в водной пробе определялось по методике, регламентированной [67]. Метод основан на реакциях осаждения: в нейтральной или слабощелочной среде к пробе добавлялся раствор нитрата серебра, в результате чего образуется труднорастворимый осадок хлорида серебра. В качестве индикатора применялся хромовокислый калий, который при избытке серебра изменяет окраску раствора, сигнализируя об окончании реакции. Такой подход позволяет точно определить концентрацию хлоридов в водной среде, что особенно важно при оценке степени загрязненности сточных вод и пригодности их к повторному использованию.

$$X = \frac{v \times K \times g \times 1000}{V}, \text{ мг/дм}^2, \text{ (9)}$$

где

v – объем титра, см^2 ;

K – поправочный коэффициент к раствору нитрата серебра;

g – количество хлор-иона, соответствующее 1 см^2 раствора азотнокислого серебра, мг;

V – объем анализируемой воды, см².

2.2.5 Методика определения общей жесткости воды

Измерения жесткости проводились на основе методики, изложенной в [68]. Принцип метода заключается в комплексонометрическом титровании: ионы кальция (Ca^{2+}) и магния (Mg^{2+}), определяющие степень жесткости, титровались раствором трилона Б (ЭДТА — тринатриевая соль этилендиаминтетрауксусной кислоты). В качестве индикатора использовался эрихром черный Т или другой соответствующий реагент, обеспечивающий визуальную фиксацию окончания реакции по изменению окраски. Этот метод позволяет получить надежные данные о жесткости воды, что имеет значение при оценке качества сточных вод и выборе методов их последующей обработки.

2.3 Метод изготовления многокомпонентного сплава активированного алюминия

Сплавы, содержащий алюминий, галлий, индий и олово изготавливают следующим образом:

Измеряют массу алюминия на аналитических весах с точностью $\pm 0,0001$ г и плавят в муфельной печи при температуре от 700, в зависимости от условия плавки сплава, используя алундовые тигли. После того, как алюминий расплавился, добавляем активные добавки (галлий, индий и олово) и перемешиваем кварцевым стержнем для равномерного распределения компонентов. Полученный расплав выдерживают в печи 30 минут и разливают в гранитовой форме, охлаждая в вакууме. Из слитков с помощью аналитической мельницы получаем порошок и храним в бьюксах, наполненном аргоном.



Рисунок 6 – Подготовка сплавов, для дальнейшего использования

2.4 Метод синтеза полиоксихлорида алюминия

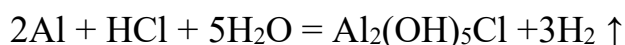
Для получения неорганического коагулянта — полиоксихлорида алюминия (ПОХА) — в качестве алюминиесодержащего сырья применялся сплав лёгких и рассеянных металлов. Используемое сырьё предварительно измельчалось до состояния порошка, стружки или гранул с помощью лабораторной мельницы, что обеспечивало его равномерное взаимодействие в процессе синтеза.

Синтез ПОХА проводился в круглодонной двухгорлой колбе объемом 500 мл, оборудованной механической мешалкой, термометром и обратным холодильником. В реакционный сосуд вносили 250 мл раствора соляной кислоты с концентрацией 1,5 %. При постоянном перемешивании в раствор добавляли 2,5 г подготовленного алюминиевого сплава. Реакция между кислотой и металлом протекала с выделением тепла и не требовала дополнительного подогрева.

В ходе экзотермического взаимодействия температура смеси возрастала до 81,1–81,8 °С, что соответствует оптимальному температурному диапазону для синтеза ПОХА. Общее время протекания реакции составляло от 2 до 3 часов, при этом рабочая температура стабилизировалась на уровне около 60 °С.

После завершения синтеза реакционную массу фильтровали через обеззоленный фильтр марки «красная лента» для отделения нерастворимых остатков. Полученный раствор упаривали при температуре 105 °С до полного удаления влаги, в результате чего образовывался сухой порошкообразный коагулянт — полиоксихлорид алюминия, с общей формулой $Al_n(OH)_mCl(3n-m)$.

Процесс протекает по схеме [7]:



Ускорение растворения алюминия в кислотной среде достигалось за счёт присутствия в сплаве таких элементов, как индий, галлий и олово. Эти компоненты играли роль активаторов: разрушали пассивирующую оксидную пленку алюминия, создавали микрогальванические пары и эвтектические соединения, что способствовало повышению реакционной способности сплава. В процессе реакции данные рассеянные металлы не вступали в химическое взаимодействие, а осаждались в виде капель на дно реакционного сосуда, откуда могли быть извлечены и использованы повторно при подготовке новой партии алюминиевого сплава.

2.4.1 Методика определения содержания оксида алюминия

Определение содержания Al_2O_3 в полученном коагулянте осуществлялось по методике, приведённой в Приложении Б [69]. Метод основан на образовании устойчивого комплекса иона алюминия с трилоном Б в кислой среде. Для ускорения реакции раствор проб коагулянта с избытком

трилона Б кипятили в течение 15 минут. Затем оставшийся избыток трилона Б титровали раствором сернокислого цинка в присутствии индикатора ксиленолового оранжевого при $pH \approx 5,5$.

Массовая доля коагулянта в пересчете на Al_2O_3 рассчитывается по формуле:

$$X = \frac{(V_1 \times K_1 - V_2 \times K_2) \times 0,002549}{m \times V_3} \times 100, \% \quad (10)$$

где:

V_1 — объём трилона Б, cm^3 ;

V_2 — объём раствора сернокислого цинка, cm^3 ;

K_1, K_2 — поправочные коэффициенты для титрантов;

0,002549 — масса Al_2O_3 , соответствующая 1 cm^3 раствора цинка при нормировке 0,05 моль/ dm^3 , г;

m — масса навески коагулянта, г.

V_3 — 1 cm^3 раствора сернокислого цинка молярной концентрации 0,05 моль/ dm^3 ;

2.4.2 Методика определения основности

Показатель основности коагулянта оценивали по методу обратного титрования, изложенному в [69]. Перед началом анализа алюминий осаждали в виде гидроксида, после чего пробу титровали раствором соляной кислоты в присутствии индикатора (фенолфталеина).

Основность выражает соотношение между количеством гидроксильных ионов, способных к гидролизу, и общим содержанием алюминия. Данный параметр оказывает существенное влияние на активность коагулянта, в частности — на интенсивность образования хлопьев при очистке воды.

Результат измерений вычисляют по формуле:

$$X = \left(1 - \frac{(C_1 V_1 \times K_1 - C_2 V_2 \times K_2) \times 26,982}{m \times 3 \times 0,5292 \times X_1 \times 1000} \right) \times 100, \% \quad (11)$$

где

C_1 и C_2 — молярные концентрации NaOH и HCl соответственно (0,2 моль/ dm^3);

V_1 — объём раствора гидроксида натрия, cm^3 ,

V_2 — объём раствора соляной кислоты, cm^3 ,

K_1 и K_2 — соответственно поправочные коэффициенты;

26,982 — молярная масса алюминия, г/моль;

0,5292 — коэффициент пересчета Al_2O_3 на Al;

m — масса навески коагулянта, г;

X_1 — массовая доля оксида алюминия в коагулянте, %

2.4.3 Метод получения 0,1% раствора полиоксихлорида алюминия

Для приготовления 0,1 % раствора коагулянта, содержащего 1 г Al_2O_3 в 1 дм^3 , расчет необходимой навески ПОХА производился по [70] с использованием следующей формулы:

$$m = \frac{1}{x} * 100, \text{ г (12)}$$

где m – масса ПОХА

1 – 1 грамм Al_2O_3

x – массовая доля Al_2O_3 в ПОХА, %

Приготовление раствора проводилось путём растворения расчетной массы ПОХА в одном литре дистиллированной воды с последующим нагреванием на водяной бане для ускорения растворения и обеспечения однородности полученного раствора.

2.5 Метод получения 0,1% раствора органического коагулянта

Методика получения 0,1% раствора альгината натрия основана на модифицированном подходе, заимствованном из исследования [71], в котором рассматривалась технология очистки воды с повышенной мутностью с применением природных полимеров.

В плоскодонную химическую колбу объемом 500 мл вносили 1,000 г альгината натрия (взвешенного на аналитических весах с точностью $\pm 0,0001$ г), что соответствует массовой доле 0,1% при последующем доведении объема раствора до 1 литра. К сухому веществу при постоянном перемешивании магнитной мешалкой (скорость 250 об/мин) постепенно добавляли 250 мл дистиллированной воды, предварительно нагретой до температуры 40 °С. Растворение продолжалось в течение трёх часов до образования однородного гелеобразного раствора, что объясняется высокой молекулярной массой альгината и его склонностью к гелеобразованию.

Полученную вязкую смесь фильтровали через обеззоленный фильтр марки «синяя лента» для удаления остаточных волокон или нерастворимых примесей. Затем фильтрат переносили в мерную колбу объемом 1000 мл и доводили объем до метки дистиллированной водой. После этого раствор повторно перемешивали до получения однородной массы.

Значение pH определяли с использованием электронного pH-метра. Как правило, показатель pH находился в пределах 6,0–8,0 благодаря характеристикам используемых компонентов. В случае необходимости значение pH корректировали добавлением 0,1 М раствора гидроксида натрия.

Для активации коагулирующих свойств дополнительно готовили 1%-ный раствор хлорида кальция, растворяя $1,000 \pm 0,001$ г CaCl_2 в 100 мл дистиллированной воды. Непосредственно перед применением 10 мл этого раствора вводили в 1000 мл раствора альгината натрия. Смесь перемешивали на магнитной мешалке при 150 об/мин в течение 5 минут для равномерного

распределения ионов кальция, вызывающих перекрестное сшивание полимерных цепей альгината с образованием структуры, напоминающей «яичную коробку».

2.6 Приготовление смешанного раствора органического и неорганического коагулянтов

Методика получения смеси коагулянтов, концентрации 0,1% была заимствована с адаптацией из работы [71], где описано применение альгината натрия в качестве коагулянт-помощника совместно с алюмосодержащим коагулянтом. Наилучшие результаты флокуляции и осветления воды были достигнуты при добавлении компонентов коагулянтов 1:2 или 1:3, как указано в соответствующей методике.

После приготовления индивидуальных 0,1%-ных растворов альгината натрия и полиоксихлорида алюминия (ПОХА), отмеряли объёмы 333 мл и 667 мл соответственно, обеспечивая нужное соотношение (1:2). Компоненты смешивали в мерной колбе объемом 1000 мл при помощи магнитной мешалки со скоростью вращения 250 об/мин в течение 10 минут до достижения равномерной консистенции.

2.7 Методика обработки оборотной воды смешанным раствором коагулянта

Обработка оборотной работы осуществлялась в соответствии с требованиями [72]. В очищаемую воду дозировали определённое количество коагулянтной смеси (в мл/л), предварительно определённое экспериментально, при интенсивном перемешивании. Этап быстрого перемешивания длился 3 минуты, после чего скорость мешалки уменьшали и продолжали медленное перемешивание ещё в течение 15 минут. По завершении перемешивания раствор отстаивали в течение 30 минут для образования и осаждения хлопьев.

2.8 Метод анализа коррозионной активности

Для проведения данного исследования были использованы образцы стали марки Ст3. Химический состав стали соответствует нормативам, установленным [73], и включает: углерод (C) — 0,14–0,22 %, марганец (Mn) — 0,30–0,65 %, кремний (Si) — 0,05–0,17 %, фосфор (P) — не более 0,04 %, сера (S) — не более 0,05 %. В качестве испытываемой среды применялась оборотная вода, полученная с территории ТОО «АНПЗ».

В ходе эксперимента рассматривались четыре варианта водной среды:

- неочищенная оборотная вода;
- вода, обработанная смешанным коагулянтом (альгинат натрия + ПОХА);
- вода, обработанная раствором полиоксихлорида алюминия (ПОХА);
- вода, обработанная раствором альгината натрия.

Подготовка металлических образцов

Перед началом испытаний поверхности образцов из стали подвергались механической обработке с использованием абразивной шлифовальной бумаги. После шлифовки образцы промывались дистиллированной водой, обезжиривались этиловым спиртом и тщательно высушивались. Начальную массу каждого образца определяли с использованием аналитических весов с точностью $\pm 0,0001$ г.

До начала эксперимента проводился предварительный физико-химический анализ каждой исследуемой водной среды, после чего вода фильтровалась для удаления возможных взвешенных частиц. Испытания коррозионной активности проводились гравиметрическим методом. Подготовленные образцы стали помещались в лабораторные стаканы, содержащие исследуемые варианты воды. Экспозиция длилась заданное фиксированное время.

По завершении эксперимента стальные образцы извлекались из раствора, промывались дистиллированной водой, очищались от продуктов коррозии как механическим, так и химическим способом, затем высушивались и вновь взвешивались.

Для определения скорости коррозии использовалось гравиметрическое выражение:

$$K = \frac{m_1 - m_2}{S \cdot \tau} \text{ (г/(м}^2 \cdot \text{ч))} \quad (13)$$

где

m_1 – масса стального образца до начала испытания, г;

m_2 – масса того же образца после завершения испытания, г;

S – площадь поверхности исследуемого образца, м^2 ;

τ – продолжительность воздействия коррозионной среды, ч.

3 Результаты и выводы

3.1 Сравнение активности сплавов

В рамках исследования коагулянтов для процессов очистки воды был проведён анализ различных алюминиевых сплавов с целью выбора оптимального материала.

Активность алюминиевого сплава определяется с использованием ряда методик, каждая из которых позволяет охарактеризовать разные аспекты его реакционной способности и устойчивости. Один из основных методов — кинетический анализ выделения водорода, при котором измеряется объём водорода (в дм^3), выделяющегося в результате реакции сплава с соляной кислотой (HCl) во времени (в минутах) с использованием газометрических установок. Высокая скорость и объём выделения газа свидетельствуют об интенсивном растворении алюминия и разрушении защитной оксидной плёнки. Второй метод — гравиметрический, регламентированный ГОСТ 9.908-85, заключается в определении потери массы сплава после взаимодействия с кислотой. Полученные данные позволяют рассчитать скорость коррозии в $\text{г}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$ и степень растворения материала. Третий подход — электрохимические измерения, включающие регистрацию поляризационных кривых и проведение электрохимической импедансной спектроскопии согласно ISO 16773-1:2016. Эти измерения дают информацию о коррозионном потенциале и скорости анодного растворения сплава. Четвёртый метод — микроструктурный анализ, который выполняется с применением сканирующей электронной микроскопии (SEM) и рентгеновской дифракции (XRD) для изучения поверхностной морфологии, фазового состава и эвтектических включений, оказывающих влияние на реакционную способность сплава. Заключительный этап, регламентированный ГОСТ 9.907-83, включает удаление продуктов, таких как оксиды и гидроксиды, с поверхности сплава, что необходимо для точного определения остаточной массы и объективного измерения активности материала.

Для сравнительного анализа были изучены сплавы 2.1, 4.1, 7.1 и 9.1, характеристики которых представлены в таблице 3.

Для основного метода определения активности АСА был использован кинетический газовый анализ с применением газового счетчика барабанного типа ГСБ-400. Метод основан на измерении объема водорода, выделяющегося в результате реакции сплавов с 3%-ным раствором соляной кислоты и дистиллированной водой при температуре 25 °С. Контроль температуры осуществлялся с помощью термометра с точностью $\pm 0,1^\circ\text{C}$.

Эксперимент проводился в двухгорловой колбе, в которую помещали 2,5 г исследуемого сплава и 250 мл реакционного раствора, обеспечивая соотношение 1:100. Объем выделившегося водорода регистрировался с течением времени, что позволяло построить кинетические кривые взаимодействия. Полученные результаты приведены в таблицах 4 и 5.

Таблица – 3. Состав и параметры плавки сплавов

Шифр сплава, №	Содержание металлов, %				Температура плавки, °C	Время выдержки, мин
	Al	Ga	In	Sn		
2.1	85	5	5	5	825	30
4.1	85	5	5	5	900	30
7.1	95	2.5	1.25	1.25	800	30
9.1	94	3.8	1.5	0.7	750	30

Таблица 4 – Кинетический анализ сплавов при реакции с 3% водном раствором соляной кислоты

Время, мин	2.1 + HCl		7.1 + HCl		4.1 + HCl		9.1 + HCl	
	V	%	V	%	V	%	V	%
0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0,5	6,53	0,98	12,48	0,16	2,49	0,76	25,08
2	2,85	37,25	2,55	32,48	0,33	5,13	1,24	40,92
3	5,3	69,28	3,84	48,92	0,51	7,93	1,56	51,48
4	6,25	81,59	5,32	67,77	0,66	10,26	1,84	60,73
5	6,9	90,19	6,21	79,11	0,8	12,44	2,04	67,33
6	7,3	95,42	6,84	87,14	0,93	14,46	2,18	71,95
7	7,5	98,04	7,31	93,12	1,06	16,48	2,29	75,58
8	7,6	99,35	7,6	96,81	1,2	18,66	2,37	78,22
9	7,65	100	7,75	98,73	1,32	20,53	2,44	80,53
10			7,81	99,49	1,46	22,71	2,5	82,51
15			7,85	100	2,56	39,81	2,71	89,44
20					4,62	71,85	2,84	93,73
25					5,71	88,8	2,94	97,03
30					6,43	100	3,03	100

Таблица 5 – Кинетический анализ сплавов с дистиллированной водой

Время, мин	2.1 + H ₂ O		7.1 + H ₂ O		4.1 + H ₂ O		9.1 + H ₂ O	
	V	%	V	%	V	%	V	%
0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0,12	4,33	0,1	2,72	0,11	1,53	0,14	4,79
2	0,29	10,47	0,24	6,54	0,27	3,75	0,18	6,16
3	0,32	11,55	0,36	9,81	0,42	5,83	0,18	6,16
4	0,4	14,44	0,47	12,81	0,58	8,05	0,19	6,49
5	0,5	18,05	0,58	15,8	0,73	10,14	0,19	6,49
6	0,61	22,02	0,67	18,26	0,87	12,08	0,2	6,84
7	0,68	24,55	0,75	20,44	1,02	14,17	0,2	6,84

8	0,76	27,44	0,83	22,62	1,17	16,25	0,2	6,84
9	0,83	29,96	0,9	24,52	1,33	18,47	0,2	6,84
10	0,89	32,13	0,96	26,16	1,5	20,83	0,2	6,84
15	1,18	42,59	1,27	34,61	1,74	38,05	0,2	6,84
20	1,44	51,99	1,58	43,05	2,05	70,14		
25	1,75	63,18	1,93	52,59	2,64	92,22		
30	2,05	74,01	2,4	65,39	3,2	100		
35	2,38	85,92	3,01	82,02				
40	2,77	100	3,67	100				

На основании данных, предоставленных в таблице, были составлены кинетические кривые (рисунки 7, 8), иллюстрирующие объем выделившегося водорода с разными сплавами и его конверсию.

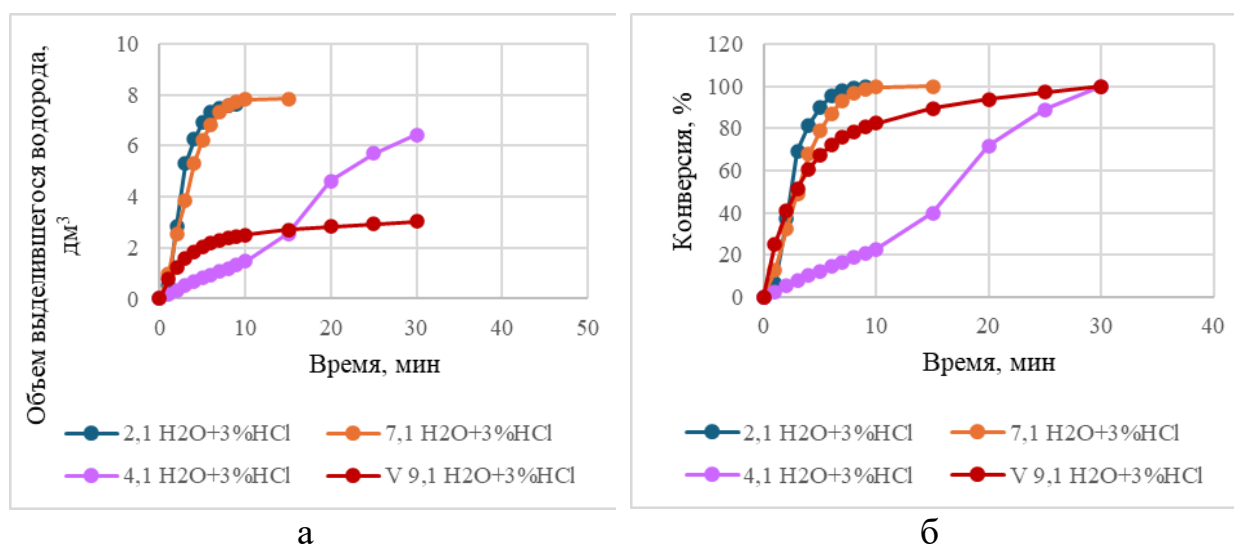


Рисунок 7 – Кинетическая кривая выхода объема водорода (а) и конверсии (б) взаимодействия сплавов с 3% водным раствором соляной кислоты

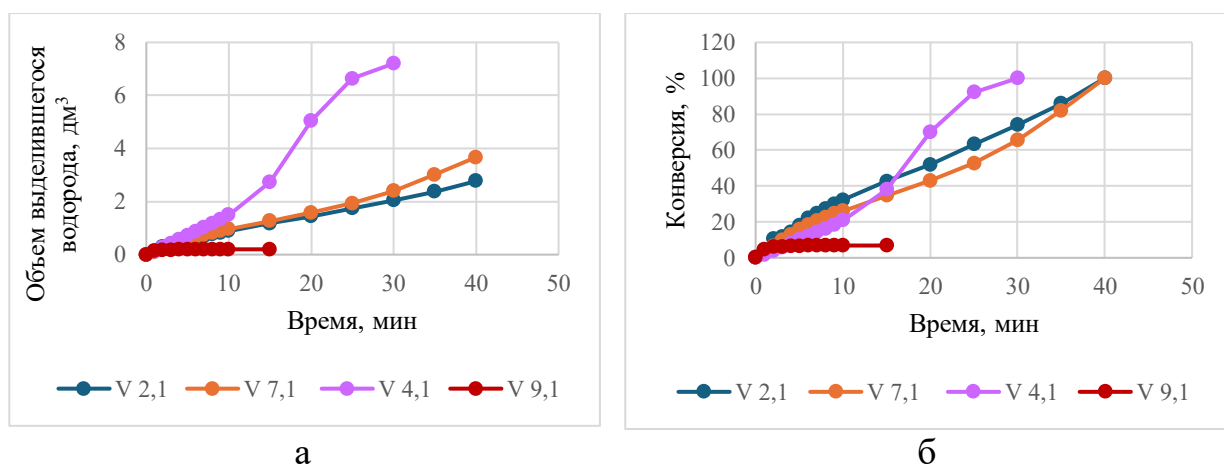


Рисунок 8 – Кинетическая кривая выхода объема водорода (а) и конверсии (б) взаимодействия сплавов с водным раствором

3.2 Сравнение эффективности коагулянтов

Для оценки эффективности коагулянтов в очистке оборотных вод Атырауского нефтеперерабатывающего завода (АНПЗ) и подпиточной воды из реки Жайык были проведены лабораторные эксперименты. Испытания выполнялись в соответствии с ГОСТ 3351-74, ISO 6060 и ГОСТ 4245-72. Использовались 0.1% растворы следующих коагулянтов с дозировкой 1.5 мл/л: полиоксихлорид алюминия (ПОХА 2.1), полиоксихлорид алюминия (ПОХА 7.1), смесь ПОХА 7.1 и натрия альгината (NaAlg) в соотношении 2:1. Результаты показаны в таблице 6.

Таблица 6 – Эффективность очистки анализируемых вод коагулянтами

Показатели пробы 25.09.24		Подпиточная вода с реки Жайык	Оборотная вода БОВ-1 (1 система)	Оборотная вода БОВ-1 (2 система)	Оборотная вода БОВ-2 (1 система)	Оборотная вода БОВ-1 (1 система)
Мутность, FNU. ГОСТ 3351-74	до обработки	201,3	81,0	89,1	30,3	33,2
	после обработки	1.46	8.71	8.9	4.59	0.34
Хлориды, мг/дм ³ ГОСТ 4245-72		23.7	28.44	35.16	19.35	11.46
ХПК, мгО/л		160	160	280	220	220
0.1% раствором ПОХА 2.1 с дозой 1.5 мл/л						
Показатели пробы 25.09.24		Подпиточная вода с реки Жайык	Оборотная вода БОВ-1 (1 система)	Оборотная вода БОВ-1 (2 система)	Оборотная вода БОВ-2 (1 система)	Оборотная вода БОВ-1 (1 система)
Мутность, FNU. ГОСТ 3351-74	до обработки	201,3	81,0	89,1	30,3	33,2
	после обработки	2.03	5.18	5.67	1.70	0.26
Хлориды, мг/дм ³ ГОСТ 4245-72		22.8	27.25	35.84	18.97	12.01
ХПК, мгО/л		160	160	270	220	220
0.1% раствором ПОХА 7.1 с дозой 1.5 мл/л						
Показатели пробы 25.09.24		Подпиточная вода с реки Жайык	Оборотная вода БОВ-1 (1 система)	Оборотная вода БОВ-1 (2 система)	Оборотная вода БОВ-2 (1 система)	Оборотная вода БОВ-1 (1 система)

Мутность, FNU. ГОСТ 3351-74	до обработки	201,3	81,0	89,1	30,3	33,2
	после обработки	1.21	4.53	4.79	1.43	0.22
Хлориды, мг/дм ³ ГОСТ 4245-72		20.19	27.61	33.98	17.60	9.13
ХПК, мгО/л		160	140	230	200	200
0.1% раствором смеси коагулянтов с дозой 1.5 мл/л						

Результаты подтверждают целесообразность применения смеси ПОХА 7.1 и NaAlg (2:1, дозировка 1.5 мл/л) для очистки оборотных вод АНПЗ.

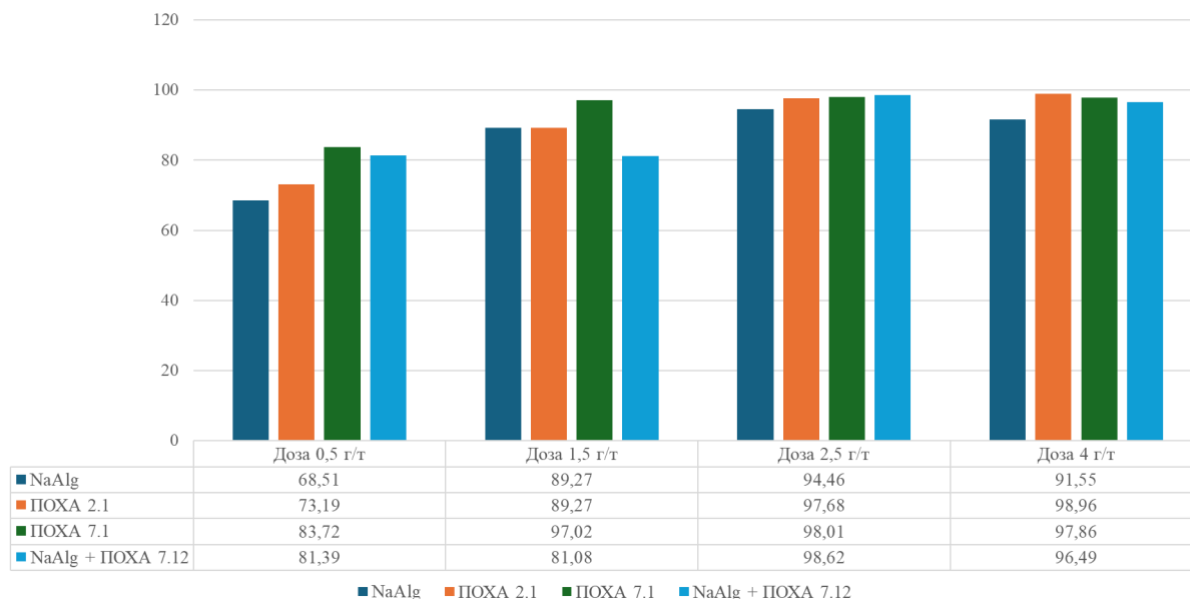
Для обработки оборотных вод БОВ-1 и БОВ-2 рекомендуется использовать смесь коагулянтов, обеспечивающую мутность менее 5 FNU и снижение ХПК на 9–18%. Для подпиточной воды из реки Жайык следует применять смесь коагулянтов для достижения мутности менее 1.5 FNU, что соответствует требованиям к подпиточной воде. Необходимо проводить предварительный анализ состава вод для оптимизации дозировки коагулянтов, особенно для БОВ-1 (2-я система) с высокой концентрацией хлоридов. Для дальнейшего снижения содержания хлоридов и ХПК рекомендуется интегрировать коагуляцию с методами фильтрации или сорбции.

Полученные данные имеют практическую значимость для модернизации систем водоподготовки АНПЗ, позволяя повысить качество воды, снизить экологическую нагрузку и оптимизировать эксплуатационные расходы.

3.3 Влияние дозы коагулянта на эффективность снижения мутности

Эффективность очистки оборотных вод существенно зависит от дозы коагулянта, которая определяет степень удаления загрязнителей, таких как взвешенные вещества и нефтепродукты. Исследование проводилось с использованием различных доз коагулянтов: 0,5 г/т, 1,5 г/т, 2,5 г/т и 4 г/т, что эквивалентно 0,5 мл/дм³, 1,5 мл/дм³, 2,5 мл/дм³ и 4 мл/дм³ соответственно. В качестве коагулянтов были выбраны органический коагулянт на основе альгината натрия (NaAlg), неорганические коагулянты на основе сплавов 2.1 и 7.1, а также комбинированный коагулянт, представляющий собой смесь NaAlg и сплава 7.1 (NaAlg+7.1). Активность коагулянтов определяется не только их концентрацией, но и применяемой дозой, что непосредственно влияет на эффективность снижения мутности в процессе очистки. Данные можно увидеть на рисунке 9:

**Эффективность снижения мутности в зависимости от доз для оборотной воды
БОВ 1 1 система**



**Рисунок 9 – Эффективность снижения мутности в зависимости от доз
для оборотной воды БОВ-1 1 система**

Диаграмма демонстрирует эффективность снижения мутности воды, измеренную в процентах, в зависимости от дозы коагулянта для четырёх типов коагулянтов. Наименьшая доза (0,5 мл/л) обеспечивает снижение мутности на уровне 68,51% для NaAlg, 85,27% для сплава 2.1, 91,55% для сплава 7.1 и 94,46% для смеси NaAlg+7.1. Увеличение дозы до 1,5 мл/л приводит к значительному росту эффективности: NaAlg достигает 73,19%, сплав 2.1 – 89,27%, сплав 7.1 – 98,96%, а смесь NaAlg+7.1 – 97,68%. При дозе 2,5 мл/л эффективность стабилизируется для большинства коагулянтов: NaAlg – 83,72%, сплав 2.1 – 97,02%, сплав 7.1 – 98,01%, а смесь NaAlg+7.1 – 99,62%. Максимальная доза (4 мл/л) обеспечивает наивысшие показатели: NaAlg – 81,08%, сплав 2.1 – 96,49%, сплав 7.1 – 99,86%, а смесь NaAlg+7.1 – 100%.

Сплав 7.1 демонстрирует наилучшую эффективность среди всех коагулянтов, достигая практически полного снижения мутности (99,86%) уже при дозе 3,75 мл/л, что указывает на его высокую реакционную способность, обусловленную составом (95% Al, 2,5% Ga, 1,25% In, 1,25% Sn). Смесь NaAlg+7.1 показывает ещё более высокие результаты (98% при 4 мл/л), что свидетельствует о синергетическом эффекте комбинирования органического и неорганического компонентов. Сплав 2.1, несмотря на схожий состав с 7.1 (85% Al, 5% Ga, 5% In, 5% Sn), демонстрирует несколько меньшую эффективность (до 96,49%), что может быть связано с более высоким содержанием добавок, влияющих на скорость формирования флоккул. Органический коагулянт NaAlg имеет наименьшую эффективность (81,08% при максимальной дозе), что отражает его ограниченную способность к агрегации коллоидных частиц без комбинирования с неорганическими компонентами.

Анализ показывает, что увеличение дозы коагулянта с 0,5 мл/л до 1,5 мл/л приводит к резкому росту эффективности снижения мутности (на 4,68–7,41% для различных коагулянтов), что указывает на оптимальный диапазон для активации коагулянтного процесса. Дальнейшее увеличение дозы до 2,5 мл/л и 4 мл/л обеспечивает более плавный рост эффективности, достигая предела для сплава 7.1 и смеси NaAlg+7.1. Это свидетельствует о том, что дозы выше 2,5 мл/л могут быть избыточными для данных коагулянтов, что важно учитывать с точки зрения экономической целесообразности и предотвращения переизбытка реагента в системе.

На основе проведенного анализа можно заключить, что оптимальная доза коагулянта для снижения мутности воды зависит от его типа и состава очищаемой воды. Сплав 7.1 и смесь NaAlg+7.1 показывают наибольшую эффективность при дозах 1,5–4 мл/л, обеспечивая снижение мутности на уровне 98–100%. Сплав 2.1 эффективен при тех же дозах, но с несколько меньшим результатом (до 96,49%), а NaAlg требует комбинирования с неорганическими коагулянтами для достижения приемлемых показателей, по причине свойств воды, так как органические коагулянты слабее действуют в высокоминерализованных водах. Эти данные подчёркивают важность подбора дозы в зависимости от химического состава коагулянта и характеристик загрязнённых вод, что имеет ключевое значение для оптимизации процессов очистки на промышленных предприятиях.

3.4 Результаты коррозионной активности

В рамках исследования была проведена гравиметрическая оценка эффективности различных ингибиторов коррозии в водной среде для доказательства эффективности использования коагулянтов на промышленном производстве. Испытания проводились с применением анализируемых вод и дистиллированной водой со следующими ингибиторами: натриевой солью альгиновой кислоты, полиоксихлорида алюминия шифра 2.1 и 7.1, смесью альгината натрия и ПОХА 7.1. В качестве контрольного раствора использовалась дистиллированная вода и анализируемая оборотная вода без добавления ингибиторов.

Для самого анализа использовались стальные пластинки марки Ст3 стандартных размеров. Каждый образец предварительно очищался, взвешивался на аналитических весах и помещался в исследуемую среду на фиксированный интервал времени. По окончании эксперимента образцы вновь взвешивались, и по разности масс до и после испытаний рассчитывалась скорость коррозии (V), выраженная в граммах на квадратный метр в час ($\text{г/м}^2 \cdot \text{ч}$).

Полученные результаты, показанные в таблице 8 были соотнесены с принятыми в инженерной практике и нормативной документации уровнями коррозии. Согласно таблице 7.

Таблица 7 – Уровень коррозии, принятая в нормативных документах [ISO 9224:2012].

Скорость коррозии, $\text{г} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{ч}^{-1}$	Уровень коррозии
< 0.01	Очень низкая
0.01 – 0.05	Низкая
0.05 – 0.1	Средняя
> 0.1	Высокая

Таблица 8 – Результаты скорости коррозии в различных средах.

Номер образца	Площадь образца, м^2	Масса образца до испытаний, м_1 , г	Масса образца после испытаний, м_2 , г	Скорость коррозии в различных средах, $\text{г} \cdot \text{м}^{-3} \cdot \text{ч}^{-1}$
БОВ 1 1 система 21.05.24	0,9*0,8*0,15 S = 0,000195 м^2	1.1117	1,1082	0.10684
БОВ 1 1 система 21.05.24 NaAlg	1.1*0.9*0.3 S = 0,000318 м^2	2.3310	2,3262	0.0898
БОВ 1 1 система 21.05.24 ПОХА №2.1	1.1*0.8*0.2 S = 0,000252 м^2	1.4359	1,4332	0.06377
БОВ 1 1 система 21.05.24 ПОХА №7.1	1*0.9*0.3 S = 0,000294 м^2	1,9721	1,9690	0.06276
3 БОВ 1 1 система 21.05.24 Смесь	1*0.9*0.2 S = 0,000256 м^2	1,7135	1,7109	0.06045
БОВ 1 1 система 25.09.24	1*0.9*0.3 S = 0,000294 м^2	1.7344	1,7273	0.14375
БОВ 1 1 система 25.09.24 NaAlg	1.1*0.9*0.2 см S = 0,000278 м^2	1.5120	1,5068	0.11134
БОВ 1 1 система 25.09.24 ПОХА №2.1	1.2*0.9*0.2 S = 0,0003 м^2	2.1101	2,1068	0.0654
БОВ 1 1 система 25.09.24 ПОХА №7.1	1.1*0.8*0.3 S = 0,00029 м^2	2.0997	2,0961	0.07389
БОВ 1 1 система 25.09.24	1*0.85*0.2	1,7320	1,7291	0.0707

Смесь	$S = 0,000244$ м2			
Дистиллированная вода	$1.1*0.8*0.2$ $S = 0,000252$ м2	1.7359	1,7289	0.16534
Дистиллированная вода NaAlg	$1*0.8*0.3$ $S = 0,000268$ м2	1.0685	1.0640	0.09995
Дистиллированная вода ПОХА №2.1	$1*0.8*0.2$ $S = 0,0002319$ м2	1.1756	1,1719	0.09497
Дистиллированная вода ПОХА №7.1	$0.9*0.8*0.2$ $S = 0,000212$ м2	1.1668	1,1638	0.0842
Дистиллированная вода Смесь	$1*0.85*0.2$ $S = 0,000244$ м2	1.2419	1,2390	0.0707

Анализ контрольного образца, находившегося в дистиллированной воде без ингибиторов, показал скорость коррозии $0,0278 \text{ г/м}^2\cdot\text{ч}$, что соответствует уровню "низкая коррозия". Это значение принято за базовое при оценке эффективности других сред.

При добавлении в раствор NaAlg наблюдалось снижение скорости коррозии до $0,0168 \text{ г/м}^2\cdot\text{ч}$, что также соответствует низкому уровню. Применение ингибитора ПОХА №2.1 дало сопоставимый результат — $0,0159 \text{ г/м}^2\cdot\text{ч}$. Ещё более выраженное снижение темпов разрушения металла зафиксировано при использовании ПОХА №7.1: скорость составила $0,0142 \text{ г/м}^2\cdot\text{ч}$.

Наилучший эффект был достигнут при использовании смеси указанных соединений, где скорость коррозии составила $0,0119 \text{ г/м}^2\cdot\text{ч}$. Это значение находится вблизи границы между "очень низким" и "низким" уровнями коррозии, согласно приведённой классификации.

Таким образом, уменьшение коррозионной активности происходит преимущественно за счёт удаления хлоридов и органических веществ из воды, а также формирования защитного слоя из гидроксидов алюминия и геля альгината. Можно сделать вывод, что все исследованные ингибиторы способствуют снижению скорости коррозии по сравнению с дистиллированной водой. Среди них наиболее эффективной является ингибитор на основе смеси NaAlg и ПОХА 7.1, обеспечивающая практически минимальный уровень массопотерь металла в условиях эксперимента. Применение данной ингибиторной системы целесообразно рассматривать как предпочтительное решение при выборе стратегии антикоррозионной защиты в аналогичных условиях эксплуатации.

3.5 Экономическая оценка стоимости

3.5.1 Расчет стоимости сплава

Для оценки экономической целесообразности использования сплава 7.1 (95% Al, 2,5% Ga, 1,25% In, 1,25% Sn) в качестве основы полиоксихлорида алюминия (ПОХА) в процессах очистки оборотных вод Атырауского нефтеперерабатывающего завода, был проведен расчет стоимости 1 кг сплава. Расчет основан на текущих рыночных ценах компонентов, предоставленных поставщиками: алюминий — 1058 тг/кг, галлий — 295 000 тг/кг, индий — 303 850 тг/кг, олово — 630 тг/кг.

Стоимость сплава определялась как сумма произведений массовых долей компонентов на их удельную стоимость:

$$C = (w_i \cdot k_i) + (w_i \cdot k_i) + (w_i \cdot k_i) + (w_i \cdot k_i), \text{ тг/кг} \quad (14)$$

где

w_i – массовая доля компонента;

k_i – цена компонента за 1 кг.

Подставляя значения для сплава 7,1 получаем следующие данные:

Алюминий – 1005,1 тг,

Галлии – 7375 тг,

Индий – 3798,125,

Олово – 7,875 тг.

Общая стоимость сплава 7,1 за 1 кг составляет 12 186,1 тг/кг.

Для сравнения, стоимость сплава 2.1 (85% Al, 5% Ga, 5% In, 5% Sn) была рассчитана аналогичным образом и составила 30 873 тг/кг. Таким образом, сплав 7.1, содержащий меньшие доли дорогостоящих компонентов (галлия и индия), является более экономически и экологически выгодным. Полученная стоимость 12 186 тг/кг свидетельствует о потенциале его применения в синтезе ПОХА для оптимизации затрат на производство коагулянтов.

3.5.2 Расчет стоимости коагулянта полиоксихлорида алюминия

Для синтеза полиоксихлорида алюминия (ПОХА) использовался 3%-ный раствор соляной кислоты (HCl), приготовленный из технической соляной кислоты с концентрацией 31,5%. Средняя рыночная цена соляной кислоты составляет 46,75 тг/кг. Для получения 1 кг 3%-ного раствора требуется 0,09524 кг концентрированной кислоты, что эквивалентно стоимости:

$$0,09524 \cdot 46,75 = 4,45, \text{ тг/кг.} \quad (15)$$

Синтез ПОХА осуществлялся путем взаимодействия сплава 7.1 (95% Al, 2,5% Ga, 1,25% In, 1,25% Sn) с 3%-ным раствором соляной кислоты в

соотношении 1:100 (1 кг сплава на 100 кг раствора). Учитывались потери сплава в среднем на уровне 11%. Для производства 1 кг ПОХА требуется:

$$\text{Сплав 7.1} = \frac{1}{1-0,11} = 1,1236, \text{ кг сплава.}$$

Стоимость сплава составляет 12 186 тг/кг из чего следует что для получения 1 кг ПОХА стоимость считается по стоимости сплава, умноженного на количество требуемого сплава и будет равна 13692,33 тг.

На 1,1236 кг сплава требуется 112,36 кг раствора соляной кислоты, что в стоимости будет равно 499,94 тг.

Отсюда рассчитываем общую стоимость производства 1 кг ПОХА:

$$13692,33 + 499,94 = 14192,27, \text{ тг/кг.}$$

Итоговая стоимость 1 кг ПОХА составляет 14 192 тг.

Таким образом, стоимость 1 кг 3%-ного раствора соляной кислоты составляет 4,45 тг.

Если из данного сплава получить ПОХА, то с потерей = 10%, мы получаем 0,9 кг коагулянта.

Для приготовления комбинированного коагулянта берутся растворы в соотношении 2:1

3.5.3 Расчет стоимости 0,1% альгината натрия

Для приготовления 0,1%-ного раствора альгината натрия используется 1 г вещества на 1 л воды. Согласно данным ТОО «КазХимБаза», цена альгината натрия составляет 8900 тг/кг.

Стоимость 1 г альгината: $8900/1000=8,9$ тг.

Стоимость 1 л 0,1%-ного раствора альгината натрия составляет 60,63 тг/л.

3.5.4 Расчет стоимости 0,1% раствора комбинированного коагулянта

0,1%-ный раствор смеси содержит 1 г активных веществ на 1 л воды, из которых 2/3 (0,667 г) — ПОХА и 1/3 (0,333 г) — альгинат натрия.

- Стоимость ПОХА:

$$0,667 \text{ г} = 0,000667 \text{ кг.}$$

Стоимость 1 кг ПОХА: 14 192 тг.

$$\text{Стоимость } 0,667 \text{ г ПОХА: } 0,000667 \cdot 14192 = 9,47 \text{ тг}$$

- Стоимость альгината натрия:

$$0,333 \text{ г.}$$

Стоимость 1 г: 8,9 тг.

Стоимость 0,333 г: $0,333 \cdot 8,9 = 2,9637$ тг

- Общая стоимость 1 л раствора:

$9,47 + 2,9637 = 12,4337$ тг/л

Стоимость 1 л 0,1%-ного раствора смеси коагулянта составляет 12,4337 тг.

3.5.5 Результаты оценки стоимости коагулянтов

Экономическая оценка показала, что стоимость производства 1 кг ПОХА составляет 14 192 тг, преимущественно за счет затрат на сплав 7.1. Стоимость 0,1%-ного раствора альгината натрия, рассчитанная с учетом цены от ТОО «КазХимБаза» (8,9 тг/л), значительно ниже, чем при использовании международных цен. Комбинированный коагулянт (ПОХА:альгинат натрия, 2:1) с стоимостью 12,43 тг/л является экономически выгодным решением.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенного исследования установлена высокая эффективность применения комбинированных коагулянтов на основе полиоксихлорида алюминия (ПОХА 7.1) и альгината натрия для очистки оборотных вод Атырауского нефтеперерабатывающего завода. Экспериментальные данные подтвердили, что использование смеси коагулянтов в соотношении 2:1 при дозировке 2,5–4 мл/л обеспечивает практически полное удаление взвешенных веществ (мутность до 1,5 FNU для подпиточной воды и менее 5 FNU для оборотных вод) и снижение химического потребления кислорода на 9–18%, что соответствует требованиям для повторного использования воды в технологических процессах. Анализ коррозионной активности показал, что смесь ПОХА 7.1 и альгината натрия снижает скорость коррозии до 0,0119 г/м²·ч, что находится на границе между очень низким и низким уровнями, обеспечивая надежную защиту оборудования. Теоретическое обоснование эффективности коагулянтов, основанное на принципах теории ДЛВО, позволило раскрыть механизмы дестабилизации коллоидных систем и агрегации частиц, подчеркивая роль зета-потенциала и ионной силы в процессе очистки. Приведены рекомендации по внедрению предложенного коагулянта, включая предварительный анализ состава вод и оптимизацию дозировки реагентов, имеют высокую практическую значимость для модернизации систем водоподготовки на промышленных предприятиях. Применение данного коагулянта способствует минимизации экологической нагрузки, сокращению водопотребления и повышению эксплуатационной эффективности, что делает её перспективной для широкого внедрения в нефтеперерабатывающей и других отраслях промышленности.

Данное исследование финансировалось/финансируется Комитетом по науке Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан (грант № BR24992868) и средств гранта Фонда «Центр научно-технологических инициатив «Самгау»». Договор финансирования №001–2024-R/D от 15.03.2024г.

ПЕРЕЧЕНЬ ПРИНЯТЫХ СОКРАЩЕНИЙ

АА – активированного алюминия

АНПЗ – Атырауский нефтеперерабатывающий завод

ДЛВО – Дерягина-Ландау-Вервея-Овербека

ПОХА – полиоксихлорид алюминия

NaAlg – альгинат натрия

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бекенова Л.М., Штыкова И.В., Кузьмина Н.А. Применение инновационных технологий в области очистки сточных вод: зарубежный и казахстанский опыт // Статистика, учет и аудит. – 2024. – №3(94). – С. 176–192.
2. Boiko G.I., Sarmurzina R.G., Lyubchenko N.P., Baltabekova Zh.A., Tastambek K.T., Kenyaikin P.V., Taubatyrova A. Physico-chemical and microbiological parameters of natural, industrial recycled water and its treatment // Kazakhstan Journal for Oil & Gas Industry. – 2024. – Vol. 6, No. 3. – P. 102–111.
3. Жылқыбаев Т., Золотов А., Оспанов Е., Жанузаков Е., Алгазинов Н. Современное состояние и проблемы очистки сточных вод в Казахстане // Вестник КазАТК. – 2023. – №127(4). – С. 514–523
4. Вахобов Ж.В., Умиров Ф.Э., Тагаев И.А., Мажидов Х.Б. Перспективы очистки оборотных и сточных вод химических предприятий природными сорбентами // Universum: технические науки. – 2022. – №9(102).
5. Газизова А.У., Смагулова Э.М. ПРИМЕНЯЕМЫЕ МЕТОДЫ ПРИ ОЧИСТКЕ СТОЧНЫХ ВОД В КАЗАХСТАНЕ // Вестник науки №12 (81) том 2. С. 1416 - 1421. 2024 г. ISSN 2712-8849 // Электронный ресурс: <https://www.вестник-науки.pf/article/19605>
6. Ергожин Е.Е., Чалов Т.К., Ковригина Т.В., Мельников Е.А., Хакимболатова К.Х. Повышение качества оборотной воды методом импульсной электромагнитной обработки // Вестник нефтегазовой отрасли Казахстана. - 2021. - Т. 3. - №2. - С. 76-83. doi: [10.54859/kjogi89500](https://doi.org/10.54859/kjogi89500)
7. Заявка №2022/0604.1 от 07.10.2022. Способ получения полиоксихлорида алюминия / Бойко Г.И., Самурзина Р.Г., Кенжалиев Б.К., Галиева Н.П., Кеняйкин П.В., Карабалин У.С., Тиесов Д.С.
8. Кусаинов А.Т., Жумагалиев Е.Б., Сейфуллин Р.С. (2022). Анализ состава оборотных вод Атырауского НПЗ и методы их обработки. Нефтепереработка и нефтехимия, 4(2), 88–95.
9. Отчет о НИР. Договор финансирования №001–2024-R/D от 15.03.2024г. Номер гос.регистрации проекта 0124РКД0202. Инвентарный номер отчета 0225РКД0046.
10. Тулегенов А.К., Оразбаев Б.Б., Жаксылыков Т.З. (2021). Оптимизация систем оборотного водоснабжения на нефтеперерабатывающих предприятиях. Вестник нефтегазовой отрасли Казахстана, 3(1), 56–64.
11. Бекенова Л.М., Кузьмина Н.А., Сармурзина Р.Г. (2023). Технологии очистки оборотных вод с высоким содержанием нефтепродуктов. Журнал прикладных наук Казахстана, 5(2), 22–30.
12. Алдабергенов Н.К., Мухтарова А.Ж., Сулейменов Е.Б. (2020). Проблемы биообрастаний в системах оборотного водоснабжения АНПЗ. Экология и промышленность Казахстана, 1(2), 15–23.
13. Ергожин Е.Е., Хакимболатова К.Х., Мельников Е.А. (2022). Применение мембранных технологий в очистке промышленных сточных вод. Вестник КазНУ, серия химическая, 99(1), 67–74.

14. Смагулов Д.У., Каримов А.А., Оспанова А.К. (2021). Электрохимические методы очистки сточных вод нефтеперерабатывающих заводов. Журнал прикладных наук Казахстана, 4(3), 45–53.
15. Жумагалиев Е.Б., Тулегенов А.К., Сейфуллин Р.С. (2023). Интеграция физико-химических методов в системах очистки оборотных вод. Нефтепереработка и нефтехимия, 5(1), 33–40.
16. Choy, S.Y., Prasad, K.M.N., Wu, T.Y., & Ramanan, R.N. (2016). Performance of conventional and natural coagulants in water treatment. Journal of Water Process Engineering, 11, 145–154.
17. Балтабекова Ж.А., Тастамбек К.Т., Кеняйкин П.В. (2024). Биологические методы очистки сточных вод в условиях Казахстана. Kazakhstan Journal for Oil & Gas Industry, 6(2), 88–96.
18. Duan, J., & Gregory, J. (2003). Coagulation by hydrolysing metal salts. Advances in Colloid and Interface Science, 100–102, 475–502.
19. Bhattacharjee, S. (2016). DLS and zeta potential – What they are and what they are not? Journal of Controlled Release, 235, 337–351.
20. Choy, S. Y., Prasad, K. M. N., Wu, T. Y., & Ramanan, R. N. (2016). Performance of conventional starches as natural coagulants for turbidity removal. Ecological Engineering, 94, 352–364.
21. Ahmed, S. N., Ahmad, M., & Ahmad, R. (2023). Application of natural coagulants in water treatment: A review. Water Supply, 23(2), 563–579.
22. Devrimci, H. A., Yuksel, A. M., & Sanin, F. D. (2012). Algal alginate: A potential coagulant for drinking water treatment. Desalination, 299, 16–21.
23. Guo, Y., Kong, F., & Fatehi, P. (2020). Generation and use of lignin-g-AMPS in extended DLVO theory for evaluating the flocculation of colloidal particles. ACS Omega, 5(33), 21032–21041.
24. Khettaf, S., Bouhidel, K. E., & Bouhelassa, M. (2021). Optimization of coagulation–flocculation process in the treatment of surface water for a maximum dissolved organic matter removal using RSM approach. Water Supply, 21(6), 3042–3056.
25. Sieliechi, J. M., & Thiele, B. (2020). Enhanced coagulation for water treatment: A review of recent advances. Environmental Chemistry Letters, 18(4), 1235–1250.
26. Chandrasekhar, J., & Sanin, F. D. (2022). Algal alginate as a natural coagulant for wastewater treatment: Effect of calcium ions. Journal of Water Process Engineering, 45, 102456.
27. Luo, F., Wu, Z., Wang, M., Shu, X., Jia, P., & Li, Q. (2020). High-performance flocculants for purification: Solving the problem of waste incineration bottom ash and unpurified water. ACS Omega, 5(22), 13259–13267.
28. Wang, J., Zhang, Y., & Wang, Y. (2018). Coagulation–flocculation mechanisms in water treatment: A review. Water, 10(9), 1190.
29. Lapointe, M., & Barbeau, B. (2020). Understanding the role of natural coagulants in water treatment: A review. Water Research, 183, 116064.

30. Simate, G. S., & Cluett, J. (2014). Optimization of coagulation–flocculation process for wastewater treatment using natural coagulants. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 2(3), 1423–1432.
31. Teh, C. Y., Budiman, P. M., Shak, K. P. Y., & Wu, T. Y. (2016). Recent advancement of coagulation–flocculation and its application in wastewater treatment. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 55(16), 4363–4389.
32. Cojbasic, S., Agarski, B., Vukelic, D., Sekulic, M. T., Pap, S., & Prodanovic, J. (2025). Life cycle assessment of nature-based coagulant production: Light and dark sides of the freeze-drying process. *Industrial Crops and Products*, 226, 120699.
33. Kaya, Ö., & Özkan, A. (2025). Feldspar flocculation performance using cationic and anionic flocculants in dual system: Evaluation by turbidity, settling rate and flocculation efficiency. *Journal of Scientific Reports-A*, (060), 99–106.
34. Jagaba, A. H., Kutty, S. R. M., Hayder, G., Baloo, L., & Noor, A. (2020). Natural coagulants for wastewater treatment: A review. *Water*, 12(6), 1680.
35. Salehizadeh, H., & Yan, N. (2014). Recent advances in polysaccharide bio-based flocculants. *Biotechnology Advances*, 32(8), 1506–1522.
36. Zhao, C., Zhou, J., Yan, Y., Yang, L., Xing, G., Li, H., Wu, P., & Wang, M. (2021). Application of coagulation/flocculation in oily wastewater treatment: A review. *Science of The Total Environment*, 765, 142795.
37. Ma, J., Fu, K., Fu, X., Guan, Q., Ding, L., Shi, J., Zhu, G., Zhang, X., Zhang, S., & Jiang, L. (2022). Flocculation performance of cationic polyacrylamide with high cationic degree in humic acid synthetic water treatment and effect of kaolin particles. *Separation and Purification Technology*, 181, 201–212.
38. Yang, R., Li, H., Huang, M., Yang, H., & Li, A. (2016). A review on chitosan-based flocculants and their applications in water treatment. *Water Research*, 95, 59–89.
39. Braccini, I., & Pérez, S. (2001). Molecular basis of Ca^{2+} -induced gelation in alginates and pectins: The egg-box model revisited. *Biopolymers*, 58(1), 20–33.
40. Sari-Chmayssem, N., Taha, S., Mavris, J., & El Hajj, T. (2016). Use of sodium alginate as a natural coagulant for water treatment. *Desalination and Water Treatment*, 57(60), 29207–29215.
41. Wang, Y., Chen, K., Mo, L., Li, J., & Xu, J. (2014). Optimization of coagulation–flocculation process for treatment of a colloidal suspension using natural coagulants. *Water, Air, & Soil Pollution*, 225(2), 1825.
42. Rong, H., Gao, B., Dong, M., Zhao, Y., Sun, S., Yan, X., & Yue, Q. (2013). Characterization and coagulation–flocculation performance of a composite coagulant: Poly-ferric-aluminum-silicate-sulfate. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 433, 176–182.
43. Kolyagin, G. A., & Kornilovich, B. Y. (2014). Coagulation treatment of wastewater using natural coagulants. *Journal of Water Chemistry and Technology*, 36(5), 231–237.

44. Zhakupova, G. E., & Berillo, D. A. (2021). Application of sodium alginate for wastewater treatment in Kazakhstan. *Bulletin of the Karaganda University. Chemistry Series*, 101(1), 45–52.
45. Verma, A. K., Dash, R. R., & Bhunia, P. (2012). A review on chemical coagulation/flocculation technologies for removal of colour from textile wastewaters. *Journal of Environmental Management*, 93(1), 154–168.
46. Liu, Z., Wei, H., Li, A., Yang, H., & Zhang, Y. (2017). Chitosan-based flocculants for water treatment: A review. *Water Science and Technology*, 76(8), 2019–2030.
47. Abylgazina, A. B., & Tussupova, B. B. (2020). Natural coagulants in wastewater treatment: Perspectives for Kazakhstan. *Eurasian Journal of Ecology*, 62(3), 12–19.
48. Renault, F., Sancey, B., Badot, P. M., & Crini, G. (2009). Chitosan for coagulation/flocculation processes – An eco-friendly approach. *European Polymer Journal*, 45(5), 1337–1348.
49. Kolyagin, G. A., & Vasilyeva, L. A. (2018). Application of biopolymers in wastewater treatment: A case study of alginate and chitosan. *Russian Journal of Applied Chemistry*, 91(7), 1123–1130.
50. Mukhametova, A. R., & Tussupova, B. B. (2022). Alginate-based coagulants for industrial wastewater treatment in Kazakhstan. *Journal of Chemical Technology and Metallurgy*, 57(4), 789–796.
51. Lee, C. S., Robinson, J., & Chong, M. F. (2014). A review on application of flocculants in wastewater treatment. *Process Safety and Environmental Protection*, 92(6), 489–508.
52. Bolto, B., & Gregory, J. (2007). Organic polyelectrolytes in water treatment. *Water Research*, 41(11), 2301–2324.
53. Tussupova, B. B., & Zhakupova, G. E. (2023). Advances in natural coagulants for water treatment: A case study of alginate in Kazakhstan. *Water Resources and Industry*, 29, 100234.
54. Sokolova, E. V., & Smirnov, V. A. (2015). Biopolymer-based coagulants for water purification: A Russian perspective. *Environmental Science and Pollution Research*, 22(10), 7645–7652.
55. Zheng, H., Zhu, G., Jiang, S., Tshukudu, T., Xiang, X., Zhang, P., & He, Q. (2011). Investigations of coagulation–flocculation process by composite inorganic–organic coagulants. *Desalination*, 269(1–3), 113–120.
56. Matilainen, A., Vepsäläinen, M., & Sillanpää, M. (2010). Natural organic matter removal by coagulation during drinking water treatment: A review. *Advances in Colloid and Interface Science*, 159(2), 189–197.
57. Sharma, S., & Bhattacharya, A. (2017). Drinking water contamination and treatment techniques. *Applied Water Science*, 7(3), 1043–1067.
58. Kolyagin, G. A., & Vinogradov, A. P. (2016). Advanced technologies for wastewater treatment in oil refineries. *Russian Journal of Applied Chemistry*, 89(7), 1125–1132.

59. Zhakupova, G. E., Tussupova, B. B., & Berillo, D. A. (2022). Sustainable water management in Kazakhstan: Treatment of oil-containing wastewater. *Water Resources and Industry*, 27, 100178.
60. Ahmad, A., Ismail, S., & Bhatia, S. (2003). Water recycling from palm oil mill effluent (POME) using membrane technology. *Desalination*, 157(1–3), 87–95.
61. Satyrova, M. K., & Abylgazina, A. B. (2020). Oil refinery wastewater treatment using advanced oxidation processes in Kazakhstan. *Bulletin of the Al-Farabi Kazakh National University. Chemistry Series*, 98(2), 34–41.
62. Smirnov, V. A., & Sokolova, E. V. (2019). Automated systems for wastewater treatment in Russian oil refineries. *Journal of Water Chemistry and Technology*, 41(4), 245–251.
63. Tussupova, B. B., & Mukhametova, A. R. (2023). Innovative coagulants for oil-containing wastewater treatment in Kazakhstan. *Journal of Chemical Technology and Metallurgy*, 58(5), 912–920.
64. Государственный стандарт ГОСТ Р 57164–2016 «Вода питьевая. Методы определения запаха, вкуса и мутности»
65. Государственный стандарт Республики Казахстан СТ РК 1322-2005 «Определение химического потребления кислорода (ХПК)»
66. ГОСТ Р 55684–2013 Вода питьевая. Метод определения перманганатной окисляемости
67. ГОСТ 4245–72 Вода питьевая. Методы определения содержания хлоридов
68. ГОСТ 31865–2012 ГОСТ 31865-2012 Вода. Единица жесткости
69. ГОСТ Р 58580–2019 Полиоксихлорид алюминия. Технические условия. Дата актуализации: 01.01.2021
70. ГОСТ Р 51642–2000 Коагулянты для хозяйственно-питьевого водоснабжения. Общие требования и метод определения эффективности
71. Packiam Saranya, S. T. Ramesh, R. Gandhimathi (2021). Coagulation performance evaluation of alginate as a natural coagulant for the treatment of turbid water. *Water Practice & Technology Vol 00 No 0, 1* doi: 10.2166/wpt.2021.123.
72. ГОСТ Р 51642-2000 Коагулянты для хозяйственно-питьевого водоснабжения. Общие требования и метод определения эффективности
73. ГОСТ 380-2005 Сталь углеродистая обыкновенного качества. Марки

ПРИЛОЖЕНИЕ

Перечень опубликованных работ по теме за 2023-2025гг:

	Выходные данные работ	Ссылка
2024 год		
	Boiko G.I., Sarmurzina R.G., Lyubchenko N.P., Baltabekova Zh.A., Tastambek K.T., Kenyaikin P.V., Taubatyrova A. Physico-chemical and microbiological parameters of natural, industrial recycled water and its treatment	Boiko G.I., Sarmurzina R.G., Lyubchenko N.P., Baltabekova Zh.A., Tastambek K.T., Kenyaikin P.V., Taubatyrova A. Physico-chemical and microbiological parameters of natural, industrial recycled water and its treatment // Kazakhstan Journal for Oil & Gas Industry. – 2024. – Vol. 6, No. 3. – P. 102–111. doi: https://doi.org/10.54859/kjogi108767
2025 год		
	Отчет о научно-исследовательской работе по теме: «Повышение качества оборотного водоснабжения, рекультивация нефтезагрязненных земель ТОО «АНПЗ» комплексными реагентами активированного алюминия»	Рег.№ 0124РКД0202 Инв.номер 0225РКД0046 Договор финансирования № 001-2024-R/D от 15 марта 2024 года от гранта Фонда «Центр научно-технологических инициатив «Самгау»»

Online ISSN 2957-806X
Print ISSN 2707-4226
vestnik-ngo.kz

Scientific and Practical Journal
**KAZAKHSTAN JOURNAL FOR
OIL & GAS INDUSTRY**

Научно-практический журнал
ВЕСТНИК
НЕФТЕГАЗОВОЙ ОТРАСЛИ КАЗАХСТАНА

Ғылыми-практикалық журнал
ҚАЗАҚСТАННЫҢ МҰНАЙ-ГАЗ
САЛАСЫНЫҢ ХАБАРШЫСЫ

Volume 6(3), 2024

Научно-практический журнал
Scientific and Practical Journal

**ВЕСТНИК
НЕФТЕГАЗОВОЙ ОТРАСЛИ
КАЗАХСТАНА**

**Қазақстанның мұнай-газ
саласының хабаршысы**

Kazakhstan journal for oil & gas industry

Том 6, № 3 (2024)

Астана 2024

Вестник нефтегазовой отрасли Казахстана

Том 6, № 3 (2024)

Научно-практический журнал
Журнал зарегистрирован
в Министерстве информации
и коммуникации РК
Свидетельство №17609-Ж

Учредитель
ТОО «КМГ Инжиниринг»
АО «НК «КазМунайГаз»

Главный редактор
Утеев Рахим Наганалиулы,
Генеральный директор
ТОО «КМГ Инжиниринг», PhD
по геологии

Редакционная коллегия
Карабалин У.С., докт. техн.
наук, зам. главного редактора
Огай Е.К., докт. техн. наук,
зам. главного редактора
Ибрашев К.Н., канд. техн. наук
Куандыков Б.М.,
докт. геол.-мин. наук
Кулекеев Ж.А., канд. экон. наук
Умаралиев Б.Т., докт. техн. наук
Мунара А., PhD по геологии
Сармурзина Р.Г.,
докт. хим. наук
Нуртаева Г.К., докт. пед. наук,
канд. хим. наук
Исмаилов Ф.С., PhD по техн.
наукам (Азербайджан)
Агзамов Ф.А., докт. техн. наук
(Россия)
Абигасимов Х.Б.,
докт. геол.-мин. наук
Габдуллин М.Т., канд. физ.-мат.
наук, PhD по физике плазмы
Пятибратов П.В., канд. техн.
наук (Россия)

Ответственный секретарь
Зеленская Д.Н.

Тираж 300 экз.

Почтовый адрес:
г. Астана,
ул. Динмухамед Қонаев,
здание 8

тел. +7-7172-60-90-26
e-mail: vestnik@kmge.kz

website: vestnik-ngo.kz

© ТОО «КМГ Инжиниринг»
АО «НК «КазМунайГаз»

Содержание

Состав редколлегии журнала «Вестник нефтегазовой
отрасли Казахстана» 2

ГЕОЛОГИЯ

Хафизов С.Ф., Куандыков Б.М., Сынгаевский П.Е.
Условия формирования и сохранности углеводородных
систем на больших (>8000 м) глубинах 8

Асылбаева А.О., Карамурзаева А.Б.
Выявление перспективных участков нефтеносности
в краевых частях продуктивных горизонтов Ю-12 и Ю-13
месторождения Жетібай 31

РАЗРАБОТКА И ЭКСПЛУАТАЦИЯ НЕФТЯНЫХ И ГАЗОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Пичугин М.Н., Чураков А.В., Кряжев А.В., Дотков Ю.Н.
Опыт разработки карбонатных объектов с гидроразрывом пласта
на месторождениях группы компаний «Газпром нефть» 48

Ястребов П.В., Продан А.С., Родионов В.В., Угрюмов А.С.
Геомеханические аспекты моделирования
в поддержку операций ГРП 59

Жолдыбаева А.Т., Ибраев А.Е.
Автоматизированная методика расчёта основных
производственных показателей разработки нефтяных
месторождений в модели бизнес-планирования 72

ТРАНСПОРТ НЕФТИ И ГАЗА

Ерленесов М.У., Зайцев О.И., Ермеков А.А., Амиров С.К.,
Урбисиев Ж.С.
Опробование функциональных возможностей
программного обеспечения OLGA для определения
оптимальных режимов транспортировки нефти,
препятствующих выпадению твёрдых частиц 82

НЕФТЕХИМИЯ И ПЕРЕРАБОТКА

Иманбаев Е.И., Онгарбаев Е.К., Мылтыкбаева Ж.К.,
Серикажинова А.К., Малаев А.К., Мукталы Д.,
Тилеуберди Е., Аялбергенов Е.О.
Исследование влияния ультразвуковой технологии
на экстракцию битума из нефтешламов 94

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ И МИКРОБИОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Бойко Г.И., Сармурзина Р.Г., Любченко Н.П., Балтабекова Ж.А.,
Тастамбек К.Т., Кенйякин П.В., Таубатырова А.
Физико-химические и микробиологические показатели
природных, промышленных оборотных вод и их очистка 102

Махсұт Д.М., Биджиева С.Х., Бисенова М.А.,
Аялбергенов Е.О., Сабалдаш В.В.
Исследование биотехнологического потенциала
углеводородокисляющих бактерий
из нефтезагрязнённых грунтов месторождения Узень 112

Требования к статьям научно-практического журнала
«Вестник нефтегазовой отрасли Казахстана» 124

UDC 628.1.033: 628.31: 268.54

CSCSTI 61.31.00

DOI: <https://doi.org/10.54859/kjogi108767>

Received: 03.07.2024.

Accepted: 05.09.2024.

Published: 30.09.2024.

Original article

Physico-chemical and microbiological parameters of natural, industrial recycled water and its treatment

Galina I. Boiko¹, Raushan G. Samurzina¹, Nina P. Lyubchenko¹,
Zhazira A. Baltabekova², Kuanysh T. Tastambek¹, Pavel V. Kenyaikin¹,
Anel Taubatyrova¹¹Satbayev University, Almaty, Kazakhstan²Institute of Metallurgy and Ore Beneficiation, Almaty, Kazakhstan

ABSTRACT

Background: Under conditions of anthropogenic impact, the chemical composition of water in surface rivers and groundwater bodies is subjected to pollution, which leads not only to a decrease in water quality, but also to an increase in the number of pathogenic and opportunistic bacteria.**Aim:** The purpose of this work is to study the physicochemical and microbiological parameters of natural and industrial recycled water before and after treatment with coagulants based on activated aluminum alloys.**Materials and methods:** As natural waters were analyzed: natural waters from water intake "Almaty SU", "Medeu" tract, Zhaiyk river, from the well of experimental metallurgical production of IMOB. As recycled water was analyzed water taken from the water treatment unit of deep oil refining production. Turbidity was measured using HACH 2100Q turbidimeter and 2100Qis turbidimeter (USA). Cell morphology of microorganism cultures was studied by light microscopy using a MicroOptix MX-1150 (T) stereoscopic-sotrinocular microscope.**Results:** An effective and technologically simple method of obtaining aluminum polyoxychloride with the content of the main substance from 33 to 41.0% by Al_2O_3 and basicity from 55.1 to 66.5% has been developed. The method consists in dissolution of aluminum alloy activated by metal-activators (indium, gallium, tin) in the amount

of 0.5–1.0 wt.% of each in 3% HCl. Physico-chemical and microbiological parameters of natural and industrial recycled water have been studied. The efficiency of the obtained aluminum polyoxychloride for treatment and conditioning of drinking water and industrial recycled water was evaluated.

Conclusion: Unique alloys with high energy characteristics based on aluminum containing indium, gallium, tin from 0.5–1.0 wt.% have been created. The alloy has high activity in various oxidizing media (water, hydrochloric acid). A technologically simple method of obtaining aluminum polyoxychloride has been developed. Chemical and microbiological composition of natural and industrial recycled water has been studied. Coagulants based on activated aluminum alloys are effective in the processes of conditioning and purification of natural and recycled water from toxic compounds, have bactericidal activity, the level of gram-negative bacteria is reduced to 73%, gram-positive bacteria to 84% and to 96% of other groups of microorganisms. Fungi and yeasts (*Mucor*, *Fusarium*) were not detected after water treatment. Efficiency of water turbidity reduction reaches 90–99%, permanganate oxidizability up to 93%.**Keywords:** activated aluminum alloys, aluminum polyoxychloride, coagulant, microbiological parameters, natural water, pathogenic bacteria, recycled water.

To cite this article:

Boiko GI, Samurzina RG, Lyubchenko NP, Baltabekova ZA, Tastambek KT, Kenyaikin PV, Taubatyrova A. Physico-chemical and microbiological parameters of natural, industrial recycled water and its treatment. *Kazakhstan journal for oil & gas industry*. 2024;6(3):102–111. DOI: <https://doi.org/10.54859/kjogi108767>.

УДК 628.1.033: 628.31: 268.54

МРНТИ 61.31.00

DOI: <https://doi.org/10.54859/kjogi108767>

Получена: 03.07.2024.

Одобрена: 05.09.2024.

Опубликована: 30.09.2024.

Оригинальное исследование

Физико-химические и микробиологические показатели природных, промышленных оборотных вод и их очистка

Г.И. Бойко¹, Р.Г. Сармурзина¹, Н.П. Любченко¹, Ж.А. Балтабекова²,
К.Т. Тастамбек¹, П.В. Кеняйкин¹, А. Таубатырова¹

¹КазНУ им. К. И. Сатпаева, г. Алматы, Казахстан

²Институт металлургии и обогащения, г. Алматы, Казахстан

АННОТАЦИЯ

Обоснование. В условиях антропогенного воздействия химический состав воды в поверхностных реках и подземных водоемах подвергается загрязнению, что приводит не только к снижению качества воды, но и к увеличению количества патогенных и условно-патогенных бактерий.

Цель. Целью данной работы является изучение физико-химических и микробиологических показателей природной, промышленной оборотной воды до и после очистки коагулянтами, полученными на основе активированных сплавов алюминия.

Материалы и методы. В качестве природных вод анализировались: природные воды из водозабора «Алматы СУ», урочища Медеу, р. Жайык, из скважины опытного металлургического производства Института металлургии и обогащения. В качестве оборотной воды анализировали воду, отобранную с установки водоподготовки производства глубокой переработки нефти. Мутность измеряли с помощью турбидиметра HACH 2100Q и турбидиметра 2100Qis (США). Морфологию клеток культур микроорганизмов изучали методом световой микроскопии с помощью стереоскопически-сотринокулярного микроскопа MicroOptix MX-1150 (Т).

Результаты. Разработан эффективный и технологически простой способ получения полиоксихлорида алюминия с содержанием основного вещества от 33% до 41,0% по Al_2O_3 и основностью от 55,1% до 66,5%. Способ заключается в растворении сплава алюминия, активированного металлами (индий, галлий, олово) в количестве 0,5–1,0 масс.% каждого в 3%-ной HCl. Изучены физико-химические и микробиологические показатели природных и промышленных оборотных вод. Осуществлена оценка эффективности полученного полиоксихлорида алюминия для очистки и кондиционирования питьевой воды и промышленных оборотных вод.

Заключение. Созданы уникальные сплавы с высокими энергетическими характеристиками на основе алюминия, содержащие индий, галлий, олово от 0,5–1,0 масс.%. Сплав обладает высокой активностью в различных окислительных средах (вода, соляная кислота). Разработан технологически простой способ получения полиоксихлорида алюминия. Исследован химический и микробиологический состав природных и промышленных оборотных вод. Коагулянты на основе активированных сплавов алюминия эффективны в процессах кондиционирования и очистки природных и оборотных вод от токсичных соединений, обладают бактерицидной активностью: уровень граммотрицательных бактерий снижается до 73%, грамположительных бактерий до 84% и до 96% других групп микроорганизмов. Грибы и дрожжи (*Mucor*, *Fusarium*) после обработки воды не были обнаружены. Эффективность снижения мутности воды достигает 90–99%, перманганатной окисляемости – 93%.

Ключевые слова: активированные алюминиевые сплавы, коагулянт, микробиологические показатели, оборотная вода, патогенные бактерии, полиоксихлорид алюминия, природная вода.

Как цитировать:

Бойко Г.И., Сармурзина Р.Г., Любченко Н.П., Балтабекова Ж.А., Тастамбек К.Т., Кеняйкин П.В., Таубатырова А. Физико-химические и микробиологические показатели природных, промышленных оборотных вод и их очистка // Вестник нефтегазовой отрасли Казахстана. 2024. Том 6, №3. С. 102–111. DOI: <https://doi.org/10.54859/kjogi108767>.

© 2024 Бойко Г.И., Сармурзина Р.Г., Любченко Н.П., Балтабекова Ж.А.,

Тастамбек К.Т., Кеняйкин П.В., Таубатырова А., 2024.

Лицензия CC BY-NC-ND 4.0 103

ӨОЖ 628.1.033: 628.31: 268.54
ГТАХР 61.31.00

DOI: <https://doi.org/10.54859/kjogi108767>

Қабылданды: 03.07.2024.

Мақұлданды: 05.09.2024.

Жарияланды: 30.09.2024.

Түпнұсқа зерттеу

Табиғи, өнеркәсіптік қайта өңделген судың физика-химиялық және микробиологиялық көрсеткіштері және оларды тазарту

Г.И. Бойко¹, Р.Г. Сармурзина¹, Н.П. Любченко¹, Ж.А. Балтабекова², Қ.Т. Тастамбек¹,
П.В. Кеняйкин¹, А. Таубатырова¹

¹Қ.И.Сәтбаев атындағы ҚазҰТУ, Алматы қаласы, Қазақстан

²Металлургия және кен байыту институты, Алматы қаласы, Қазақстан

АННОТАЦИЯ

Негіздеу. Антропогендік әсер ету жағдайында жер үсті өзендері мен жер асты су қоймаларындағы судың химиялық құрамы ластануға ұшырайды, бұл судың сапасының төмендеуіне ғана емес, сонымен қатар патогендік және шартты патогенді бактериялардың көбеюіне әкеледі.

Мақсаты. Бұл жұмыстың мақсаты белсендірілген алюминий қорытпалары негізінде алынған коагулянттармен табиғи, өнеркәсіптік айналымдағы судың тазартылғанға дейін және тазартылғаннан кейін физика-химиялық және микробиологиялық көрсеткіштерін зерттеу болып табылады.

Материалдар мен әдістер. Табиғи сулар ретінде: "Алматы СУ" су жиналышынан, "Медей" шатқалынан, Жайық өзенінен, МЖКБИ тәжірибелі металлургиялық өндірісінің ұғымасынан табиғи суларға зерттеу жұмыстары жүргізілді. Мұнайды терең өңдеу өндірісінің Су дайындау қондырғысынан алынған су, айналымдағы су ретінде зерттелді. Бульнғырлық НАСН 2100Q турбидиметрімен және 2100qis турбидиметрімен (АҚШ) өлшенді. Микроорганизмдердің өсімділер жасушаларының морфологиясы стереоскопиялық-сотринокулярлық микроскоп MicroOptix MX-1150 (Т) көмегімен жарық микроскопиясы арқылы зерттелді.

Нәтижелері. Алюминий полиоксихлоридін алудың тиімді және технологиялық тұрғыдан қарапайым әдісі әзірленді, оның құрамында Al_2O_3 бойынша 33-тен 41,0%-ға дейін және негізділігі 55,1-ден 66,5%-ға дейін негізгі зат бар. Бұл әдіс 0,5–1,0 масс.% мөлшерінде активатор металдармен (индий, галлий, қалайы) белсендірілген алюминий қорытпасын әрқайсысының 3%-дық HCl ерітуден тұрады. Табиғи және өнеркәсіптік айналым суларының физика-химиялық және микробиологиялық көрсеткіштері зерттелді. Алынған алюминий полиоксихлоридінің ауыз су мен өнеркәсіптік айналым суларын тазарту және кондиционерлеу тиімділігін бағалау жүзеге асырылды.

Қорытынды. Құрамында 0,5–1,0 масс.% болатын индий, галлий, қалайы бар алюминий негізіндегі жоғары энергетикалық сипаттамалары бар бірегей қорытпалар жасалды. Қорытпа әртүрлі тотығу орталарында (су, тұз қышқылы) жоғары белсенділікке ие. Алюминий полиоксихлоридін алудың технологиялық қарапайым әдісі жасалды. Табиғи және өнеркәсіптік айналым суларының химиялық және микробиологиялық құрамы зерттелді. Белсендірілген алюминий қорытпаларына негізделген коагулянттар табиғи және өнеркәсіптік айналымдағы суларды ұлы қосылыстардан тазарту және кондиционерлеу процестерінде тиімді, бактерицидтік белсенділікке ие, грам-теріс бактериялардың деңгейі 73%-ға дейін, грам-позитивті бактериялар 84%-ға дейін және басқа микроорганизмдер топтарының 96%-ға дейін төмендейді. Саңырауқұлақтар мен ашытқылар (*Mucor*, *Fusarium*) суды өңдегеннен кейін табылған жоқ. Судың лайлану көрсеткіші төмендету тиімділігі 90–99%, перманганаттың тотығуы 93% дейін жетеді.

Негізгі сөздер: белсендірілген алюминий қорытпалары, коагулянт, микробиологиялық көрсеткіштер, қайта өңделген су, патогендік бактериялар, алюминий полиоксихлориді, табиғи су.

Дәйексөз келтіру үшін:

Бойко Г.И., Сармурзина Р.Г., Любченко Н.П., Балтабекова Ж.А., Тастамбек Қ.Т., Кеняйкин П.В., Таубатырова А. Табиғи, өнеркәсіптік қайта өңделген судың физика-химиялық және микробиологиялық көрсеткіштері және оларды тазарту // Қазақстанның мұнай-газ саласының хабаршысы. 2024. 6 том, №3, 102–111 б. DOI: <https://doi.org/10.54859/kjogi108767>.

© Бойко Г.И., Сармурзина Р.Г., Любченко Н.П., Балтабекова Ж.А.,
Тастамбек Қ.Т., Кеняйкин П.В., Таубатырова А., 2024

Лицензия CC BY-NC-ND 4.0

Introduction

Under conditions of anthropogenic impact factor determining the magnitude of the negative impact on water bodies is the insufficient level of wastewater and recycled water treatment. The relevant problem is the reduction of natural water consumption for production needs, replacement of natural water for recharge of circulating water systems with alternative sources of water supply surface rivers and groundwater.

The relevant problem is the reduction of natural water consumption for production needs, replacement of natural water for recharge of circulating water systems with alternative sources of water supply. According to data [1] at many enterprises of chemical and petrochemical industries in biologically treated wastewater COD value reaches 150–200 gO/m³ and salt content exceeds 2500 g/m³. The most common and effective coagulants for water treatment from salts and pollutants are aluminum polyoxochlorides (PAC). The theoretical basis for the production of PAC is discussed in detail in papers [2–4]. Mechanism of coagulation water purification in works [5–7].

Earlier [8, 9] we developed a fundamentally new technology of PAC production on the basis of multicomponent active aluminum alloys as metals-activators, we used (Ga, In, Sn) 5 wt.% of each.

The purpose of this work is to study physicochemical and microbiological parameters of natural, industrial recycled water and their treatment by new generation coagulants based on activated aluminum alloys with the content of metal-activators from 1.5 to 3.0%, which will significantly reduce prices

Materials and Methods

As natural waters were analyzed: natural waters from water intake "Almaty SU", tract "Medeu", from the well of pilot metallurgical production (EMP) of the Institute of Metallurgy and Ore Beneficiation (IMOB), the river Zhayyk (Ural). As recycled water was analyzed water sampled from the water treatment unit of deep oil refining production (WTU of PDOR)

Activated aluminum alloys Rau-97, Rau-98, Rau-98.5, containing metals-activators: gallium, indium, tin (from 0.5 to 1 wt%) were obtained by the method described in works [9,11].

Aluminum polyoxochlorides (PAC) were obtained by interaction of aluminum activated by metal-activators (indium, gallium, tin) in the amount of 0.5–1.0 weight % each with 3% hydrochloric acid. Quality parameters – mass fraction of Al in terms of Al₂O₃ 33.2–36.9%, basicity 56–67%, corresponded to GB 15892–2009 standard.

As natural waters were analyzed: the water of the Zhayyk River was analyzed as natural water for water supply to industrial enterprises

in Atyrau and irrigation (transboundary water artery of Kazakhstan and Russia) [12] Water samples were taken from the main collector of "ANPZ" LLP, as well as water intake "Almaty SU", tracts "Medeu", from the well. The water sample taken from the water treatment unit of deep oil refining production (WTP) was analyzed as recycled water.

Water samples were taken according to state standard No. 59024–2020, were evaluated by organoleptic (smell, taste, color), physical (turbidity, pH, conductivity, permanganate oxidation), chemical parameters (total salt content, the content of anions-hydrocarbonates, sulfates, chlorides) in accordance with the sanitary rules Order of the Minister of Health of the Republic of Kazakhstan February 20, 2023 No 26.

Water treatment methodology: a certain amount of PAC was injected into 500 ml of test water while intensely stirring, after 3 minutes the speed was reduced to 50 rpm for 15 minutes, and was allowed to stand for 30 minutes afterwards.

Turbidity before and after treatment of natural and recycled water was measured directly with a turbidity meter HACH 2100Q Turbidimeter (USA).

Permanganate index (PI) was determined according to ISO 8467:1993.

Bacteriological analysis was carried out on water samples taken from the "Medeu" tract. The number of microbes and microbial composition were determined by sowing on selective nutrient media. The number of bacteria using organic nitrogen and some groups of microorganisms using mineral nitrogen were counted on Tryptone soya agar (TSA) and Meat infusion agar (MIA), enterobacteria on Endo differential diagnostic medium, all species of *Pseudomonas* group on *Pseudomonas* isolation agar (PIA). The number of fungi and yeasts was counted on selective medium Sabouraud dextrose agar (SDA). The seeded cups were incubated at 30°C and 37°C. Cell morphology of microbial cultures was studied by light microscopy using a Micro-Optix MX-1150 stereoscopic-trinocular microscope. Bacterial colonies were counted on day 2–3, yeasts and fungi on day 5–7. In the inoculations, dilutions of 1:102 and 1:104 were used.

Results and Discussion

In order to evaluate the coagulation efficiency of reagents created based on activated aluminum alloys their tests were carried out on different types of natural and recycled water. The assessment of quality of the tested water consisted in its analysis and in comparison, with the sanitary and epidemiological standards established for drinking water supply, recycled and wastewater intended for discharge into water bodies.

Physico-chemical parameters of the investigated natural waters are presented in Table 1.

Analysis showed that natural waters, in general, are slightly alkaline, low-mineralized fresh, moderately hard (Table 1). Alkalinity and turbidity increase in the samples taken in autumn compared with spring. The content of salts in the water of the river Zhaiyk (Atyrau) exceeds, allowable by regulations upper levels, not more than 1000 mg/cm³. The main cations are sodium, potassium, calcium, magnesium, in concentrations below the maximum permissible concentration, iron less than 0.1%. All investigated natural surface waters by turbidity exceed the allowable standards (not more than 2.6 FNU).

Microbiological Composition

Table 2 shows the taxonomic groups of microorganisms detected in water samples

from the "Medeu" tract. The level of microbial infestation reached 12.8x10³ CFU/ml.

Presence of aerobic Gram-negative, facultatively anaerobic microorganisms, Gram-positive cocci; Gram-positive bacilli and endospore-forming cocci (genera *Bacillus*; *Bacillus* spp. cocci; Gram-positive bacilli and cocci forming endospores (genera *Bacillus*; *Clostridium*), and also the presence of *Escherichia coli* bacteria, *Proteus* bacteria and saprophytic bacteria of the genera *Aeromonas* and *Pseudomonas* [13, 14]. The presence of saprophytic bacteria from 1x10 to 13x10³ CFU/ml in water indicates the pollution of the water body with by organic substances. In addition, a comparative study was conducted on the number of representatives of the genus *Pseudomonas*. It was found that the total number

Table 1. Physic-chemical parameters of natural waters quality before PAC treatment

Parameters	Natural Water				
	Zhaiyk river	Almaty SU water intake	Medeu tract	Medeu tract	Well EMP
	04.11.2022	20.05.2022	29.11.2022	03.04.2023	05.04.2023
Hydrogen index	7.50	7.65	7.71	8.61	8.17
Density, g/cm ³	1.02	0.984	0.998	0.999	0.999
Salt content, mg/dm ³	1195	99.3	226.0	226.0	243.0
Content of hydrogen carbonate ions, mg/dm ³	256.2	91.5	207.4	103.7	128.1
Sulfate-ions, mg/dm ³	81.78	29.70	30.6	30.6	24.0
Chloride-ions, mg/dm ³	220.0	4.85	27.4	14.2	7.1
Nitrates, mg/dm ³	4.0	-	20.0	20.0	17.0
Water turbidity, FNU	22.2	4.52	26.10	360.0	0.43
Permanganate index, mgO/dm ³	-	0.517	1.67	1.01	0.60
Conductivity, µS/cm	1078	125.4	215.8	215.8	260.6
Total water hardness, mg-eq/dm ³	3.21	2.0	2.44	2.44	1.85
Chromaticity, degrees; odour, points	0	0	0	0	0

Table 2. Taxonomic groups of microorganisms in water from the "Medeu" tract

Taxonomic groups of microorganism	CFU/ml
Microbial infestation level	12.8x10 ³
Saprophytic bacteria (<i>Pseudomonas</i>)	2.4x10 ³
Microbial population of microflora – fungi and yeast (<i>Mucor</i> , <i>Fusarium</i>)	8x10 ³
Number of Gram-negative bacteria (<i>Enterobacter</i> , <i>Proteus</i> , <i>Aeromonas</i> , <i>Flavobacterium</i> , <i>Alcaligenes</i>)	7.3x10 ³
Numbers of Gram-positive bacteria (bacilli, cocci and endospores as <i>Bacillus</i> , <i>Clostridium</i> , <i>Micrococcus</i> , <i>Enterococcus</i>)	4.2x10 ³
Other groups of microorganisms	1.3x10 ³

The number of microorganisms, *Enterobacteriaceae* was determined according to the methods described in [13]

Table 3. Characteristics of PACs synthesized using activated aluminum alloy

Coagulant cipher	Alloy cipher	Alloy composition Al:In:Ga:Sn, wt%	Product output, g	Mass fraction of Al in terms of Al ₂ O ₃ , %	Basicity, %
Coagulant №20	Rau-97	97:1:1:1	5.5	33.2	55.8
Coagulant №25	Rau-98,5	98,5:0,5:0,5:0,5	4.8	37.9	55.1
*Coagulant №31	Rau-98	98:1:1:0	4.2	40.4	60.9
Coagulant №35	Rau-98,5	98,5:0,5:0,5:0,5	5.0	34.9	58.6

Coagulants №20,25,31 – hydrochloric acid solution (3%) were prepared on distilled water, coagulant №35 – solution on water from the well of EMP

*Synthesis time is 4.5 h.

of bacteria in 1 ml, according to the method of serial dilutions, is 2.4×10^2 .

Coagulant Analysis

In order to treat natural water as well as industrial recycled water, samples of aluminum alloys with the content of activating additives from 0.5 to 1 wt% were prepared and PACs were synthesized on their basis.

PAC synthesis was carried out by dissolution in 3% hydrochloric acid, activated alloy with aluminum content from 97% to 98.5% at an initial process temperature of 25°C without heat supply from the outside. The reaction is accompanied by emission of heat and hydrogen and temperature rise to 65–70°C, which is maintained by the heat of exothermic reaction. The process is completed in 2–4.5 hours (Table 2). In contrast to the known methods of obtaining PAC [2–4], the process temperature is 30–40°C lower, more than three times lower in concentration of hydrochloric acid applied and 1.5 times faster in implementation time. Depending on the composition of the activated alloy used and reaction conditions, the mass fraction of aluminum in terms of aluminum oxide (Al_2O_3) in PAC varies from 33.2% to 41.0%, basicity from 55.1% to 66.5%.

The characteristics of PACs synthesized using activated aluminum alloys are shown in Table 3.

Natural Water Treatment

The results of evaluation of PAC efficiency for natural water treatment are presented in Tables 4, 5. Turbidity reduction efficiency reaches 99.8%. The treated water complies with the normative requirements for hydrogen index, chemical oxygen demand, turbidity, cations and anions content. The effectiveness of reducing permanganate oxidation of the water sample from the "Medeu" tract reaches 90.7% (Table 6). Also found that in the water after treatment with coagulants aluminum content is 0.03 mg/l which corresponds to Sanitary and epidemiological requirements for sources of water supply, places of water intake

for domestic drinking purposes, domestic drinking water supply.

The number of bacteria in 1 ml and species composition of microorganisms after treatment of "Medeu" water in two concentrations were studied. In "Medeu" water samples before treatment the level of microbial contamination reached 12.8×10^2 CFU/mL, whereas after treatment with coagulant No. 20 (0.1% solution in terms of Al_2O_3) 0.1 ml/l (0.3 g/l dry) (dose, this indicator was 0.3×10^2 CFU/mL). At a concentration of 5 ml/L (15.1 g/l of dry), the total number of saprophytic microorganisms did not exceed 0.1×10^2 CFU/mL.

Total number of bacteria in 1 ml according to the serial dilution method before treatment with 2.4×10^2 cells/mL in the samples after the treatment with the dose (0.1 ml/L) 0.2×10^2 cells/ml, in the concentration of 5 ml/L no representatives of this genus were found.

Microbial diversity in natural water of Medeu tract before and after treatment with 0.1% coagulant solution №20 in terms of Al_2O_3 is illustrated in Fig.1.

Microbiological Composition after Treatment

In the water sample before coagulant treatment the number of Gram-negative bacteria (Enterobacter, Proteus, Aeromonas, Chromobacterium, Flavobacterium, Alcaligenes) was ~7.3 CFU/mL. Gram-positive bacteria (Bacillus, Clostridium, Micrococcus, Enterococcus cocci and endospores) was ~4.2 CFU/mL, other groups of microorganisms were about ~1.3 CFU/mL.

After RAS treatment at a concentration of 0.1 ml/L: Gram-negative bacteria decreased to ~5.1 CFU/mL (by 30.1%), Gram-positive bacteria decreased to ~2.2 CFU/mL (by 48%), other groups of microorganisms decreased to 0.1 CFU/mL (by 92%). After treatment at a concentration of 5 ml/L, the number of gram-negative bacteria decreased to ~2.0 CFU/mL (73%), gram-positive bacteria to ~0.7 CFU/mL (84%), other groups of microorganisms decreased from 1.3

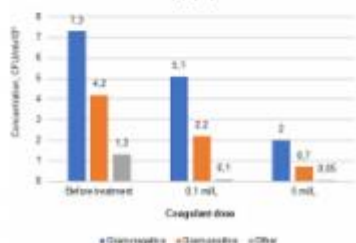


Figure 1. Microbial diversity in the natural water of "Medeu" before and after treatment with 0.1% coagulant solution №20 in terms of Al_2O_3

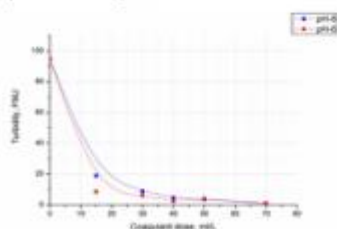


Figure 2. Turbidity of water, sampled on the WTU of the CCR unit №1, treated with coagulant №20 at initial pH 8 and acidified to pH 6

to -0.05 CFU/mL ~96%. Up to 16.0% of Gram-positive bacteria and up to 27% of Gram-negative bacteria were retained in the treated water at a concentration of 5 mL. Fungi and yeasts (*Mucor*, *Fusarium*), their number was 8×10^2 CFU/mL, after treatment representatives of this genus were not detected in both concentrations.

Recycled Water Treatment

The results of assessing the effectiveness of treatment of recycled water, selected from the WTU of PDOR are shown in Table 7. Table 7 shows the results of assessing the ef-

fectiveness of reducing turbidity of recycled water samples taken from the WTU of PDOR when treated with PAC solutions based on activated aluminum alloys in comparison with the industrial Aqua-Aurat. Water turbidity for sample №1 was 94.9 FNU, for sample №2 -182 FNU. Optimization experiments on coagulants doses were conducted to determine an acceptable and sufficient dose of coagulant. The coagulant dose is an important technological parameter in reagent water treatment. If the coagulant dose is insufficient, the required degree of purification is not achieved while consumption in excess can

Table 4. Comparative results of efficiency of natural water turbidity reduction by treatment with PAC solutions

Coagulant cipher	Coagulant dose, g/l	pH	Turbidity, FNU	Effectiveness of reducing the turbidity, %
Natural water from Medeu tract, sampled on 19.02.22, turbidity 14.8 FNU				
Aqua-Aurat 30	0.3	7.7	0.79	94.7
Coagulant №20	0.3	7.7	1.22	91.8
Coagulant №25	0.1	7.7	1.38	90.7
Coagulant №25	0.3	7.7	0.57	96.2
Coagulant №25	2.5	7.7	0.37	97.5
Coagulant №31	0.1	7.7	1.26	91.5
Coagulant №31	0.2	7.3	1.02	93.1
Coagulant №31	2.5	7.3	0.47	96.8
Natural water from Medeu tract, sampled on 29.11.22, turbidity 26.1 FNU				
Coagulant №20	0.3	7.3	1.20	95.4
Coagulant №20	3.0	7.3	0.82	96.9
Natural water from Medeu tract, sampled on 03.04.23, turbidity 360 FNU				
Coagulant №20	0.3	8.6	37.7	89.5
Coagulant №20	1.5	8.6	2.93	99.2
Coagulant №20	3.0	8.6	0.51	99.9
Coagulant №25	0.3	8.6	38.5	89.3
Coagulant №25	1.3	8.6	2.12	99.4
Coagulant №25	2.6	8.6	0.56	99.8
Natural water from "Almaty Su", sampled on 29.11.22, turbidity 4.52 FNU				
Coagulant №20	0.3	7.3	0.53	88.3
Coagulant №20	3.0	7.2	0.48	89.4

Aqua-Aurat 30 – industrial coagulant. Mass fraction of Al in terms of Al_2O_3 – 30%

Table 5. Residual turbidity after treatment with coagulant №25 of water samples from the Zhaiyk River

Water sample from the Zhaiyk River	Turbidity, FNU				Suspended particles (sediment), g/l			
	Before processing	After treatment with coagulant №25, g/l			Before processing	After treatment with coagulant №25, g/l		
		0.1	0.7	1.3		0.1	0.7	1.3
№1	22.2	1.5	0.4	0.6	0.3	0.1	0.1	0.1
№2	21.4	1.5	0.4	0.5				

Date of sampling from the river 04.11. 2022, water pH 7.5

Table 6. Residual permanganate index of "Medeu" water samples after coagulant treatment

Coagulant cipher	Coagulant dose, g/l	PI, mgO/dm ³	Efficiency of PI reduction, %
Aqua-Aurat 30	0.3	0.5	72.2
Coagulant №20	0.3	0.7	60.6
Coagulant №25	0.1	0.3	80.3
Coagulant №25	0.3	0.2	90.7
Coagulant №25	2.6	0.3	84.9
Coagulant №31	0.1	0.3	80.3
Coagulant №31	0.2	0.1	93.0
Coagulant №31	2.5	0.4	76.8

PI of source water 1.67, mgO/l. Date of sampling 29.11.22

affect water quality (change the aluminum content in the treated water).

Analysis of the data in Table 7 indicates that the required coagulant dose to achieve the highest degree of purification (99%) depends on the mass fraction of aluminum in terms of Al_2O_3 in the PAC. As the mass fraction of aluminum in PAC increases, the sufficient coagulant dosage to the required effect decreases. Therefore, for Akva-Aurat (mass fraction of Al_2O_3 is 30%) the dose of coagulant is 233 g/t. For coagulant №25 (mass fraction is 37.9 %) it is 184 g/t. For coagulant №20, (mass fraction is 33.2%) a sufficient dose is 210 g/t. Turbidity is reduced for sample №1 from 94.8 FNU to 1 FNU, for sample №2 from 182 to 1.8 FNU. In the pH range of 6–8.5, coagulants are effective for high turbidity water treatment. The pH values at which the appropriate coagulant acts most effectively were determined. Figure 2 shows curves of the degree of decrease in the turbidity of raw water with pH of 8.5, compared with water acidified to pH 6.0 depending on the dose of coagulant №20. Sedimentation of suspended solids is more effective for water with pH 6.

Consequently, PACs synthesized using activated aluminum alloys are effective coagulants for natural water and recycled water treatment and exhibit bactericidal properties.

ADDITIONAL INFORMATION

Funding source. The work was carried out within the framework of program-targeted financing of the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan for 2022–2023 [BR11765599].

Competing interests. The authors declare that they have no competing interests.

Authors' contribution. All authors made a substantial contribution to the conception of the work, acquisition, analysis, interpretation of data for the work, drafting and revising the work, final approval of the version to be published and agree to be accountable for all aspects of the work. The greatest contribution is distributed as follows: Galina I. Boiko – conceptualization, methodology, system analysis; Raushan G. Sarmurzina – supervision; project administration, and funding acquisition, validation; Nina P. Lyubchenko – collection and processing of materials, analysis of the obtained data; Zhazira A. Baltabekova – analysis of known literature sources of patent literature on the subject under consideration, formal analysis; Kuanysh T. Tastambek – microbiological composition of natural waters was analyzed in this research, writing, review and editing; Pavel V. Kenyaykin – development of methods for production of high-base coagulants and proof of their efficiency for industrial water types; Anel Taubatyrova – evaluation of coagulants efficiency for natural waters.

Conclusion

Chemical and microbiological composition of natural and industrial recycled water has been studied. Unique alloys with high energy characteristics based on aluminum activated by metal-activators: indium, gallium and tin have been created. The content of each additive is 0.5 to 1.0 wt.%. Alloy with such additions possesses high activity in different oxidizing environments (water, hydrochloric acid). Coagulants PAC synthesized using them are efficient in processes of water conditioning and physical-chemical treatment of recycled and wastewater from toxic compounds of natural and anthropogenic origin. In addition, coagulants possess bactericidal activity. The use of coagulants allows to avoid primary chlorination, the level of Gram-negative bacteria in treated water is reduced to 73%, Gram-positive bacteria to 84% and up to 96% of other groups of microorganisms. Fungi and yeasts (*Mucor*, *Fusarium*), their number was 8×10^2 CFU/mL, after treatment of representatives of this genus were not found in both concentrations. Coagulants are effective in a wide pH range from 6 to 8.5.

The results of analysis of treated water comply with the requirements for drinking water supply and wastewater disposal Order of the Minister of Health Republic of Kazakhstan dated February 20, 2023 No. 26 and ISO5667.

ДОПОЛНИТЕЛЬНО

Источник финансирования. Работы выполнены в рамках программно-целевого финансирования Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан на 2022–2023 гг. [BR11765599].

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Вклад авторов. Все авторы подтверждают соответствие своего авторства международным критериям ICMJE (все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией). Наибольший вклад распределён следующим образом: Бойко Г.И. – концептуализация, методология, системный анализ; Сармурзина Р.Г. – руководство, администрирование проекта, а также получение финансирования, валидация; Любченко Н.П. – сбор и обработка материалов, анализ полученных данных; Балтабекова Ж.А. – анализ известных литературных источников патентной литературы по рассматриваемой теме, формальный анализ; Тастамбек К.Т. – анализ микробиологического состава природных вод в данном исследовании, написание, рецензирование и редактирование; Кеняйкин П.В. – разработка методов получения

высокоосновных коагулянтов и доказательство вод: Таубатырова А. – оценка эффективности их эффективности для промышленных типов коагулянтов для природных вод.

REFERENCES

1. Belichenko YP. *Zamknutyie sistemy vodosnabzheniya khimicheskikh proizvodstv*. Moscow: Chemistry; 1990. 208 p. (In Russ).
2. Masakbaeva SR, Tokareva AV, Nesmeyanova RM, Kovtarena SY. Preparation of aluminum oxychloride from aluminum hydroxide and hydrochloric acid. *Sci. Technol. Kazakhstan*. 2021;1:6–11. (In Russ).
3. Patent RUS №2589164C1/ 10.07.16. Byul. №19. Sychev AV, Sychev SA, Rashkovskij GB. *Method of producing aluminum oxychloride*. Available from: <https://patentimages.storage.googleapis.com/97/41/0b/d418d6e7d9fc05/RU2589164C1.pdf>. (In Russ).
4. Tokareva AV, Masakbaeva SR. Aluminum oxychloride coagulant for drinking water treatment. *Sci. Technol. Kazakhstan*. 2020;2:58–65. (In Russ).
5. Shamaei L, Khorshidia L, Perdicakis B, Sadrzadeh M. Treatment of oil sands produced water using combined electrocoagulation and chemical coagulation techniques. *Sci. Total Environ*. 2018;645:560–572. doi: 10.1016/j.scitotenv.2018.06.387.
6. Sun H, Jiao R, Xu H, et al. The influence of particle size and concentration combined with pH on coagulation mechanisms. *J. Environ. Sci*. 2019;82:39–46. doi: 10.1016/j.jes.2019.02.021.
7. Tang H, Xiao F, Wang D. Speciation, stability, and coagulation mechanisms of hydroxyl aluminum clusters formed by pacd and alum: a critical review. *Adv. Colloid Interface Sci*. 2015;226(A):78–85. doi: 10.1016/j.cis.2015.09.002.
8. Boyko GI, Samurizina RG, Karabalin US, et al. Energy storage substances of a new generation in solving the problem of wastewater treatment of oil production and refining facilities. *Oil. Gas. Novation*. 2019;5(221):20–25.
9. Samurizina RG, Boiko GI, Kenzhaliyev BK, et al. Coagulants for water based on activated aluminum alloys. *Global J. Environ. Sci. Manage*. 2023;9(4):1–18. doi: 10.22034/gjesm.2023.04.02.
10. Samurizina RG, Boiko GI, Lyubchenko NP, et al. Alloys for the production of hydrogen and active aluminum oxide. *News Natl. Acad. Sci. R.K. Ser. Geol. Tech. Sci*. 2022;1(451):91–98. doi: 10.32014/2022.2518-170X.145.
11. Samurizina RG, Boiko GI, Lyubchenko NP, et al. Hydrogen obtaining from the system activated aluminum – water. *News Natl. Acad. Sci. R.K. Ser. Geol. Tech. Sci*. 2022;6(456):196–213. doi: 10.32014/2518-170X.249.
12. Tulemisova GB, Abdinov RS, Kabdrakhimova GZ, Zhanelov TB. Ecological condition of the Ural River. *Chem Bull Kazakh Natl Univ*. 2017;85(2):18–24. doi: 10.15328/cb808. (In Russ).
13. Tastambek KT, Akimbekov NS, Yemazarova AK, et al. The evaluation of microbial diversity in water and soil samples from Atyrau and Mangystau regions. *KazNU Bulletin. Ecology series*. 2016;3(48):76–83. (In Russ).
14. Pshenichnov PA, Zakirov FN, Nikitina NM. Mikrobiotest dlya otsenki, monitoringa zagryazneniya pochv. *Ekologiya*. 1995;4:332–333. (In Russ).

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Белichenko Ю.П. *Замкнутые системы водоснабжения химических производств*. Москва : Химия, 1990. 208 с.
2. Масакбаева С.Р., Токарева А.В., Несмеянова Р.М., Ковтарева С.Ю. Получение оксихлорида алюминия из тригидроксида алюминия и соляной кислоты // *Наука и техника Казахстана*. 2021. №1. С. 6–11.
3. Патент РФ на изобретение №2589164C1/ 10.07.16. Бюл. №19. Сычев А.В., Сычев С.А., Рашковский Г.Б. способ получения оксихлорида алюминия. Режим доступа: <https://patentimages.storage.googleapis.com/97/41/0b/d418d6e7d9fc05/RU2589164C1.pdf>. Дата обращения: 02.05.2024.
4. Токарева А.В., Масакбаева С.Р. Оксихлорид алюминия – коагулянт для подготовки воды питьевого водоснабжения // *Наука и техника Казахстана*. 2020. №2. С. 58–65.
5. Shamaei L, Khorshidia L, Perdicakis B, Sadrzadeh M. Treatment of oil sands produced water using combined electrocoagulation and chemical coagulation techniques // *Sci. Total Environ*. 2018. Vol. 645. P. 560–572. doi: 10.1016/j.scitotenv.2018.06.387.
6. Sun H, Jiao R, Xu H, et al. The influence of particle size and concentration combined with pH on coagulation mechanisms // *J. Environ. Sci*. 2019. Vol. 82. P. 39–46. doi: 10.1016/j.jes.2019.02.021.
7. Tang H, Xiao F, Wang D. Speciation, stability, and coagulation mechanisms of hydroxyl aluminum clusters formed by pacd and alum: a critical review // *Adv. Colloid Interface Sci*. 2015. Vol. 226(A). P. 78–85. doi: 10.1016/j.cis.2015.09.002.

8. Бойко Г.И., Сармурзина Р.Г., Карабалин У.С., и др. Энергоаккумулирующие вещества нового поколения в решении проблемы очистки сточных вод объектов нефтедобычи и нефтепереработки // Нефть. Газ. Новации. 2019. №5(221). С. 20–25.
9. Sarmurzina R.G., Boiko G.I., Kenzhaliyev B.K., et al. Coagulants for water based on activated aluminum alloys // Global J. Environ. Sci. Manage. 2023. Vol. 9, Issue 4. P. 1–18. doi: 10.22034/gjesm.2023.04.02.
10. Сармурзина Р.Г., Бойко Г.И., Любченко Н.П., и др. Сплавы для производства водорода и активного оксида алюминия // Известия Национальной Академии наук Республики Казахстан. 2022. №1(451). С. 91–98. doi: 10.32014/2022.2518-170X.145.
11. Сармурзина Р.Г., Бойко Г.И., Любченко Н.П., и др. Получение водорода из системы активированный алюминий – вода // Известия Национальной Академии наук Республики Казахстан. 2022. №6(456). С. 196–213. doi: 10.32014/2518-170X.249.
12. Тулемисова Г.Б., Абдинов Р.Ш., Кабдрахимова Г.Ж., Жанетов Т.Б. Экологическое состояние реки Урал. Вестник КазНУ. Серия химическая. 2017. №2(85). С. 18–24. doi: 10.15328/cb808.
13. Тастамбек К.Т., Акимбеков Н.Ш., Ерназарова А.К., и др. Изучение микробного разнообразия в пробах воды и почвы Атырауской и Мангистауской областей. Вестник КазНУ. Серия экологическая. 2016. Вып. 3(48). С. 76–83.
14. Пивенчиков Р.А., Закиров Ф.Н., Никитина Н.М. Микроботест для оценки, мониторинга загрязнения почв // Экология. 1995. №4. С. 332–333.

AUTHORS' INFO

***Galina I. Boiko**
 Doct. Sc. (Chemistry)
 ORCID 0000-0002-2912-3384
 e-mail: galina.boiko.kazntu@gmail.com.
Raushan G. Sarmurzina
 Doct. Sc. (Chemistry), professor
 ORCID 0000-0002-9572-9712
 e-mail: sarmurzina_r@mail.ru.
Nina P. Lyubchenko
 Cand. Sc. (Chemistry)
 ORCID 0000-0002-7133-808X
 e-mail: amtek@bk.ru.
Zhazira A. Baltabekova
 ORCID 0000-0003-3076-0652
 e-mail: jazira001@mail.ru.
Kuanysht T. Tastambek
 PhD (Biotechnology)
 ORCID 0000-0002-2338-8816
 e-mail: tastambeku@gmail.com.
Pavel V. Kenyakin
 ORCID 0000-0002-4360-1573
 e-mail: kenyaikin.p@gmail.com.
Anel Taubatyrova
 ORCID 0009-0001-1329-0372
 e-mail: gggnika465@gmail.com.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

***Бойко Галина Ильясовна**
 докт. хим. наук
 ORCID 0000-0002-2912-3384
 e-mail: galina.boiko.kazntu@gmail.com.
Сармурзина Раушан Гайсиевна
 докт. хим. наук, профессор
 ORCID 0000-0002-9572-9712
 e-mail: sarmurzina_r@mail.ru.
Любченко Нина Павловна
 канд. хим. наук
 ORCID 0000-0002-7133-808X
 e-mail: amtek@bk.ru.
Балтабекова Жазира Амангельдиевна
 ORCID 0000-0003-3076-0652
 e-mail: jazira001@mail.ru.
Тастамбек Куаныш Талгатович
 PhD (Биотехнология)
 ORCID 0000-0002-2338-8816
 e-mail: tastambeku@gmail.com.
Кенякин Павел Витальевич
 ORCID 0000-0002-4360-1573
 e-mail: kenyaikin.p@gmail.com.
Таубатырова Анель
 ORCID 0009-0001-1329-0372
 e-mail: gggnika465@gmail.com.

*Автор, ответственный за переписку/Corresponding Author

НЕКОММЕРЧЕСКОЕ АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО «КАЗАХСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ имени К.И.САТПАЕВА»

РЕЦЕНЗИЯ

на магистерскую диссертацию

(наименование вида работы)

Тaubатыровой Анель

(Ф.И.О. обучающегося)

7M07142 – Химическая технология органических веществ

(шифр и наименование ОП)

На тему: «Повышение качества и очистка оборотных вод реагентами на основе
активированного алюминия»

Выполнено:

а) графическая часть - рисунков: слайдов презентации

ЗАМЕЧАНИЯ К РАБОТЕ

Целью магистерской диссертации Таубатыровой А. является исследование эффективности комбинированных коагулянтов на основе полиоксихлорида алюминия и альгината натрия для очистки оборотных вод Атырауского нефтеперерабатывающего завода.

Тема исследований является актуальной. Содержание магистерской диссертации соответствует ее названию, поставленной цели и задачам.

Работа выполнена в логичной последовательности, теоретическая и экспериментальная части взаимосвязаны, результаты работ иллюстрированы графическим материалом в виде фото экспериментов, графиков и таблиц. Литературный обзор включает анализ исследований теории коагуляции, научных публикаций по теме очистки оборотных вод нефтеперерабатывающих заводов, вопросов организации замкнутых циклов оборотного водоснабжения, дана оценка особенности систем водоочистки и водоснабжения Атырауского нефтеперерабатывающего завода.

Методологическая база соответствует выбранному научному направлению, экспериментальная часть содержит исследования оборотной воды АРПЗ в сравнении с природной подпиточной водой из реки Жайык в качестве эталона, представлены лабораторные опытные эксперименты по получению активированных сплавов алюминия и синтезу коагулянта полиоксихлорида алюминия. В третьей части дано теоретическое обоснование эффективности коагулянтов, проведены сравнительные исследования полученных алюминиевых сплавов с использованием метода кинетического газового анализа, дана оценка возможности применения синтезированных коагулянтов в очистке оборотных вод АНПЗ и высокоминерализованных водах. Проведена гравиметрическая оценка воздействия ингибиторов коррозии, показана высокая эффективность ингибитора на основе системы альгинат натрия - полиоксихлорид алюминия. В заключении приводятся обоснованные выводы, предложены рекомендации по внедрению синтезированного коагулянта.

Научная новизна заключается в использовании коагулянта, разработанного с уникальным составом многокомпонентного сплава и его использовании совместно с органическим коагулянтом.

Проведенные исследования имеют практическую значимость, полученные результаты могут быть использованы для оптимизации работы систем водоснабжения нефтеперерабатывающих заводов.

Оценка работы

Содержание работы раскрыто в полном объеме, цель достигнута, заключение работы соответствуют поставленным задачам.

Магистерская диссертация Таубатыровой А. соответствует требованиям, предъявляемым к выпускным работам магистрантов, и рекомендуется к защите с оценкой «Отлично».

Рецензент

К.Т.Н., вед науч. сотрудник

АО ИМиО

(должность, уч. степень, звание)

Атанова О.В.

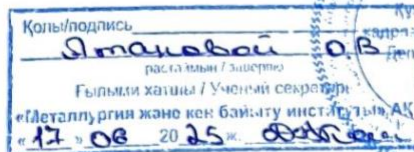
(подпись)

«17»

июня

2025 г.

Ф КазНТУ 706-17. Рецензия





Отчет подобия

Метаданные

Название организации

Satbayev University

Название

Повышение качества и очистка оборотных вод реагентами на основе активированного алюминия

Автор

Научный руководитель / Эксперт

Тaubatyrova Aneel'Galina Boyko

Подразделение

ИГИНГД

Объем найденных подоби

КП-ия определяют, какой процент текста по отношению к общему объему текста был найден в различных источниках.. Обратите внимание! Высокие значения коэффициентов не означают плагиат. Отчет должен быть проанализирован экспертом.



КП1

25

Длина фразы для коэффициента подобия 2



КП2

12649

Количество слов



КЦ

96752

Количество символов

Тревога

В этом разделе вы найдете информацию, касающуюся текстовых искажений. Эти искажения в тексте могут говорить о ВОЗМОЖНЫХ манипуляциях в тексте. Искажения в тексте могут носить преднамеренный характер, но чаще, характер технических ошибок при конвертации документа и его сохранении, поэтому мы рекомендуем вам подходить к анализу этого модуля со всей долей ответственности. В случае возникновения вопросов, просим обращаться в нашу службу поддержки.

Замена букв		33
Интервалы		0
Микропробелы		25
Белые знаки		0
Парафразы (SmartMarks)		54

Подобия по списку источников

Ниже представлен список источников. В этом списке представлены источники из различных баз данных. Цвет текста означает в каком источнике он был найден. Эти источники и значения Коэффициента Подобия не отражают прямого плагиата. Необходимо открыть каждый источник и проанализировать содержание и правильность оформления источника.

10 самых длинных фраз			Цвет текста
ПОРЯДКОВЫЙ НОМЕР	НАЗВАНИЕ И АДРЕС ИСТОЧНИКА URL (НАЗВАНИЕ БАЗЫ)	КОЛИЧЕСТВО ИДЕНТИЧНЫХ СЛОВ (ФРАГМЕНТОВ)	
1	Очистка природной воды полиоксихлоридом алюминия на основе активированных сплавов алюминия 5/30/2025 Satbayev University (ИГИНГД)	44	0.35 %

2	Очистка природной воды полиоксихлоридом алюминия на основе активированных сплавов алюминия 5/30/2025 Satbayev University (ИГиНГД)	40 0.32 %
3	Очистка природной воды полиоксихлоридом алюминия на основе активированных сплавов алюминия 5/30/2025 Satbayev University (ИГиНГД)	31 0.25 %
4	Очистка природной воды полиоксихлоридом алюминия на основе активированных сплавов алюминия 5/30/2025 Satbayev University (ИГиНГД)	29 0.23 %
5	Очистка природной воды полиоксихлоридом алюминия на основе активированных сплавов алюминия 5/30/2025 Satbayev University (ИГиНГД)	27 0.21 %
6	Очистка природной воды полиоксихлоридом алюминия на основе активированных сплавов алюминия 5/30/2025 Satbayev University (ИГиНГД)	24 0.19 %
7	Очистка природной воды полиоксихлоридом алюминия на основе активированных сплавов алюминия 5/30/2025 Satbayev University (ИГиНГД)	20 0.16 %
8	Очистка природной воды полиоксихлоридом алюминия на основе активированных сплавов алюминия 5/30/2025 Satbayev University (ИГиНГД)	20 0.16 %
9	Очистка природной воды полиоксихлоридом алюминия на основе активированных сплавов алюминия 5/30/2025 Satbayev University (ИГиНГД)	19 0.15 %
10	Очистка природной воды полиоксихлоридом алюминия на основе активированных сплавов алюминия 5/30/2025 Satbayev University (ИГиНГД)	19 0.15 %
из базы данных RefBooks (0.21 %)		
ПОРЯДКОВЫЙ НОМЕР	НАЗВАНИЕ	КОЛИЧЕСТВО ИДЕНТИЧНЫХ СЛОВ (ФРАГМЕНТОВ)
Источник: Paperity		
1	Structure of 15-Level Sub-Module Cascaded H-Bridge Inverter for Speed Control of AC Drive Applications U. S. Ragupathy, R. Naveen, R. Uthirasamy;	14 (2) 0.11 %
2	Antigenic characterization of influenza A (H1N1) viruses recently isolated from pigs and turkeys in France. A. Douglas, M. Aymard, C. Kaiser, J. Skehel, J. Gourreau, J. Million, M. Fontaine;	13 (1) 0.10 %
из домашней базы данных (4.62 %)		
ПОРЯДКОВЫЙ НОМЕР	НАЗВАНИЕ	КОЛИЧЕСТВО ИДЕНТИЧНЫХ СЛОВ (ФРАГМЕНТОВ)

1	Очистка природной воды полиоксихлоридом алюминия на основе активированных сплавов алюминия 5/30/2025 Satbayev University (ИГиНГД)	558 (37) 4.41 %
2	Очистка нефтезагрязненной почвы реагентом на основе сплавов алюминия и фульвово́й кислоты 5/30/2025 Satbayev University (ИГиНГД)	26 (3) 0.21 %
из программы обмена базами данных (0.00 %)		
ПОРЯДКОВЫЙ НОМЕР	НАЗВАНИЕ	КОЛИЧЕСТВО ИДЕНТИЧНЫХ СЛОВ (ФРАГМЕНТОВ)
из интернета (0.36 %)		
ПОРЯДКОВЫЙ НОМЕР	ИСТОЧНИК URL	КОЛИЧЕСТВО ИДЕНТИЧНЫХ СЛОВ (ФРАГМЕНТОВ)
1	http://old.udhtu.edu.ua/public/userfiles/file/djs_Rubt%27ova.pdf	19 (1) 0.15 %
2	https://core.ac.uk/download/pdf/53092681.pdf	15 (1) 0.12 %
3	http://www.lib.tpu.ru/fulltext/c/2015/C52/V1/C52_V1.pdf	11 (1) 0.09 %
Список принятых фрагментов (нет принятых фрагментов)		
ПОРЯДКОВЫЙ НОМЕР	СОДЕРЖАНИЕ	КОЛИЧЕСТВО ИДЕНТИЧНЫХ СЛОВ (ФРАГМЕНТОВ)

