

**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования «Российский химико-технологический университет
имени Д.И. Менделеева»**

На правах рукописи

АУНГ ПЬЯЕ

**Повышение эффективности электрофлотационного процесса
извлечения ионов меди, никеля и цинка в составе
многокомпонентных систем**

2.6.9. Технология электрохимических процессов
и защита от коррозии

ДИССЕРТАЦИЯ

на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Научный руководитель:

к.т.н., доцент,

Колесников Артём Владимирович

Москва – 2023

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
1. ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР.....	10
2. МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ	20
3. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ.....	28
3.1. Кинетика электрофлотационного процесса извлечения дисперсной фазы смеси двухкомпонентной системы из модельных сточных вод в слабощелочной области рН в присутствии катионных ПАВ и флокулянта.....	28
3.1.1. Определение условий для эффективного протекания электрофлотационного процесса в электролитах Na ₂ SO ₄ для двухкомпонентной системы Cu ²⁺ -Zn ²⁺	28
3.1.2. Определение условий для эффективного протекания электрофлотационного процесса в электролитах Na ₂ SO ₄ для двухкомпонентной системы Cu ²⁺ - Ni ²⁺	33
3.1.3. Определение условий для эффективного протекания электрофлотационного процесса в электролитах Na ₂ SO ₄ для двухкомпонентной системы Ni ²⁺ - Zn ²⁺	37
3.1.4. Определение условий для эффективного протекания электрофлотационного процесса в присутствии NH ₃ *H ₂ O для двухкомпонентной системы Cu ²⁺ - Zn ²⁺	41
3.1.5. Определение условий для эффективного протекания электрофлотационного процесса в присутствии NH ₃ *H ₂ O для двухкомпонентной системы Cu ²⁺ - Ni ²⁺	45
3.1.6. Определение условий для эффективного протекания электрофлотационного процесса в присутствии NH ₃ *H ₂ O для двухкомпонентной системы Ni ²⁺ - Zn ²⁺	49
3.2 Исследование процессов электрофлотационного извлечения смеси труднорастворимых соединений меди, никеля и цинка в присутствии органических композиций, применяемых в обработке поверхности металлов.....	53
3.2.1 Влияние концентрации органических композиций на процесс электрофлотационного извлечения смеси гидроксидов Cu ²⁺ -Zn ²⁺	53

3.2.2	Влияние концентрации органических композиций на процесс электрофлотационного извлечения смеси гидроксидов Cu^{2+} - Ni^{2+}	58
3.2.3	Влияние концентрации органических композиций на процесс электрофлотационного извлечения смеси гидроксидов Ni^{2+} - Zn^{2+}	63
3.3	Определение условий для эффективного протекания электрофлотационного процесса в электролитах Na_2SO_4 , $\text{NH}_3\cdot\text{H}_2\text{O}$, NaNO_3 и Na_3PO_4 для трехкомпонентных систем Cu^{2+} - Ni^{2+} - Zn^{2+}	68
3.3.1	Определение условий для эффективного протекания электрофлотационного процесса в электролитах Na_2SO_4 для систем Cu^{2+} - Ni^{2+} - Zn^{2+}	68
3.3.2	Определение условий для эффективного протекания электрофлотационного процесса в электролитах $\text{NH}_3\cdot\text{H}_2\text{O}$ для систем Cu^{2+} - Ni^{2+} - Zn^{2+}	74
3.3.3	Определение условий для эффективного протекания электрофлотационного процесса в электролитах NaNO_3 для систем Cu^{2+} - Ni^{2+} - Zn^{2+}	80
3.3.4	Определение условий для эффективного протекания электрофлотационного процесса в электролитах Na_3PO_4 для систем Cu^{2+} - Ni^{2+} - Zn^{2+}	83
3.4	Анализ эффективности для электрофлотационного извлечения труднорастворимых соединений Cu^{2+} , Ni^{2+} и Zn^{2+}	86
3.4.1	Группа эффективности электрофлотационного процесса для двухкомпонентных систем Cu^{2+} - Ni^{2+} , Cu^{2+} - Zn^{2+} , Ni^{2+} - Zn^{2+}	87
3.4.2	Базовые параметры электрофлотационного процесса в присутствии органических композиций в электролитах Na_2SO_4 для двухкомпонентных систем Cu^{2+} - Ni^{2+} , Cu^{2+} - Zn^{2+} , Ni^{2+} - Zn^{2+}	90
3.4.3	Базовые параметры электрофлотационного процесса в различных электролитах Na_2SO_4 и $\text{NH}_3\cdot\text{H}_2\text{O}$ для трехкомпонентных систем.....	93
4.	ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ.....	95
	ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	97
	СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	99

ВВЕДЕНИЕ

Вода обладает уникальными свойствами. У нее нет ни вкуса, ни цвета, ни запаха. В воде удивительным образом сочетается как простота, так и сложность. Она занимает главное место в жизни людей, существовании животного и растительного мира. С водой связана вся жизнь на нашей планете. Без нее не проживут ни люди, ни растения, ни животные. Если посмотреть на нашу планету из космоса, мы увидим, что большая часть ее покрыта водой. Действительно, площадь Тихого океана гораздо больше площади всей суши нашей планеты Земля. Однако, морская вода, хоть и преобладает, она не пригодна ни для питья, ни для промышленных, ни для бытовых нужд.

Чрезмерное количество соли губительно влияет на организм человека, вызывая обезвоживание, также она негативно воздействует на плодородный слой почвы, снижая количество биомассы на единицу площади. Применение соленой воды приводит к тому, что ржавеют достаточно быстро любые механизмы. Только пресная вода по-настоящему ценна для жизнедеятельности человека. Однако на земле ее только 3%, и из них основное количество сосредоточено в ледниках, на горных вершинах и в недрах земли. Из всех запасов пресной воды для человека остается только не более одного процента.

Рост городов и, в последствии, строительство и функционирование промышленных предприятий для хозяйственно-питьевых и культурно-бытовых потребностей человека очень сильно влияют на качество пресной воды. Сточные воды гальванического производства, производства материалов для лакокрасочных покрытий содержат различные загрязняющие вещества (ЗВ). Одними из самых опасных являются ионы тяжелых и цветных металлов, нефтепродукты, различные ПАВы, а так же органические компоненты, которые формируют трудноизвлекаемую устойчивую эмульсию.

Актуальность темы исследования. Основным решением актуальной научно-технологической проблемы является улучшение экологической обстановки на машиностроительных предприятиях Республики Союз Мьянма. Снижение опасности для окружающей среды и общества в целом достигается за счет повышения эффективности электрофлотационного способа очистки сточных вод путем извлечения труднорастворимых токсичных компонентов цветных металлов в составе многокомпонентной смеси и органических загрязнений.

Гальваническое производство считается крупным водопотребителем, на разных этапах которого образуются большие объемы водных стоков различных по составу: кислотные, щелочные (содержащие минеральные соли), с органическими примесями.

Степень разработанности темы исследования.

Существенный научный и практический интерес обуславливает изучение таких сложных, многокомпонентных систем в качестве объектов исследования.

В ранних работах, проведенных в РХТУ им. Менделеева, было показано, что одним из эффективных методов очистки сточных вод сложного состава является электрофлотация. Для электрофлотационной очистки характерны отсутствие вторичных загрязнений и низкие энергозатраты, что является существенным преимуществом перед другими электрохимическими методами, например, электрокоагуляцией.

Электрофлотация представляет собой физико-химический метод разделения твердой и жидкой фаз. В результате пропускания через раствор электрического тока образуются газовые пузырьки водорода и кислорода. Всплывая, пузырьки газовой смеси и кислорода взаимодействуют с частицами загрязнений, в результате чего происходит их совместное слипание, которое обусловлено уменьшением поверхностной энергии флотируемой частицы и пузырька газа на границе раздела фаз «жидкость – газ».

Физико-химические процессы включают в себя электролитическую генерацию газовых пузырьков, адгезию газовых пузырьков и частиц загрязнений, транспортирование образовавшихся агрегатов «пузырек газа - частица загрязнения» на поверхность обрабатываемой жидкости.

Основную роль в процессе электрофлотации выполняют пузырьки водорода, которые выделяются на катоде. Размер и интенсивность образования пузырьков водорода зависят от состава и температуры обрабатываемой жидкости, поверхностного натяжения, материала электрода, их формы и шероховатости, плотности тока.

Оптимальная плотность тока зависит от физико-химических свойств системы.

Электрофлотация является одним из перспективных направлений очистки сточных вод от примесей тяжелых металлов, взвешенных веществ и некоторых органических соединений. Достоинствами этого метода являются: высокая эффективность очистки, возможность автоматизации процесса, создание локальных систем требуемого объема и отсутствие вторичного загрязнения воды.

Для разработки эффективной, экологически чистой и ресурсосберегающей технологии очистки водных стоков, в которых присутствуют: ионы тяжелых и цветных металлов, ПАВ различной природы; необходимо определять наиболее оптимальные решения на основе индивидуального подхода, с использованием ранее полученных лабораторных данных на пилотных установках.

Цель исследования.

Основной целью работы стало установление базовых закономерностей (интенсивность и эффективность) по влиянию природы дисперсной фазы и $\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ на процесс электрофлотационного извлечения труднорастворимых соединений меди, цинка и никеля в составе многокомпонентных систем для поиска направлений по повышению эффективности электрофлотационных процессов очистки сточных вод сложного состава.

Задачи исследования.

1. Исследование электрофлотационного процесса совместного извлечения ионов меди, никеля и цинка в составе двух- и трехкомпонентных систем. Определение оптимальных значений pH, плотности тока, времени обработки.
2. Установление закономерностей процесса электрофлотационного извлечения труднорастворимых соединений меди, никеля и цинка в составе двухкомпонентных систем в присутствии фоновых электролитов Na_2SO_4 и $\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$.
3. Поиск путей повышения эффективности процесса электрофлотационного извлечения гидроксидов меди, никеля и цинка из двухкомпонентных систем, загрязненных органическими композициями (пенетрант ЛЖ-6А, лак ФЛ-5111, очищающая жидкость ОЖ-1 и растворитель Р-5).
4. Исследование влияния фоновых электролитов Na_2SO_4 , $\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$, NaNO_3 , Na_3PO_4 на процесс извлечения трехкомпонентных смесей ионов меди, никеля и цинка из сточных вод.
5. Разработка принципиальной схемы очистки сточных вод сложного состава, образующихся на машиностроительных предприятиях Республики Союз Мьянма.

Научная новизна.

1. Установлено, что для двухкомпонентной системы Cu-Zn наибольшая степень извлечения наблюдается в сульфатном фоновом электролите в присутствии катионного ПАВ при pH=9 и составляет 98 %, что обусловлено влиянием катионных

ПАВ на заряд поверхности частиц извлекаемых гидроксидов и смещением в более положительную область.

2. Выявлено, что для двухкомпонентных систем Cu-Zn и Ni-Zn наибольшая степень извлечения достигается в условиях фонового электролита $\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ и составляет 95 % и 94 % соответственно, что обусловлено, вероятно, образованием более крупных частиц гидроксидов извлекаемых ионов металлов.

3. Впервые установлено влияние органических композиций, таких как: очищающая жидкость ОЖ-1, пенетрант ЛЖ-6А, лак ФЛ-5111 и растворитель Р-5, применяемых в обработке поверхности металлов, на процесс электрофлотационного извлечения двухкомпонентных смесей труднорастворимых соединений меди, никеля и цинка при $\text{pH}=9$.

4. Определена роль катионных ПАВ (КатаПАВ, СептаПАВ) и флокулянта на основе полиакриламида (Zetag-8160) в интенсификации на 20–40% и повышении эффективности процесса электрофлотационного извлечения многокомпонентной смеси труднорастворимых соединений меди, никеля и цинка при $\text{pH}=9$ для фоновых электролитов Na_2SO_4 , $\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$, NaNO_3 , Na_3PO_4 , заключающаяся в изменении как знака заряда, так и размера флотируемых гидроксидов металлов.

Теоретическая и практическая значимость.

1. Установлены новые закономерности электрофлотационного процесса извлечения различных труднорастворимых соединений меди, никеля, цинка в фоновом электролите $\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$.

2. Определена роль фоновых электролитов (Na_2SO_4 , NaNO_3 и Na_3PO_4) в процессе электрофлотационного извлечения труднорастворимых соединений цветных металлов в составе многокомпонентных стоков. Предложены подходы к повышению эффективности, заключающиеся в смещении pH проведения процесса в область существования гидроксидов всех извлекаемых металлов и влиянием на их дисперсную фазу путем введения ПАВ или флокулянтов для укрупнения или изменения электрокинетического потенциала.

3. Показано влияние органических композиций (очищающая жидкость ОЖ-1, пенетрант ЛЖ-6А, лак ФЛ-5111 и растворитель Р-5), применяемых в обработке поверхности металлов на предприятиях в Республике Союз Мьянма на процесс электрофлотационного извлечения. В присутствии растворителя Р-5 наибольшая степень

извлечения для двухкомпонентной системы Cu-Ni достигает 94 %; лака ФЛ-5111 наибольшая степень извлечения в парах Cu-Zn и Ni-Zn достигает 98 % и 90 % соответственно; очищающей жидкости ОЖ-1 наибольшая степень извлечения в паре Cu-Zn достигает 98 %.

4. Определены оптимальные условия процесса электрофлотационного извлечения труднорастворимых соединений меди, никеля, цинка в составе многокомпонентных стоков. Разработана принципиальная схема обезвреживания сточных вод от смеси тяжелых металлов в присутствии органических композиций для машиностроительных предприятий Республики Союза Мьянмы.

Методология и методы исследования.

В работе использованы современные методы исследований: для определения концентрации ионов металлов в растворе – метод атомно-абсорбционной спектроскопии, для определения дзета-потенциала частиц дисперсной фазы – метод ЭФРС.

Положения, выносимые на защиту.

1. Результаты исследования электрофлотационного процесса извлечения труднорастворимых соединений меди, никеля, цинка из двух- и трехкомпонентных смесей в присутствии лиганда $\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ и органических композиций, применяемых в обработке поверхности металлов.

2. Результаты исследования электрофлотационного процесса извлечения труднорастворимых соединений цветных металлов меди, никеля, цинка в условиях фоновых электролитов Na_2SO_4 , NaNO_3 и Na_3PO_4 .

3. Условия интенсификации и повышения эффективности электрофлотационного процесса извлечения труднорастворимых соединений меди, никеля, цинка в присутствии органических компонентов.

Степень достоверности и апробация результатов.

Основные результаты диссертационной работы представлены на конференциях: Успехи в химии и химической технологии МКХТ-2017, Успехи в химии и химической технологии МКХТ-2018, Успехи в химии и химической технологии МКХТ-2019, Успехи в химии и химической технологии МКХТ-2020. XIV Конференция молодых ученых, аспирантов и студентов ИФХЭ РАН Физикохимия – 2019. XXI Менделеевский съезд по общей и прикладной химии, г. Санкт-Петербург, Россия, 9-13 сентября 2019. Актуальные

вопросы химической технологии и защиты окружающей среды, г. Чебоксары, 2020. Материалы Международного молодежного научного форума «ЛОМОНОСОВ-2020». Инновационные материалы и технологии: Международная научно-техническая конференция молодых ученых 2020, Беларусь. Инновационные материалы и технологии – 2021. г. Минск, Республика Беларусь. Всего 18 тезисов докладов.

1. ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР

Сложная экологическая ситуация, сложившаяся в начале третьего тысячелетия, как в России, так и в мире в целом, является результатом нерационального, расточительного природопользования. Социально-экономическое развитие человечества продолжает сопровождаться истощением природных ресурсов, деградацией и загрязнением природной среды, повышением общего уровня смертности и заболеваемости населения.

Долгое время люди смотрели на природу как на неиссякаемый источник необходимых им материальных благ. Однако, столкнувшись с негативными последствиями их воздействия, они постепенно пришли к убеждению в необходимости рационального использования и защиты природы. Устойчивое развитие человеческого общества невозможно без рационального природопользования.

На территории России действует Федеральный закон от 10.01.2002 № 7-ФЗ «Об охране окружающей среды» [1]. Закон основан на норме Конституции Российской Федерации, закрепляющей право граждан на здоровую окружающую среду, и определяет правовые основы государственной политики в этой сфере, такие как:

- презумпция экологической опасности планируемой хозяйственной деятельности. Является основанием для реализации принципов обязательной экологической экспертизы и экологической экспертизы, а также запрета хозяйственной и иной деятельности, последствия которой непредсказуемы для окружающей среды, а также реализация проектов, которые могут привести к деградации естественных экологических систем, изменению и (или) уничтожению генетического фонда растений, животных и других организмов, истощению природных ресурсов и другим негативным изменениям в окружающей среде;

- приоритет сохранения естественных экологических систем, природных комплексов и природных ландшафтов, сохранения биологического разнообразия;

- обязательство использовать наилучшие возможные технологии, оказывающие воздействие на окружающую среду, с одной стороны, обеспечит прогресс в развитии технологий, а с другой стороны, обеспечит снижение негативного воздействия хозяйственной деятельности на окружающую среду в соответствии с экологическими требованиями, основанными на комплексном и индивидуальном подходе к их созданию для каждого хозяйствующего субъекта;

- учет природных и социально-экономических особенностей территорий при планировании и осуществлении хозяйственной и иной деятельности.

Как и в других странах мира, обеспокоенных проблемой отходов, в России предпринимаются шаги по нормализации (минимизации) этой проблемы на законодательном уровне. Так, в 1998 г. принят Федеральный закон от 24.06.1998 №89-ФЗ "Об отходах производства и потребления", который развивает нормы базового Закона «Об охране окружающей среды» и устанавливает общие требования к обращению с отходами [2]. В соответствии с Законом деятельность такого рода лицензируется. Опасные отходы в зависимости от степени их вредного воздействия на окружающую среду и здоровье человека подразделяют на четыре класса опасности:

- первый – вещества (отходы) чрезвычайно опасные;
- второй – вещества (отходы) высокоопасные;
- третий – вещества (отходы) умеренно опасные;
- четвертый – вещества (отходы) малоопасные.

В России для контроля и упорядочения обращения с отходами ведется государственный кадастр отходов, включающий федеральный классификационный каталог отходов [3] (ФККО – утверждён Приказом Росприроднадзора от 22.05.2017 N 242), государственный реестр объектов их размещения, а также банк данных о них и о технологии использования и обезвреживания [4].

Всего в Российском Федеральном классификаторе 444 вида отходов I и II классов опасности, которые сформированы в три основные группы:

- Жидкие, твёрдые и пастообразные неорганические отходы (кислоты, щелочи, соли металлов – 95 видов). В состав техногенных отходов входят отработанные растворы серной кислоты, используемые при производстве хлора; растворы азотной кислоты для травления меди; растворы травления сталей на основе серной, соляной и фосфорной кислот, титана на основе азотной и плавиковой кислот. В отработанных растворах присутствуют ионы от 5 до 20 металлов (Fe, Al, Ti, Cu, Cr, Zn, Ni).

- В федеральном классификаторе 33 вида ртутьсодержащих отходов: ртутные лампы, термометры, отработанные сорбенты, загрязнённые солями ртути, неорганические и органические соединения ртути, нерастворимые соли.

- В классификаторе практически 50% представляют органические отходы I и II класса опасности – 216. Состав отходов очень разнообразен и сложен для

обезвреживания. Например, смесь жидких пестицидов, клеевых композиций, кубовые остатки процессов рекуперации. Отходы при промывке оборудования, используемого при получении органических веществ, полимерные композиции, неиспользуемые или отработанные нефтепродукты, масла и ПАВ различной природы и состава. Состав отходов содержит от 5 до 15 органических компонентов.

В настоящий момент концепция обезвреживания техногенных отходов I и II класса опасности в части неорганических отходов включает в себя две задачи. Первая - «Безопасность отходов»

- Уменьшение объёма жидких отходов;
- Перевод растворимых соединений в нерастворимые осадки;
- Перевод осадков II класса в IV;
- Концентрирование солевых компонентов;
- Обезвреживание электролитов с комплексообразователями и лигандами;
- Организация замкнутых систем (водооборот).

Вторая - «Вторичные ресурсы»

- Анализ вторичных ресурсов (объём, состав, поставки);
- Утилизация цветных металлов (медь, никель, цинк, хром);
- Утилизация смеси оксидов (Fe, Al, Ni, Cr, Ti);
- Утилизация солевых концентратов (хлориды, сульфаты, нитраты);
- Утилизация серебра, кадмия (при накоплении отходов)

В настоящее время реализуется Федеральная целевая программа «Отходы», задача которой – снижение уровня загрязнения окружающей среды отходами и экономия природных ресурсов за счет максимально возможного вторичного вовлечения отходов в хозяйственный оборот. Программа включает в себя задачи по снижению объемов их образования на основе внедрения малоотходных и безотходных технологий, сокращения количества опасных остатков производства за счет применения новых технологий, а также задачи экологически безопасного их размещения.

Проблема рационального природопользования характерна и для Мьянмы. Мьянма – первая по величине страна материковой части Юго-Восточной Азии. Она расположена между двумя ведущими странами Тихого и Индийского океанов – Китаем и Индией. Мьянма богата полезными ископаемыми, особенно рудами цветных металлов. Имеются месторождения нефти и природного горючего газа, угля, руд драгоценных металлов,

железа, марганца, урана, барита, драгоценных камней. Выявлены ресурсы металлов платиновой группы [5].

Ежегодно возобновляемые водные ресурсы составляют 1046 км³, обеспеченность водой - высокая (свыше 21 тыс. м³/чел. в год) при низком уровне водозабора (3% водных ресурсов). Около 98% потребляемой воды используется в сельском хозяйстве, 1% – в промышленности, 1% – в жилищно-коммунальном водоснабжении. Основным источником орошения служат воды Иравади и её притоков.

В городах отмечается загрязнение воздуха и водных объектов промышленными предприятиями. Недостаточная очистка воды иногда вызывает заболевания у населения.

В 1965 была сформулирована официальная идеология Мьянмы – «Система отношений человека и окружающей его среды», в основу которой были положены, в том числе, принципы буддийской философии.

Обрабатывающая промышленность развита сравнительно слабо (менее 1/3 стоимости промышленной продукции), представлена преимущественно переработкой сельскохозяйственного сырья, металлообработкой, нефтепереработкой, производством цветных металлов.

Среди отраслей обрабатывающей промышленности выделяется производство вооружения. Оборонная промышленность включает несколько предприятий, выпускающих лёгкое стрелковое оружие, артиллерийские орудия, миномёты, боеприпасы и взрывчатые вещества. Транспортное машиностроение представлено сборкой грузовых автомобилей и автобусов на совместных предприятиях госкомпаний с японскими концернами «Nissan» и «Suzuki» и с индийским «Tata Motors».

Экономическое развитие и будущее процветание страны предыдущее и нынешнее правительства Мьянмы связывают со строительством и развитием Особых экономических зон (ОЭЗ). Было запланировано открыть несколько ОЭЗ на юге страны, где есть выходы к Индийскому океану – ОЭЗ Давей (Тхавей) в штате Танинтайи на побережье Андаманского моря, ОЭЗ Тилава в окрестностях Янгона и Чаупхью в штате Ракхайн на побережье Бенгальского залива [6].

В стране наметился определенный экономический подъем. По темпам роста экономики Мьянма заняла в 2015 году 13-е место в мире. Однако быстрый экономический рост может нанести ущерб окружающей среде страны. В промышленных зонах, большинство из которых представляют мелкие предприятия, не

имеется достаточно средств для инвестирования в оборудование для контроля загрязнений и очистки воды и воздуха. Предполагается, что в Мьянме будут введены в строй центральные очистные сооружения, собирающие сточные воды с близлежащих заводов. Расположение каждого завода будет рассчитано после зонирования.

История охраны окружающей среды в Мьянме восходит к 1860 году. Однако до создания Национальной комиссии по вопросам окружающей среды (NCEA) в 1990 году не существовало центрального координационного органа по вопросам окружающей среды.

В декабре 1994 года Мьянма приняла Национальную экологическую политику для обеспечения учета экологических факторов при планировании экономического развития. В этой политике подчеркивается “ответственность государства и каждого гражданина за сохранение своих природных ресурсов в интересах нынешнего и будущих поколений” и говорится, что “охрана окружающей среды всегда должна быть главной целью в стремлении к развитию” (Правительство Союза Мьянмы, Уведомление № 26/94 (5 декабря 1994 г.).

С тех пор NCEA работает над повышением осведомленности общественности об экологических проблемах, организуя семинары и конференции среди правительственных чиновников, а также использование средств массовой информации для донесения своего послания до людей.

В 1990-х годах в Мьянме был принят ряд важных законов об охране окружающей среды, в том числе Закон о пестицидах (1990); Закон о туризме Мьянмы (1990); Закон о лесах (1992); и законы о защите биоразнообразия, диких животных и растений и природных территорий (1994). Мьянма работает над борьбой с обезлесением в рамках различных проектов в сотрудничестве с Программой развития Организации Объединенных Наций (ПРООН) и Продовольственной и сельскохозяйственной организацией (ФАО). Помимо этого, она заключила ряд международных и региональных природоохранных соглашений, включая План ПРООН по сокращению выбросов парниковых газов в Азии и Проект регионального сотрудничества в области глобального изменения климата, координируемый Экономической и социальной комиссией для Азии и Тихого океана (ЭСКАТО).

Постоянно растущие объемы твердых отходов, техногенных и сточных вод, увеличение количества и содержания растворенных в них тяжелых, токсичных, редких и

других металлов и компонентов, влияние их на окружающую среду за счет сброса в поверхностные водотоки и растекания этих вод по поверхности, образование дефицита водных ресурсов, обусловленного большими объемами откачки воды при проведении горных работ, ставят очистку техногенных и сточных вод в один ряд с актуальнейшими вопросами промышленного и перерабатывающего производства.

Выбор метода разделения многофазной среды и очистки зависит от сопутствующих вредных факторов. Применение различных технологий очистки направлено на нейтрализацию, обезвреживание или утилизацию ценных компонентов. В качестве вредных факторов могут выступать не только токсичные вещества, но и нефтепродукты, ПАВ, ионы тяжелых металлов, а также такие обобщенные показатели, как агрессивность среды, общая жесткость, содержание аммонийного азота, окисляемость и другие. Наличие тех или иных вредных факторов определяется путем анализа параметров жидкой среды. Каждому фактору может соответствовать группа показателей, причем их объединяют в классы, и для каждого устанавливают один или несколько показателей, которые однозначно определяют данный класс.

Анализ литературы [7-10] позволил выделить ряд классов вредных факторов и совокупность методов, способных обеспечить нейтрализацию их действия (см. таблицу 1.1). Многие методы разделения позволяют удалять более одного класса вредных факторов из многофазных жидких сред [11].

Таблица 1.1 – Классы вредных факторов и методы очистки.

Классы вредных факторов	Показатели	Методы очистки
Грубодисперсные эмульгированные частицы	Взвешенные вещества с размером частиц более 0,5 мм. Капельные загрязнения, органические вещества, не смешивающиеся с водой	Просеивание, первичное отстаивание без реагентов, фильтрация; Гравитационная сепарация, флотация, электрофлотация
Микрочастицы	Взвешенные вещества с размером частиц более 0,01 мм	Фильтрация. Коагуляция, флокуляция, напорная флотация
Стабильные эмульсии	Нефтепродукты в количестве более 5 мг/дм ³ , вещества, экстрагируемые серным эфиром	Объемно-тонкослойная седиментация, напорная флотация, электрофлотация
Коллоидные частицы	Размер частиц 0,1-10 мкм	Микрофильтрация, электрофлотация

Агрессивность	pH, общая щелочность	Нейтрализация
Масла	Концентрация масел более 10 мг/дм ³	Гравитационная сепарация, флотация, электрофлотация
Фенолы	Концентрация фенолов 0,5-5 мг/дм ³ Концентрация фенолов 5-500 мг/дм ³	Биологическая очистка + химическое окисление (озон), адсорбция на угле; Биологическая очистка, флотация + биологическая очистка, коагуляция + химическое окисление (озон)
Высокое содержание органических примесей	БПК _п /ХПК > 0,5	Биохимический, химический, сорбционный методы
Ионы тяжелых и цветных металлов	Концентрация Cu, Zn, Ni, Fe, Cd: 1-100 мг/дм ³	Реагентный метод, электрокоагуляция, гальванокоагуляция, ионный обмен, мембранный электролиз
Цианиды	Концентрация CN 1-10 мг/дм ³	Химическое окисление, электролиз, электрофлотация, обратный осмос, ионный обмен, адсорбция
Хром (VI)	Концентрация Cr(VI) 1-100 мг/дм ³	Гальванокоагуляция, электрокоагуляция, электрохимическое восстановление, реагентный метод + электрофлотация
Хром (III)	Концентрация Cr (III) 1-100 мг/дм ³	Осаждение + фильтрация, осаждение + центрифугирование, ионный обмен, электрофлотация
Хлориды	Концентрация хлоридов > 300 мг/дм ³	Электродиализ, обратный осмос
Общее солесодержание	Концентрация солей 1-1000 мг/дм ³	Обратный осмос, электродиализ, ионный обмен, дистилляция, выпаривание

В РХТУ имени Д.И. Менделеева в последние десятилетия в группе профессора Колесникова В.А. успешно ведется работы по созданию экологически безопасных, ресурсосберегающих процессов в гальванотехнике, переработке жидких техногенных отходов и водообработке. Им разработаны фундаментальные основы нового направления «Физико-химические основы интенсификации и повышения эффективности электрофлотомембранных процессов извлечения дисперсных соединений и эмульсий из жидких техногенных отходов» [12], которое успешно развивается и является основой для создания ресурсосберегающих экологически

безопасных технологии извлечения ценных металлов, неорганических и органических дисперсных соединений.

Теоретические основы флотации, электрофлотации, физико-химии поверхностных явлений были заложены в 40-50 г. советскими учеными П.А. Робиндером, А.Н. Фрумкиным. Весомый вклад в развитие процессов электрофлотации внесли И.Н. Плаксин, О.С. Богданов, В.И. Классен [13,14].

В 70-80 годы большое количество работ опубликовано А.А. Мамаковым, Б.М. Матовым, И.Г. Краснобородько, А.П. Романовым, А.М. Гольманом [15-17].

Существенный вклад в развитие теории электрофлотации, конструкции аппаратов, практики применения внесли: Б.В. Дерягин, С.С. Духин, В.Д. Назаров, Н.Н. Рулев, В.А. Колесников, В.И. Ильин, Б.С. Ксенофонов, и зарубежные специалисты: G. Chen, X. Chen, Y. Hung, Ben Mansour L., K.A. Matis [18-19, 11, 20-23].

Исследование патентных фондов ведущих стран мира по электрофлотационному методу в технологии водообработки показало, что в период 1950-1980 годов было запатентовано более 120 изобретений, в том числе СССР – 33, Германия – 19, Великобритания – 16, Япония – 14, США – 13 и ряд других стран [13, 22].

В период 1992 – 2008 гг. было запатентовано 465 патентов на способы и устройства для реализации электрофлотационного процесса [22]. Опубликовано ряд обзорных статей и монографий по электрофлотации [16-21, 23].

В последние годы значительно расширяются области применения электрофлотации (или электрофлотации в сочетании с другими методами электрохимической обработки) для очистки жидких и твердых отходов. Это не только традиционно гальваническое производство [24-27], но и фармацевтика [28], пищевое производство [29], текстильная промышленность [30], предприятия электрометаллургического профиля [31] и многие другие [32-33].

Развитию теоретических основ электрофлотации в последние годы посвящено несколько работ [34-38].

Авторы работы [34] оценивали влияние плотности тока и рН на размер пузырьков в бинарной электрофлотационной ячейке, так как электрофлотация является привлекательной альтернативой для обработки мелких частиц с маленькими пузырьками размером менее 100 мкм, образующимися при электролизе воды.

Закономерности отделения электролизных газов в зависимости от соотношения площадей полярных электродов и величины рН изучали в работе [35].

Авторы [36] посвятили свою работу исследованию влияния плотности тока, диаметра частиц, концентрации твердого вещества и отношения диаметра пузырька к диаметру твердого тела на гидродинамические параметры в электрофлотационной колонне.

Процесс газовой выделения изучался автором [37]. Получено эмпирическое уравнение, связывающее удельное газовыделение с плотностью тока и рН сточных вод, используемое в расчетах электродных блоков флотаторов. Для величин рН сточных вод, близких к нейтральным, предложен упрощенный вид этого уравнения.

Результаты исследований движения газовых частиц в жидкости описаны авторами [38].

Проводимые экспериментальные исследования и расширение теоретических знаний о процессе электрофлотации позволило совершенствовать конструкции электрофлотационных аппаратов [39-44].

В работе [39] рассмотрен метод электрофлотации для очистки промышленных сточных вод в России и за рубежом, проведен расчет горизонтального электрофлотатора.

Оригинальные конструкции электрофлотационных аппаратов различного типа представлены авторами [40]. Показано, что электрофлотационные аппараты комбинированного типа позволяют получить наиболее высокий результат очистки сточных вод микробиологических производств.

В работах [41, 42] рассматривается усовершенствование конструкции электрофлотатора, используемого для удаления нефтяных эмульсий, а также взвешенных частиц из сточных вод. В результате внесения изменений в конструкцию подъемного механизма электродов происходит увеличение подвижности катода и анода в вертикальном направлении относительно дна и друг друга, что позволяет производить более интенсивную очистку по всему объему и получать низкие концентрации загрязняющих веществ.

Авторы работы [43] предлагают новые конструкции установок и описание работы оборудования для доочистки нефтесодержащих сточных вод, включающего в себя

электрофлотаторы с неоднородным электрическим полем, с автоматическим регулированием плотности тока, с двумя камерами.

В работе [44] предложен электрофлотационный аппарат для очистки отработанных обезжиривающих растворов, применение которого дает возможность использовать их повторно.

Электрохимические методы очистки зарекомендовали себя как эффективные и прогрессивные технологии [45-50].

В последние годы электрофлотация находит всё большее применение в очистке сточных вод сложного состава, образующихся на промышленных предприятиях как в России [51-57], так и за рубежом [58-65].

Быстро развивающееся производство, совершенствование технологий водоочистки, проблема импортозамещения (в России и других странах) ставит новые задачи для инженеров - исследователей.

Одной из актуальных проблем является повышение эффективности процессов извлечения гидроксидов металлов в составе многокомпонентных систем из жидких техногенных отходов методом электрофлотации.

Показано, что электрофлотационный процесс позволяет извлекать взвешенные вещества труднорастворимых соединений тяжелых, цветных металлов и эмульсий органических веществ [66-71].

Основной подход связан с формированием на первом этапе гидроксидов металлов с их последующим отделением в виде дисперсной фазы в процессе седиментации, электрофлотации или фильтрации. В работах, выполненных ранее [72-81] обнаружено, что присутствие в сточной воде органических компонентов различной природы оказывает влияние на эффективность процессов разделения твердой и жидкой фазы.

В литературе ограничены сведения о факторах, влияющих на кинетику и эффективность извлечения труднорастворимых соединений тяжелых и цветных металлов из многокомпонентных систем, содержащих ПАВ – поверхностно-активные вещества [82-87].

2. МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

2.1. Объекты исследования

Объектами исследований являлись модельные растворы, содержащие труднорастворимые соединения меди, никеля и цинка в составе многокомпонентных систем в присутствии ПАВ различной природы, флокулянта и органических компонентов.

Система: «Вода – электролит – дисперсная фаза – ПАВ – газ (H_2 и O_2)»

в качестве загрязнителей исследовались:

- гидроксиды и фосфаты меди, никеля и цинка.
- органические компоненты (примеси):

Катионные ПАВ

- Алкилдиметилбензиламмоний хлорид, 50%, вода - КатаПАВ
- Дидецилдиметиламмоний хлорид, 70%, этиленгликоль, вода – СептаПАВ

Катионные флокулянты

- Полиакриламид, polyacrylamide, ППА - Zetag-8160

Таблица 2.1 – Используемые органические компоненты.

Наименование органических компонентов	Состав	Назначение
Очищающая жидкость ОЖ-1	Этиловый спирт высокой очистки с добавкой поверхностно-активного вещества неионогенной природы ОП-7.	Для очистки поверхности при люминесцентной дефектоскопии.
Пенетрант ЛЖ-6А	Дитолилметан в бутиловом спирте.	Для определения качества покрытия в капиллярной дефектоскопии
Лак ФЛ-5111	Резольная фенолоформальдегидная смола – от 55% до 65% в этиловом спирте.	Для изоляции отдельных участков поверхности металлов.
Растворитель Р-5	Бутилацетат (30%), ацетон (30%), толуол (40%).	Для снятия краски с поверхности металлических изделий и в процессе изготовления композиционных материалов.

2.2. Основы метода электрофлотации

Электрофлотационный метод используется для очистки сточных вод от загрязнений в виде взвесей (гидроксиды и фосфаты металлов), эмульсий (ПАВ, нефтепродукты) и суспензий (смолистые вещества). Для того, чтобы повысить степень очистки и интенсифицировать процесс чаще всего сначала нейтрализуют кислые и щелочные компоненты и переводят ионы металлов в труднорастворимые соединения, для образования твердой фазы.

Сущность метода электрофлотации заключается в образовании мелкодисперсных пузырьков газа водорода и кислорода. Пузырьки образуются при пропускании электрического тока через водный раствор. Благодаря этому газовые пузырьки, поднимаясь вверх, сталкиваются с дисперсными частицами загрязнений и прилипают к ним. Поднимаясь вверх вместе с загрязнением поднимаются и связанные с дисперсными частицами отдельные загрязнения. На поверхности образуется флотошлам – устойчивый пенный слой, который можно легко удалить с использованием метода фильтрации.

Эффективность электрофлотационного процесса оценивали степенью извлечения (осаждения) α (%) и рассчитывается по формуле:

(1):

$$\alpha = \frac{(C_{\text{исх}} - C_{\text{кон}})}{C_{\text{исх}}} \times 100\% \quad (1)$$

где $C_{\text{исх}}$, $C_{\text{кон}}$ – соответственно исходная и конечная концентрация дисперсной фазы в водной среде, г/м³

для ионов металлов C – мг/л – определяли атомно-адсорбционным методом.

для органических примесей C – ХПК мгО/л – определяли ускоренным бихроматным методом Лейте.

Электрофлотационный процесс можно представить, как многостадийный процесс, состоящий из ряда следующих основных стадий:

- формирование в сточной воде дисперсной фазы; (изменение рН, добавление реагента Na_2SO_4 , $\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$, NaNO_3 и Na_3PO_4)
- электрохимическое формирование газового пузырька;
- формирование флотокомплекса «частица – пузырьки газа» (H_2 , O_2);

- переход флотокомплекса на границу раздела H_2O – воздух;
- концентрирование флотокомплекса на границе раздела H_2O – воздух.

Размер пузырьков водорода значительно меньше пузырьков кислорода, выделяющихся на аноде. Диаметр пузырьков водорода меняется в пределах от 20 до 40 мкм, тогда как диаметр пузырьков кислорода вдвое больше водородных.

2.3. Конструкция лабораторной установки

Извлечение ионов тяжелых и цветных металлов, органических примесей из водного раствора осуществлялось в непроточном электрофлотаторе с нерастворимыми анодами. В качестве катода использовалась сетка из нержавеющей стали с размером ячеек – $0,5 \times 0,4$ мм и толщиной проволоки – 0,3 мм, аноды изготавливались из титановой пластинки марки ВТ1-0 с пленочным покрытием из оксидов титана и рутения, нанесенными термическим разложением смеси солей. Лабораторный аппарат изготовлен из стекла, площадь поперечного сечения составляет $10,2 \text{ см}^2$, что соответствует рабочей площади анода. Высота аппарата - 800 мм, объем раствора в аппарате $0,5 \text{ дм}^3$.

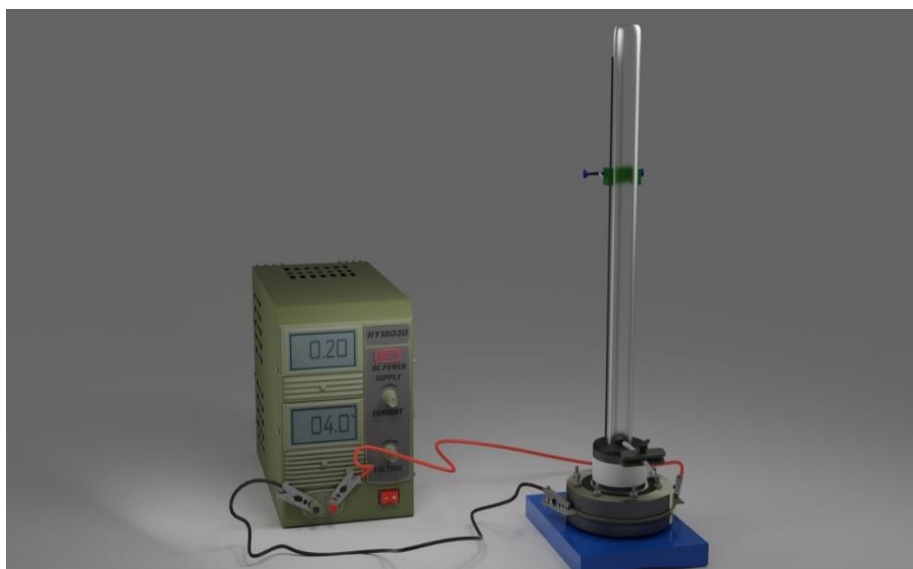


Рисунок 2.1 – 3D модель электрофлотационного аппарата

Электроды расположены в нижней части аппарата, плоскопараллельны относительно друг друга и разделены резиновой прокладкой. Пробы отбираются из нижней части колонны, в осветленной части раствора.

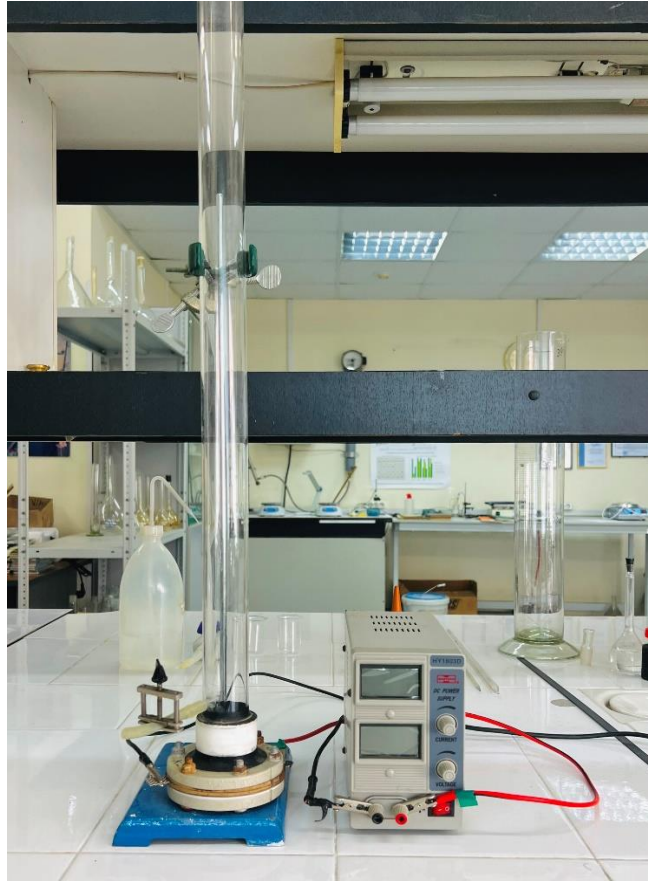


Рисунок 2.2 – Конструкция лабораторной установки электрофлотатора периодического действия.

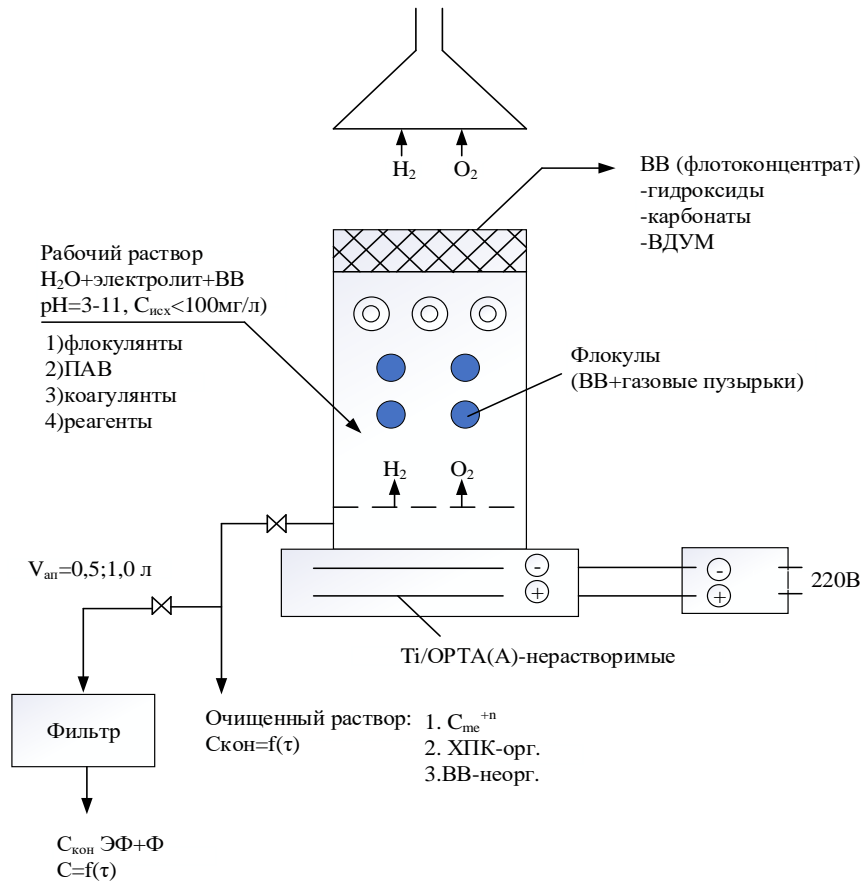


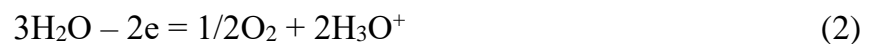
Рисунок 2.3 – Методология экспериментальных исследований электрофлотационных процессов.

Корпус аппарата изготовлен из стекла, площадь сечения 10, 2 см². Катод представляет собой сетку из нержавеющей стали с размерами ячеек 0,5×0,4 мм, толщина проволоки 0,3 мм. Аноды нерастворимые, выполнены из титана марки ВТ1-0 в виде пластины с покрытием из смеси оксидов титана и рутения, модифицированными различными компонентами. Высота аппарата 800 мм.

Как видно из рисунка 2.3, электродный комплект расположен в нижней части аппарата. Катод расположен над анодом.

В нейтральной и кислой средах на аноде происходит разряд молекул воды с выделением кислорода и образованием ионов гидроксония Н₃О⁺:

(2):



на катоде протекает электрохимическая реакция восстановления иона гидроксония с выделением водорода и образованием молекул воды:

(3):



В щелочной среде на аноде в результате разряда гидроксил-ионов OH^- происходит образование молекул воды и выделение кислорода:

(4):



на катоде в результате разряда молекул воды выделяется водород и образуются гидроксил-ионы:

(5):



Питание электрофлотатора и электролизера осуществляется с помощью источника постоянного тока Б5-48. Сила тока 100-800 мА.

В результате электролиза воды на поверхности электродов идет выделение газовых пузырьков, которые, поднимаясь вверх, взаимодействуют с дисперсными частицами загрязнений с образованием флотокомплексов «частица – пузырьки газа». Плотность образующихся флотокомплексов меньше плотности воды, что обуславливает их подъем на поверхность сточной воды и образование пенного слоя (флотошлама), состоящего из газовых пузырьков, водных прослоек и дисперсных частиц загрязнений.

2.4. Методики приготовления растворов

Для подготовки модельных растворов (эмульсий) в колбу на 1 л вводили сульфаты исследуемых металлов (Cu, Ni, Zn) установленной концентрации и требуемые органические компоненты так же в нужных концентрациях (ПАВ, ДТ, масло), сульфат натрия. Смешивали на механической мешалке со скоростью вращения 800 об/мин, затем в делительной воронке отстаивали в течение 15 минут, отбирали 500 мл раствора, перебирали пробы на содержание органики и металлов до очистки, подправляли pH раствора до нужного значения с помощью разбавленных растворов NaOH и H_2SO_4 , выдерживали 10-15 минут и проводили эксперимент.

Для осуществления эксперимента применяли модельные растворы, содержащие в качестве примесей поверхностно-активные вещества различных типов: анионного - додецилбензолсульфонат натрия NaDBS, алкилбензолсульфонат натрия (А-40); неионогенного – синтанол АЛМ-10, препарат ОС-20 и полиэтиленоксид ПЭО-1500; катионного - катамин АБ, КатаПАВ, катинол, СептаПАВ.

КатаПАВ (алкилбензилдиметиламмоний хлорид) - водный раствора с массовой долей препарата 50 % представляет собой вязкую бесцветную или желтоватую жидкость без механических примесей. Продукт, как представитель четвертичных аммониевых солей, не совместим с мылами и анионными ПАВ. Плотность при 20°C 0,94-0,99 г/см³. Алкилбензилдиметиламмоний хлориды специализированны для использования в качестве активной основы в производстве дезинфицирующих средств широкого назначения, в составах для консервации древесины, обработки воды, в качестве функциональных добавок в процедуре производства технических моющих средств, товаров бытовой химии, текстильно-вспомогательных веществ (ТВВ), композиций для обработки кожи и меха, лакокрасочных материалов, синтетических каучуков, а также в композициях для нефте-газодобычи.

СептаПАВ (дидецилдиметиламмоний хлорид) - водный раствор с массовой долей препарата 50 % представляет собой вязкую бесцветную или желтоватую жидкость с легким запахом изопропилового спирта. Водородный показатель (рН) водного раствора с массовой долей препарата 50% составляет 5,0-8,0. Разрабатывается для использования в дезинфекции, мариновании древесины, в нефтегазодобыче. Дидецилдиметиламмоний хлорид славится сильным бактерицидным, фунгицидным, туберкулоцидным, вирулицидным, алгицидным действием. ПДК в воздухе рабочей зоны - 1 мг/м³(2 класс опасности, необходима защита кожи и глаз).

В качестве электролита, координирующей функции токопроводящей добавки использовали сульфат натрия марки «х.ч.» или «ч.д.а.» в количестве 1 г/л.

Контроль рН осуществляли с помощью рН-метра (иономера) ЭВ-74 со стандартными стеклянным (ЭСЛ 43-07) и хлоридсеребряным электродами. Достоверность определения +/-0,25 ед.рН

«Zetag-8160 (Зетаг)» представляет собой полиэлектролит, который может быть эффективен на производствах кожевенной, металлургической и нефтедобывающей промышленности. Совершенно очевидно, что от вышеописанного продукта, флокулянт не безопасен. Слив его в реки абсолютно не возможен, так как он токсичен для рыб. «Zetag-8160 (Зетаг)» владеет сходными характеристиками, менее токсичен [88].

2.5. Аппаратура

Для анализа по атомным спектрам поглощения изобретены специализированные приборы — атомно-абсорбционные спектрофотометры разных типов. Избранные из них

высчитывают усредненную интенсивность аналитической линии при помощи схем, которые предполагают практически исключить помехи от эмиссионного спектра пламени и существенно сократить ошибки, объясненные нестабильностями источника света и других узлов прибора.

В двухлучевом приборе один луч от источника света проходит через пламя, а второй — обходит его; при помощи прерывателя — вращающегося диска с отверстием потоки I и II по очереди направляются в спектральный прибор, пропускающий только аналитическую линию; фотоумножитель попеременно фиксирует линию потока I и потока II. Более специфичные приборы имеют два таких канала и позволяют по двулучевой схеме определить мгновенно интенсивности двух линий. Вторая линия при соответствующем ее выборе может употребляться как внутренний стандарт интенсивности.

Однолучевой прибор высчитывает «абсолютное» значение усредненной интенсивности; достоверность измерения оптической плотности у такого прибора предположительно снижен, чем у двулучевого. Фотоэлектрические сигналы от линии усредняются измерительными схемами за 10-30 с.

Для того чтобы собственное излучение пламени не ограничивало измерению абсорбции, излучение источника преобразуют, прерывая его с определенной частотой механическим подходом (как в двулучевой схеме) или питая лампу переменным током нужной частоты.

Излучение пламени, как и других инициаторах света, временно, и его насыщенность варьируется с частотами от звуковых до частот порядка килогерца в зависимости от применяемых горелок и горючих смесей. Схемы регистрации отлаживают таким образом, чтобы они вымеряли только частоты, различающиеся от частот пламени, а излучение источника света преобразовывают с частотой, которую устанавливает схема.

Для работы с холодными пламенами преобразование необязательно, так как интенсивность добычи этих пламен не мешает анализу.

Для проведения исследований применялся однолучевой атомно-абсорбционный спектрометр «КВАНТ – АФА», предполагающий работать как в режиме абсорбции, так и в режимах эмиссии и флуорисценции [88].

3. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

3.1 Кинетика электрофлотационного процесса извлечения дисперсной фазы смеси двухкомпонентной системы из модельных сточных вод в слабощелочной области рН в присутствии катионных ПАВ и флокулянта

3.1.1. Определение условий для эффективного протекания электрофлотационного процесса в электролитах Na_2SO_4 для двухкомпонентной системы $\text{Cu}^{2+} - \text{Zn}^{2+}$

В литературном обзоре отмечены особенности процесса электрофлотационного извлечения труднорастворимых соединений меди и цинка из их многокомпонентных смесей. Ранее не было исследовано влияние комплексообразователя NH_3^+ , который зачастую попадает в сточные воды с различных технологических операций.

Влияние $\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ на процесс электрофлотационного извлечения труднорастворимых соединений меди из отработанных технологических растворов и сточных вод ранее изучалось в научной группе, где выполнялась работа. Новизна данного направления заключается в изучении влияния процессов комплексообразования двухкомпонентных смесей $\text{Cu}^{2+} - \text{Zn}^{2+}$, $\text{Cu}^{2+} - \text{Ni}^{2+}$, $\text{Zn}^{2+} - \text{Ni}^{2+}$ в слабощелочном рН на формирование дисперсной фазы и ее последующее отделение различными методами (флотация, осаждение, фильтрация) эффективность которого в свою очередь определяется физико-химическими свойствами извлекаемых частиц, их зарядом (ζ_{\pm} , $\mu\text{В}$ электрокинетический потенциал) и размером (\varnothing , $\mu\text{км}$).

В диапазоне рН 8–11 процесс электрофлотации протекает интенсивно, степень извлечения в первые 5 минут достигает до 90%, и при электрофлотации и дальнейшей фильтрации степень электрофлотации достигает 99%, что говорит об эффективности процесса.

Процесс электрофлотации протекает интенсивно при рН-9 и рН-11, степень извлечения достигает в первые 5 минут 96%, и возрастает до 98% при дальнейшей электрофлотации и фильтрации.

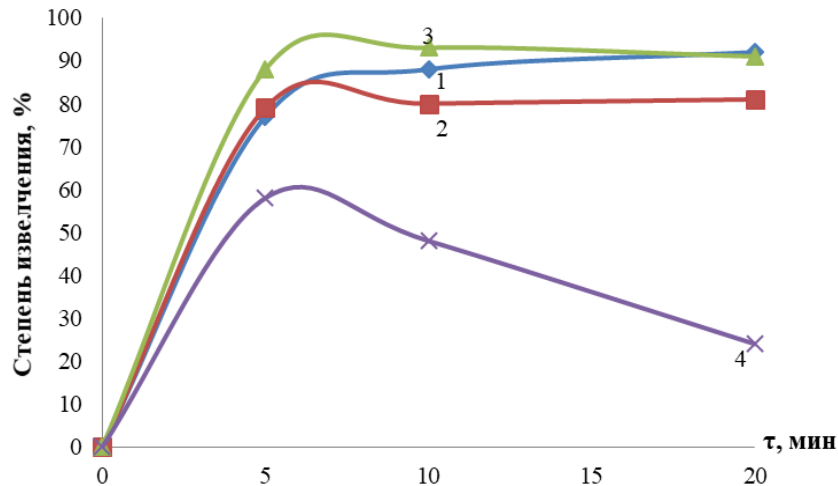
При рН 8-9 процесс протекает интенсивно, степень извлечения достигает 95% в первые 5 минут, и в дальнейшем увеличивается до 99% при электрофлотации и фильтрации. В диапазоне рН 8–10 процесс электрофлотационного извлечения

гидроксидов меди и цинка протекает интенсивно, в первые 5 минут степень электрофлотационного извлечения достигает 96%, при дальнейшей электрофлотации и фильтрации достигает 99%. Процесс протекает эффективно.

Таблица 3.1 – Влияние катионных ПАВ и флокулянта на степень электрофлотационного извлечения смеси гидроксидов меди и цинка в зависимости от pH, α ,%.

Время, мин	α %							
	pH=8		pH=9		pH=10		pH=11	
	Cu	Zn	Cu	Zn	Cu	Zn	Cu	Zn
Без добавок								
5	88	65	67	90	87	88	56	59
10	93	83	66	94	94	92	45	50
20	97	87	66	95	90	92	22	26
20+фильтрация	99	96	99	96	97	96	99	96
С ПАВ (КатаПАВ)								
5	27	26	94	88	26	28	96	95
10	33	32	98	95	80	82	98	97
20	94	94	98	97	82	83	98	97
20+фильтрация	99	97	99	98	99	98	99	98
С ПАВ (СептаПАВ)								
5	91	96	92	95	42	19	36	27
10	95	97	97	99	62	60	63	64
20	96	97	97	99	94	96	95	96
20+фильтрация	86	97	97	99	97	99	95	99
С Флокулянтом (Zetag-8160)								
5	38	95	59	94	93	96	13	38
10	93	95	62	98	91	98	15	77
20	95	96	57	92	92	95	53	78
20+фильтрация	92	97	62	98	95	99	84	96

Условия эксперимента: $c(\text{Cu}^{2+}) - 50$ мг/л; $c(\text{Zn}^{2+}) - 50$ мг/л; $c(\text{Na}_2\text{SO}_4) - 1$ г/л;
 $c(\text{ПАВ/Флок}) - 5$ мг/л; $j_v - 0,4$ А/л



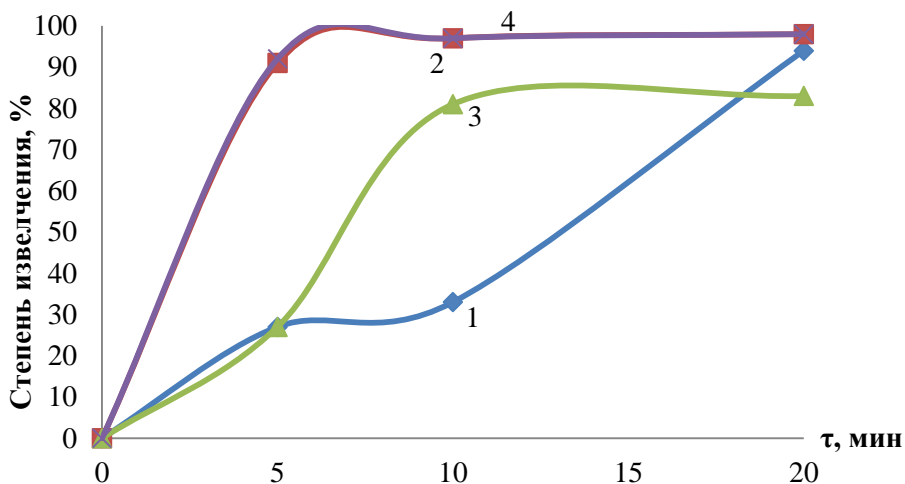
Условия эксперимента: $c(\text{Cu}^{2+}) - 50 \text{ мг/л}$; $c(\text{Zn}^{2+}) - 50 \text{ мг/л}$; $c(\text{Na}_2\text{SO}_4) - 1 \text{ г/л}$;

$j_v - 0,4 \text{ А/л}$, 1 – pH=8; 2 – pH=9; 3 – pH=10; 4 – pH=11

Рисунок 3.1 – Кинетика электрофлотационного процесса извлечение дисперсной фазы смеси меди и цинка из модельных сточных вод в слабощелочной области pH.

На графике (рисунок 3.1.) представлены средние расчеты значений. Отмечено, что при pH=11 электрофлотационное извлечение гидроксидов меди и цинка протекает не эффективно, степень извлечения не превышает 55% в первые пять минут обработки. Далее при электрофлотации за 20 минут степень извлечения падает до 24%, что свидетельствует о неустойчивости образующегося пенного продукта.

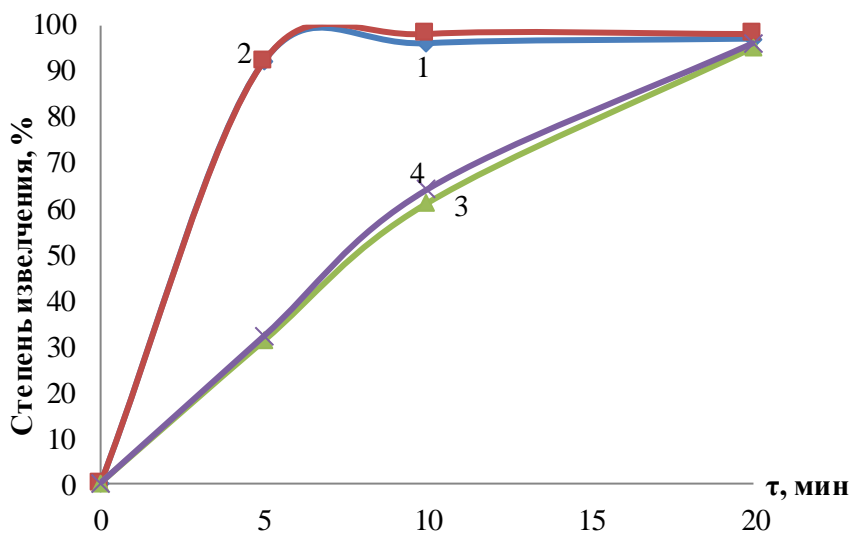
В диапазоне pH 8-10 процесс электрофлотационного извлечения гидроксидов протекает интенсивно и при электрофлотации за 20 минут достигает до 90%. При введении катионного КатаПАВ характер электрофлотационного процесса извлечения изменяется и наблюдается торможение процесса в первые пять минут. Далее для pH 10 наблюдается скачкообразное изменение степени извлечения. Для pH=8 степень извлечения возрастает постепенно.



Условия эксперимента: $c(\text{Cu}^{2+}) - 50 \text{ мг/л}$; $c(\text{Zn}^{2+}) - 50 \text{ мг/л}$; $c(\text{Na}_2\text{SO}_4) - 1 \text{ г/л}$;
 $c(\text{КатаПАВ}) - 5 \text{ мг/л}$; $j_v - 0,4 \text{ А/л}$, 1 – pH=8; 2 – pH=9; 3 – pH=10; 4 – pH=11

Рисунок 3.2 – Кинетика электрофлотационного процесса извлечение дисперсной фазы смеси меди и цинка из модельных сточных вод в слабощелочной области pH.

При добавлении в систему катионного ПАВ (КатаПАВ) электрофлотационное извлечение гидроксидов меди и цинка при pH 11 протекает интенсивно, в первые 5 минут степень извлечения достигает 96%, и при дальнейшей электрофлотации достигает 98%, что говорит об эффективности процесса.

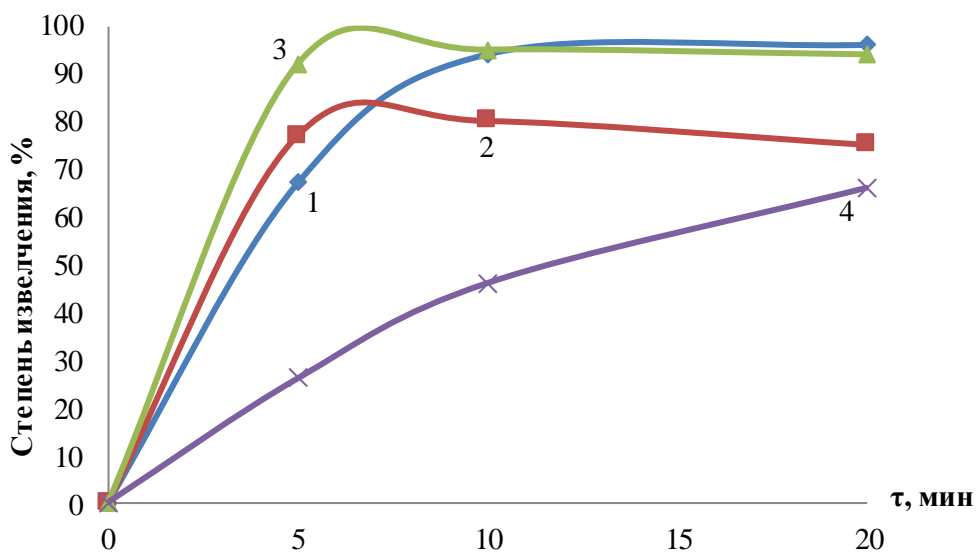


Условия эксперимента: $c(\text{Cu}^{2+}) - 50 \text{ мг/л}$; $c(\text{Zn}^{2+}) - 50 \text{ мг/л}$; $c(\text{Na}_2\text{SO}_4) - 1 \text{ г/л}$;
 $c(\text{СептаПАВ}) - 5 \text{ мг/л}$; $j_v - 0,4 \text{ А/л}$, 1 – pH=8; 2 – pH=9; 3 – pH=10; 4 – pH=11

Рисунок 3.3 – Кинетика электрофлотационного процесса извлечение дисперсной фазы смеси меди и цинка из модельных сточных вод в слабощелочной области pH.

В диапазоне pH 8-9 при добавлении в систему катионного ПАВ (СептаПАВ) электрофлотационное извлечение смеси гидроксидов меди и цинка протекает интенсивно, в первые 5 минут мы видим отличные результаты – 94%. При электрофлотации и последующей фильтрации степень извлечения достигает 99%.

Отличие в действии исследуемых ПАВ проявляется во влиянии на начальный этап стадии электрофлотации. КатаПАВ подавляет процесс в первые 5 минут, СептаПАВ – нет.



Условия эксперимента: $c(\text{Cu}^{2+}) - 50 \text{ мг/л}$; $c(\text{Zn}^{2+}) - 50 \text{ мг/л}$; $c(\text{Na}_2\text{SO}_4) - 1 \text{ г/л}$;
 $c(\text{Zetag-8160}) - 5 \text{ мг/л}$; $j_v - 0,4 \text{ А/л}$, 1 – pH=8; 2 – pH=9; 3 – pH=10; 4 – pH=11

Рисунок 3.4 – Кинетика электрофлотационного процесса извлечение дисперсной фазы смеси меди и цинка из модельных сточных вод в слабощелочной области pH.

При pH=8 электрофлотационное извлечение смеси гидроксидов меди и цинка протекает не интенсивно, по сравнению с другими показателями кислотности среды. При этом процесс электрофлотационного извлечения гидроксидов меди и цинка протекает эффективно при этом значении кислотности среды, и достигает 96%.

3.1.2. Определение условий для эффективного протекания электрофлотационного процесса в электролитах Na₂SO₄ для двухкомпонентной системы Cu²⁺ - Ni²⁺

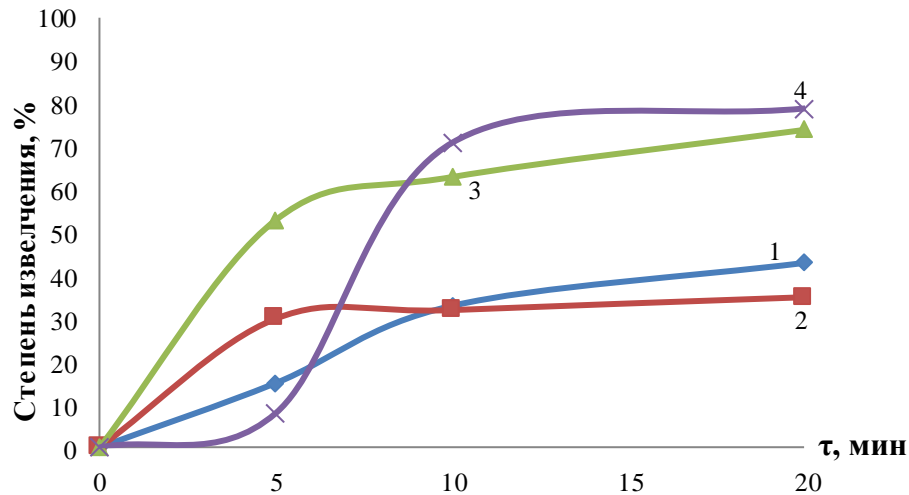
Таблица 3.2 – Влияние катионных ПАВ и флокулянта на степень электрофлотационного извлечения смеси гидроксидов меди и никеля в зависимости от pH, α, %.

Время, мин	α, %							
	pH=8		pH=9		pH=10		pH=11	
	Cu	Ni	Cu	Ni	Cu	Ni	Cu	Ni
Без добавок								
5	23	6	30	30	18	91	1	6
10	45	21	31	33	30	96	76	82
20	55	30	36	34	47	97	70	72
30+фильтрация	88	80	97	95	91	98	93	92
С ПАВ (КатаПАВ) _(к)								
5	52	85	34	45	13	12	50	43
10	55	86	48	52	16	17	73	71
20	57	90	79	82	65	65	96	95
30+фильтрация	80	99	98	97	98	97	97	98
С ПАВ (СептаПАВ) _(к)								
5	27	5	1	2	10	12	5	1
10	69	8	1	16	11	13	23	14
20	81	10	8	21	18	31	69	60
30+фильтрация	95	92	99	98	99	99	98	97
С Флокулянтом (Zetag-8160) _(к)								
5	52	39	69	71	8	7	59	20
10	94	75	95	93	25	24	64	23
20	95	79	96	95	48	50	64	24
30+фильтрация	99	92	98	98	98	99	99	97

Условия эксперимента: $c(\text{Cu}^{2+}) - 50 \text{ мг/л}$; $c(\text{Ni}^{2+}) - 50 \text{ мг/л}$; $c(\text{Na}_2\text{SO}_4) - 1 \text{ г/л}$;

$c(\text{ПАВ/Флок}) - 5 \text{ мг/л}$; $j_v - 0,4 \text{ А/л}$

В зависимости от pH катионные ПАВ и флокулянт реагируют по разному. Так, при pH=11 катионный ПАВ КатаПАВ при 20 минутах электрофлотации улучшает процесс извлечения смеси гидроксидов меди и никеля. При pH=9 положительное влияние оказывает флокулянт Zeetag-8160 и степень электрофлотационного извлечения достигает 96%, при последующей фильтрации – 98%.

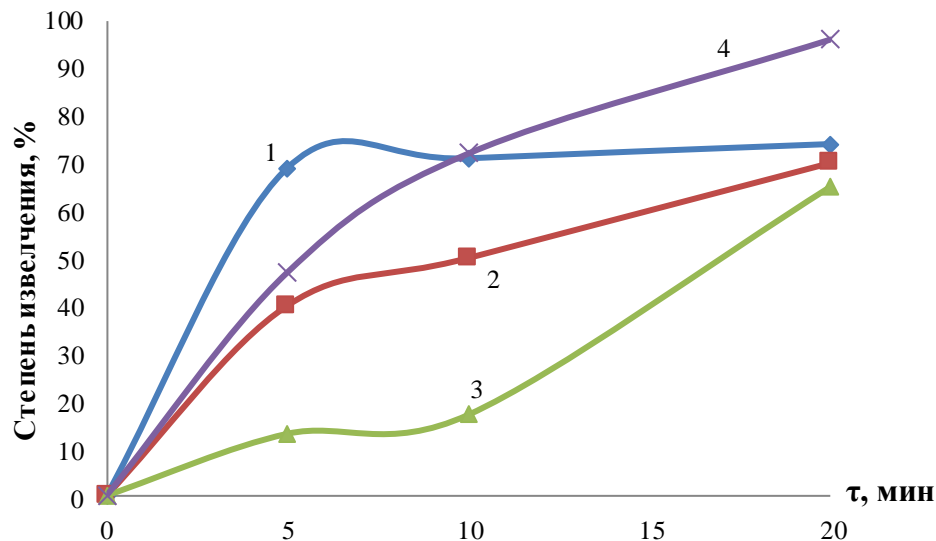


Условия эксперимента: $c(\text{Cu}^{2+}) - 50 \text{ мг/л}$; $c(\text{Ni}^{2+}) - 50 \text{ мг/л}$; $c(\text{Na}_2\text{SO}_4) - 1 \text{ г/л}$; $J_v - 0,4 \text{ А/л}$, 1 – pH=8; 2 – pH=9; 3 – pH=10; 4 – pH=11

Рисунок 3.5 – Кинетика электрофлотационного процесса извлечения дисперсной фазы смеси меди и никеля из модельных сточных вод в слабощелочной области pH.

В графике представлены средние значения полученных данных по степени извлечения гидроксидов меди и никеля в эталонном растворе. Видно, что при pH=9 электрофлотационное извлечение гидроксидов меди и никеля протекает не интенсивно и при электрофлотации за 20 минут степень извлечения достигает лишь до 35%.

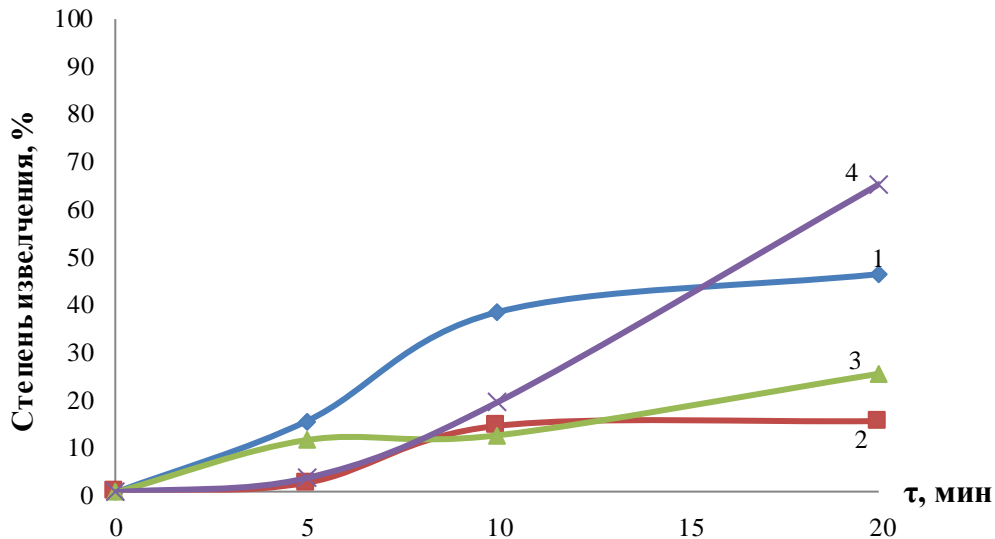
В диапазоне pH 10-11 процесс электрофлотационного извлечения гидроксидов протекает интенсивно и при электрофлотации за 20 минут достигает до 95%.



Условия эксперимента: $c(\text{Cu}^{2+}) - 50 \text{ мг/л}$; $c(\text{Ni}^{2+}) - 50 \text{ мг/л}$; $c(\text{Na}_2\text{SO}_4) - 1 \text{ г/л}$; $c(\text{КатаПАВ}) - 5 \text{ мг/л}$; $J_v - 0,4 \text{ А/л}$, 1 – pH=8; 2 – pH=9; 3 – pH=10; 4 – pH=11

Рисунок 3.6 – Кинетика электрофлотационного процесса извлечение дисперсной фазы смеси меди и никеля из модельных сточных вод в слабощелочной области рН.

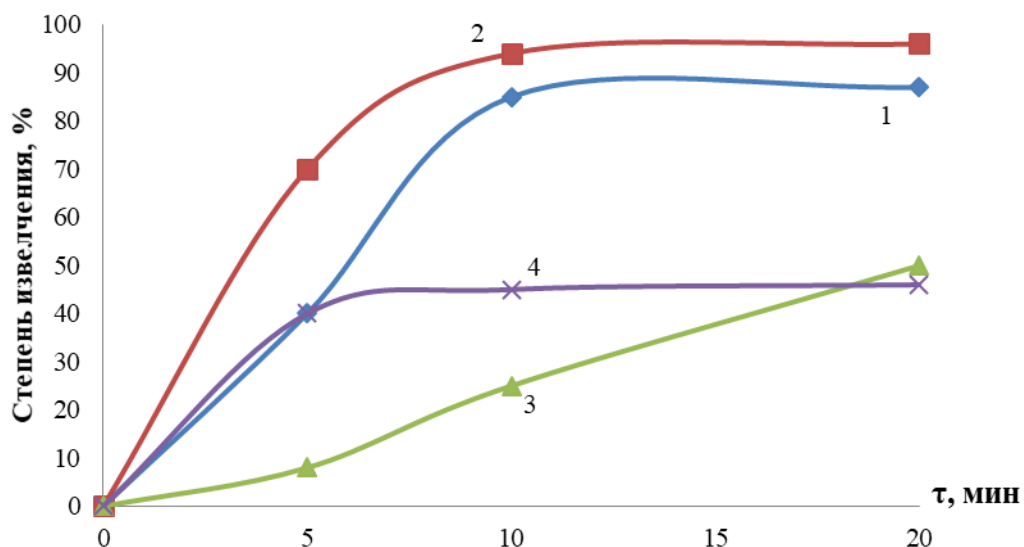
При добавлении в систему катионного ПАВ (КатаПАВ) электрофлотационное извлечение гидроксидов меди и никеля при рН-11 протекает интенсивно, в первые 5 минут степень извлечения достигает 47%, и при дальнейшей электрофлотации достигает 98%, что говорит об эффективности процесса.



Условия эксперимента: $c(\text{Cu}^{2+}) - 50 \text{ мг/л}$; $c(\text{Ni}^{2+}) - 50 \text{ мг/л}$; $c(\text{Na}_2\text{SO}_4) - 1 \text{ г/л}$; $c(\text{СептаПАВ}) - 5 \text{ мг/л}$; $J_v - 0,4 \text{ А/л}$, 1 – рН=8; 2 – рН=9; 3 – рН=10; 4 – рН=11

Рисунок 3.7 – Кинетика электрофлотационного процесса извлечение дисперсной фазы смеси меди и никеля из мод сточных вод

В диапазоне рН 8-11 при добавлении в систему катионного ПАВ (СептаПАВ) электрофлотационное извлечение смеси гидроксидов меди и никеля протекает не интенсивно. При электрофлотации и последующей фильтрации степень извлечения достигает 99%, что говорит об эффективности процесса.



Условия эксперимента: $c(\text{Cu}^{2+}) - 50 \text{ мг/л}$; $c(\text{Ni}^{2+}) - 50 \text{ мг/л}$; $c(\text{Na}_2\text{SO}_4) - 1 \text{ г/л}$;
 $c(\text{Zetag-8160}) - 5 \text{ мг/л}$; $j_v - 0,4 \text{ А/л}$, 1 – pH=8; 2 – pH=9; 3 – pH=10; 4 – pH=11

Рисунок 3.8 – Кинетика электрофлотационного процесса извлечения дисперсной фазы смеси меди и никеля из модельных сточных вод в слабощелочной области pH.

При pH=10 электрофлотационное извлечение смеси гидроксидов меди и никеля протекает не интенсивно, по сравнению с другими показателями кислотности среды. При этом процесс электрофлотационного извлечения гидроксидов меди и никеля протекает эффективно при этом значении кислотности среды, и достигает 98%.

3.1.3. Определение условий для эффективного протекания электрофлотационного процесса в электролитах Na₂SO₄ для двухкомпонентной системы Cu²⁺ - Zn²⁺

Таблица 3.3 – Влияние катионных ПАВ и флокулянта на степень электрофлотационного извлечения смеси гидроксидов никеля и цинка в зависимости от pH, α, %.

Время, мин	α%							
	pH=8		pH=9		pH=10		pH=11	
	Ni	Zn	Ni	Zn	Ni	Zn	Ni	Zn
Без добавок								
5	4	81	96	96	12	5	26	13
10	5	82	98	98	14	15	34	29
20	16	83	99	99	43	48	43	49
30+фильтрация	20	86	99	99	98	94	99	95
С ПАВ (КатаПАВ)								
5	7	21	52	70	2	13	32	27
10	10	24	71	95	37	47	40	36
20	12	24	72	97	93	90	86	89
30+фильтрация	13	40	78	98	97	94	98	98
С ПАВ (СептаПАВ)								
5	16	73	12	22	5	20	53	4
10	24	86	17	26	58	68	54	5
20	30	88	21	34	80	84	58	59
30+фильтрация	55	94	61	81	93	93	99	99
С Флокулянтом (Zetag-8160)								
5	4	2	39	76	37	44	83	81
10	6	10	52	90	75	75	94	94
20	9	11	56	92	95	97	99	99
30+фильтрация	12	18	62	94	98	99	99	99

Условия эксперимента: $c(\text{Ni}^{2+}) - 50 \text{ мг/л}$; $c(\text{Zn}^{2+}) - 50 \text{ мг/л}$; $c(\text{Na}_2\text{SO}_4) - 1 \text{ г/л}$;

$c(\text{ПАВ/Флок}) - 5 \text{ мг/л}$; $j_v - 0,4 \text{ А/л}$

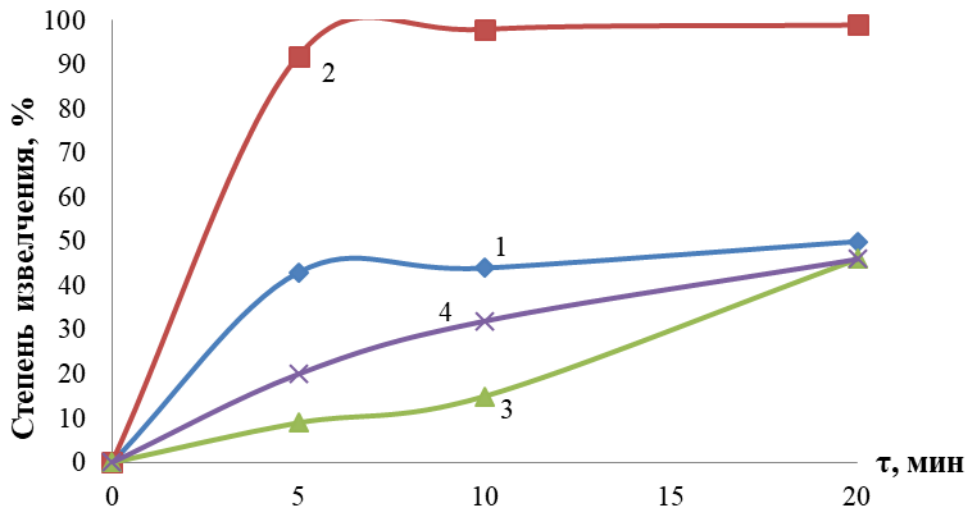
Электрофлотационное извлечение гидроксидов никеля и цинка протекает интенсивно в диапазоне pH 9-11, и степень электрофлотационного извлечения достигает 99% при последующей электрофлотации, что говорит об эффективности процесса.

При pH-9 электрофлотационное извлечение протекает интенсивно, степень электрофлотации достигает 70% и далее процесс протекает эффективно при последующей электрофлотации, степень извлечения достигает 97%.

В диапазоне pH 8–11, при добавлении в систему СептаПАВ процесс электрофлотационного извлечения гидроксидов никеля и цинка протекает не

интенсивно, и при последующей электрофлотации достигает максимально 88%, что говорит об неэффективности процесса.

При рН-10 и рН-11 процесс электрофлотационного извлечения гидроксидов никеля и цинка в первые 5 минут достигает 83%, процесс протекает интенсивно. При дальнейшей электрофлотации степень извлечения гидроксидов никеля и цинка достигает 99%, процесс протекает эффективно.

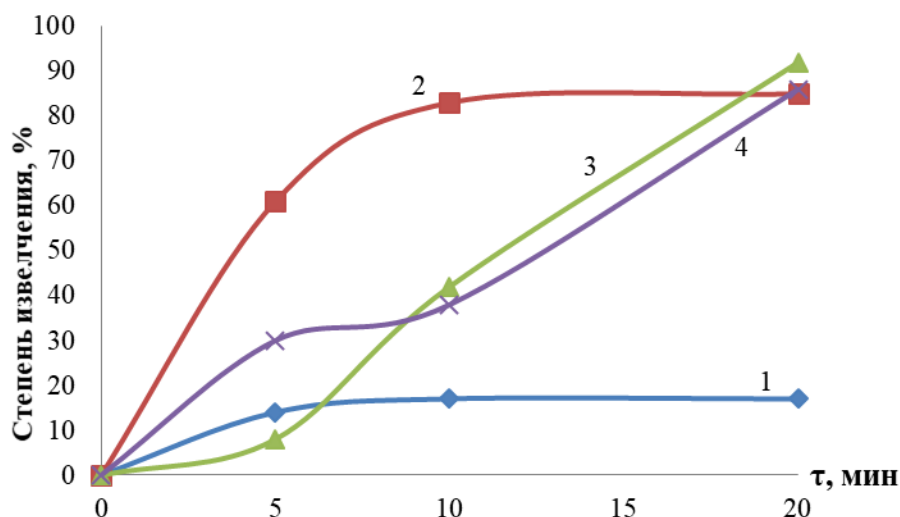


Условия эксперимента: $c(\text{Ni}^{2+}) - 50 \text{ мг/л}$; $c(\text{Zn}^{2+}) - 50 \text{ мг/л}$; $c(\text{Na}_2\text{SO}_4) - 1 \text{ г/л}$;
 $j_v - 0,4 \text{ А/л}$, 1 – рН=8; 2 – рН=9; 3 – рН=10; 4 – рН=11

Рисунок 3.9 – Кинетика электрофлотационного процесса извлечение дисперсной фазы смеси никеля и цинка из модельных сточных вод в слабощелочной области рН.

На графике представлены средние значения полученных данных по степени извлечения гидроксидов никеля и цинка в эталонном растворе. Видно, что при рН-8 электрофлотационное извлечение гидроксидов никеля и цинка протекает не интенсивно и при электрофлотации за 20 минут степень извлечения доходит лишь до 53%.

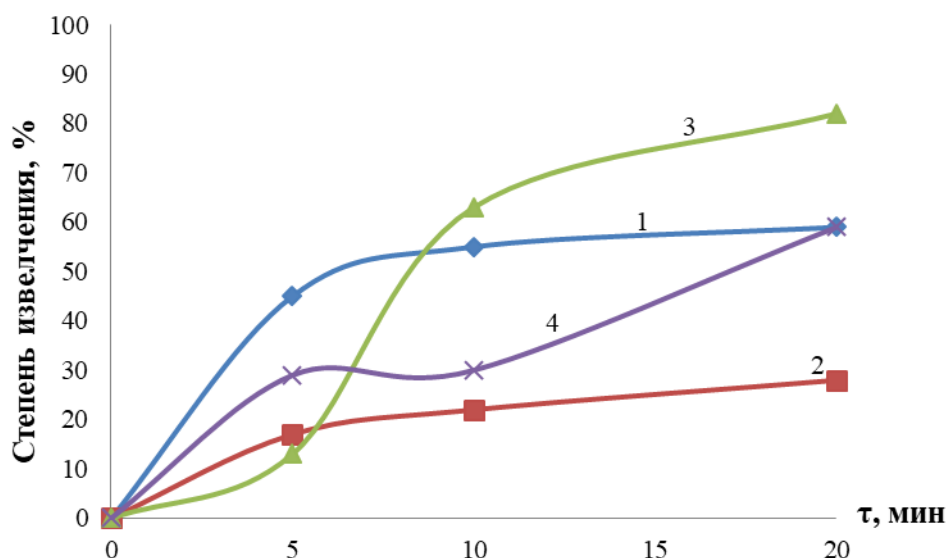
В диапазоне рН 9-11 процесс электрофлотационного извлечения гидроксидов протекает интенсивно и при электрофлотации за 20 минут достигает до 99%.



Условия эксперимента: $c(\text{Ni}^{2+}) - 50$ мг/л; $c(\text{Zn}^{2+}) - 50$ мг/л; $c(\text{Na}_2\text{SO}_4) - 1$ г/л; $c(\text{КатаПАВ}) - 5$ мг/л; $j_v - 0,4$ А/л, 1 – pH=8; 2 – pH=9; 3 – pH=10; 4 – pH=11

Рисунок 3.10 – Кинетика электрофлотационного процесса извлечение дисперсной фазы смеси никеля и цинка из модельных сточных вод в слабощелочной области pH.

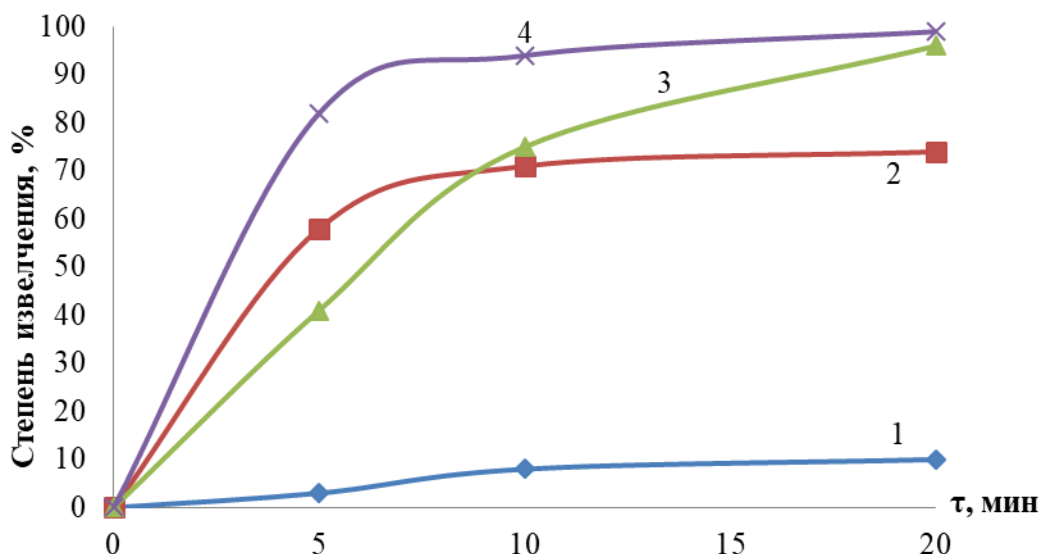
При добавлении в систему катионного ПАВ (КатаПАВ) электрофлотационное извлечение гидроксидов никеля и цинка при pH=9 протекает интенсивно, в первые 5 минут степень извлечения достигает 61%, и при дальнейшей электрофлотации достигает 85%. При pH=10 процесс протекает не интенсивно, при этом при электрофлотации в течении 20 минут процесс протекает эффективно и степень электрофлотационного извлечения гидроксидов никеля и цинка достигает 92%.



Условия эксперимента: $c(\text{Ni}^{2+}) - 50$ мг/л; $c(\text{Zn}^{2+}) - 50$ мг/л; $c(\text{Na}_2\text{SO}_4) - 1$ г/л; $c(\text{СептаПАВ}) - 5$ мг/л; $j_v - 0,4$ А/л, 1 – pH=8; 2 – pH=9; 3 – pH=10; 4 – pH=11

Рисунок 3.11 – Кинетика электрофлотационного процесса извлечение дисперсной фазы смеси никеля и цинка из модельных сточных вод в слабощелочной области рН.

В диапазоне рН 8-11 при добавлении в систему катионного ПАВ (СептаПАВ) электрофлотационное извлечение смеси гидроксидов никеля и цинка протекает не интенсивно, в первые 5 минут степень электрофлотационного извлечения достигает 17 - 45%. При электрофлотации и последующей фильтрации степень извлечения достигает 71 - 95%.



Условия эксперимента: $c(\text{Ni}^{2+}) - 50 \text{ мг/л}$; $c(\text{Zn}^{2+}) - 50 \text{ мг/л}$; $c(\text{Na}_2\text{SO}_4) - 1 \text{ г/л}$; $c(\text{Zetag-8160}) - 5 \text{ мг/л}$; $j_v - 0,4 \text{ А/л}$, 1 – рН=8; 2 – рН=9; 3 – рН=10; 4 – рН=11

Рисунок 3.12 – Кинетика электрофлотационного процесса извлечение дисперсной фазы смеси никеля и цинка из модельных сточных вод в слабощелочной области рН.

При рН-8 электрофлотационное извлечение смеси гидроксидов никеля и цинка протекает не интенсивно, по сравнению с другими показателями кислотности среды. При этом процесс электрофлотационного извлечения гидроксидов никеля и цинка протекает эффективно в диапазоне рН 10-11, и достигает 99%.

3.1.4. Определение условий для эффективного протекания электрофлотационного процесса в присутствии $\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ для двухкомпонентной системы Cu^{2+} - Zn^{2+}

Таблица 3.4 – Влияние катионных ПАВ и флокулянта на степень электрофлотационного извлечения смеси гидроксидов меди и цинка в зависимости от pH, α , %.

Время, мин	α , %							
	pH=8		pH=9		pH=10		pH=11	
	Cu	Zn	Cu	Zn	Cu	Zn	Cu	Zn
Без добавок								
5	41	33	66	59	2	10	48	86
10	54	35	77	75	5	24	49	87
20	44	29	70	65	7	27	53	84
20+фильтрация	22	80	36	92	73	91	70	89
С ПАВ (КатаПАВ) _к								
5	5	38	15	71	17	87	40	43
10	10	49	16	77	20	91	44	68
20	17	38	17	75	21	90	52	87
20+фильтрация	79	75	22	85	29	93	61	93
С ПАВ (СептаПАВ) _к								
5	86	63	65	50	9	32	2	3
10	90	69	81	73	11	84	29	30
20	88	64	74	68	79	85	34	34
20+фильтрация	81	80	97	95	93	94	96	94
С Флокулянтом (Zetag-8160) _к								
5	81	54	2	70	74	88	84	87
10	90	73	37	94	93	96	90	91
20	94	80	93	96	94	97	94	95
20+фильтрация	88	90	97	70	91	99	60	63

Условия эксперимента: $c(\text{Cu}^{2+}) - 50$ мг/л; $c(\text{Zn}^{2+}) - 50$ мг/л; $c(\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}) - 500$ мг/л;

$c(\text{Орг.}) - 5$ мг/л; $j_v - 0,4$ А/л

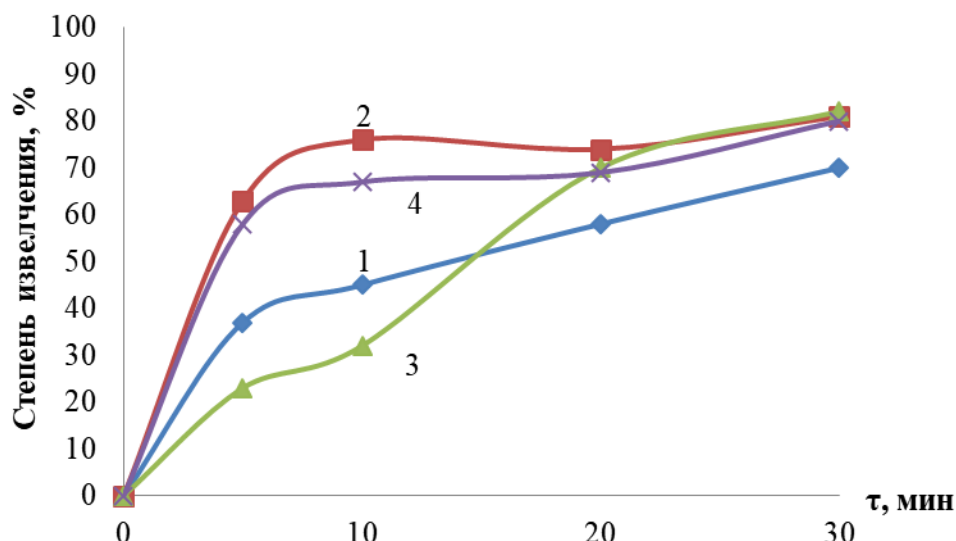
В эталонном растворе в диапазоне pH 8–11 процесс электрофлотационного извлечения меди и цинка протекает не интенсивно, и при последующей фильтрации достигает максимальных значений в 92%.

При электрофлотационном извлечении гидроксидов меди и цинка путем добавления в систему КатаПАВ, в диапазоне pH 8–11 процесс протекает не эффективно, степень извлечения достигает 93%.

При pH=8 процесс протекает интенсивно, степень электрофлотационного извлечения достигает 86%, но при последующей электрофлотации и фильтрации

достигает лишь 80%. В диапазоне рН 9–10 процесс протекает не интенсивно, но при электрофлотации в 20 минут и фильтрации идет эффективно, степень электрофлотационного извлечения достигает 99 %.

При рН-10 процесс электрофлотационного извлечения меди и цинка протекает интенсивно, в первые 5 минут степень извлечения достигает 74%, и дальнейшей электрофлотации и фильтрации возрастает 99%.

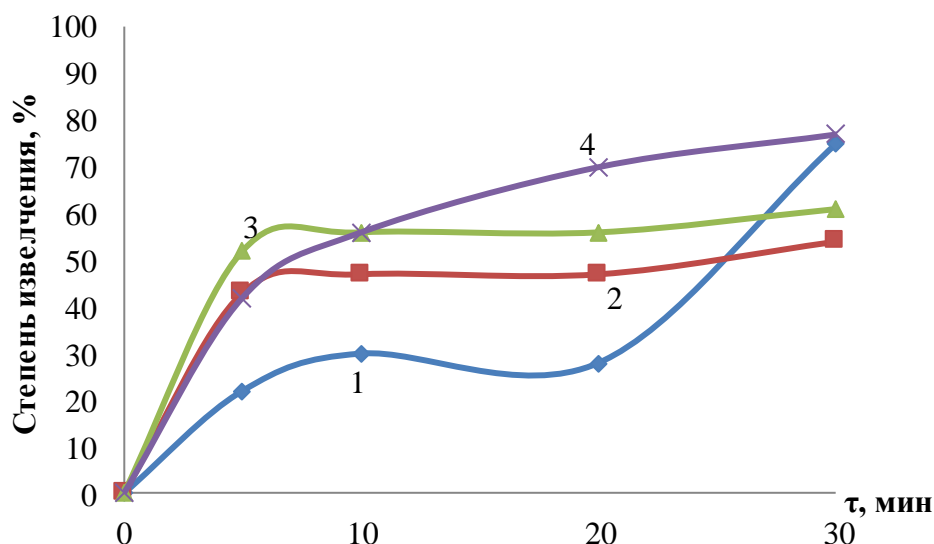


Условия эксперимента: $c(\text{Cu}^{2+}) - 50 \text{ мг/л}$; $c(\text{Zn}^{2+}) - 50 \text{ мг/л}$; $c(\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}) - 1 \text{ г/л}$; $j_v - 0,4 \text{ А/л}$, 1 – рН=8; 2 – рН=9; 3 – рН=10; 4 – рН=11

Рисунок 3.13 – Кинетика электрофлотационного процесса извлечение дисперсной фазы смеси меди и цинка из модельных сточных вод в слабощелочной области рН.

На графике представлены средние значения полученных данных по степени извлечения гидроксидов меди и цинка в эталонном растворе. Видно, что в диапазоне рН 8-11 электрофлотационное извлечение гидроксидов меди и цинка протекает не интенсивно и при электрофлотации за 20 минут степень извлечения доходит лишь до 63%.

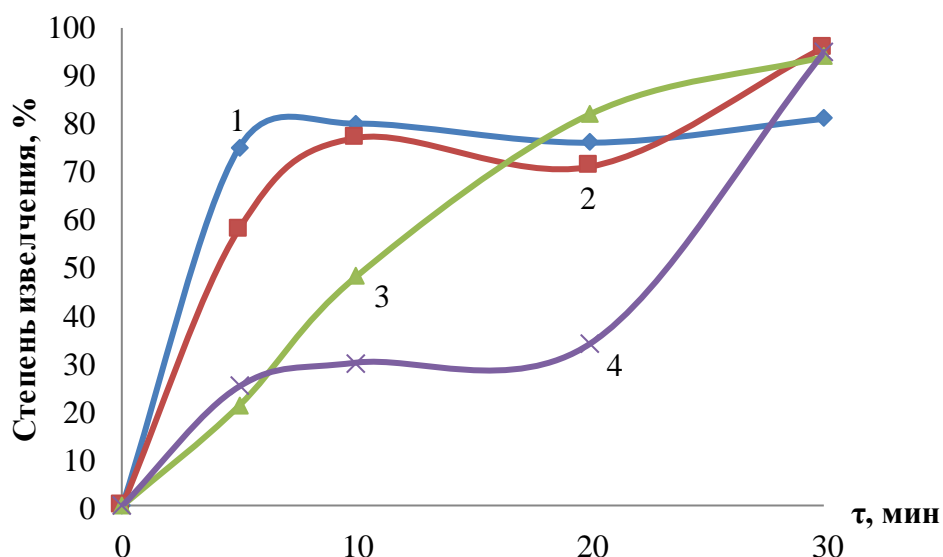
В дальнейшем процесс протекает не эффективно.



Условия эксперимента: $c(\text{Cu}^{2+}) - 50$ мг/л; $c(\text{Zn}^{2+}) - 50$ мг/л; $c(\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}) - 500$ мг/л; $c(\text{КатаПАВ}) - 5$ мг/л; $j_v - 0,4$ А/л, 1 – pH=8; 2 – pH=9; 3 – pH=10; 4 – pH=11

Рисунок 3.14 – Кинетика электрофлотационного процесса извлечение дисперсной фазы смеси меди и цинка из модельных сточных вод в слабощелочной области pH.

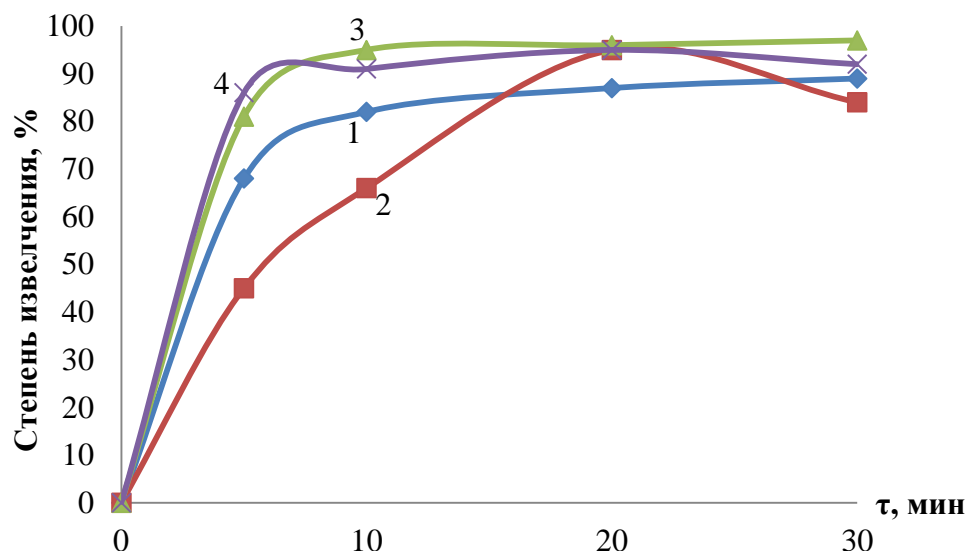
При добавлении в систему катионного ПАВ (КатаПАВ) электрофлотационное извлечение гидроксидов меди и цинка в диапазоне pH 8-11 протекает интенсивно, в первые 5 минут степень извлечения достигает 52%, но при дальнейшей электрофлотации увеличивается лишь до 77%, что говорит об неэффективности процесса.



Условия эксперимента: $c(\text{Cu}^{2+}) - 50$ мг/л; $c(\text{Zn}^{2+}) - 50$ мг/л; $c(\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}) - 500$ мг/л; $c(\text{СептаПАВ}) - 5$ мг/л; $j_v - 0,4$ А/л, 1 – pH=8; 2 – pH=9; 3 – pH=10; 4 – pH=11

Рисунок 3.15 – Кинетика электрофлотационного процесса извлечение дисперсной фазы смеси меди и цинка из модельных сточных вод в слабощелочной области pH.

При pH-9 при добавлении в систему катионного ПАВ (СептаПАВ) электрофлотационное извлечение смеси гидроксидов меди и цинка протекает интенсивно, в первые 5 минут мы видим отличные результаты – 58%. При последующей фильтрации степень извлечения достигает 96%.



Условия эксперимента: $c(\text{Cu}^{2+}) - 50 \text{ мг/л}$; $c(\text{Zn}^{2+}) - 50 \text{ мг/л}$; $c(\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}) - 500 \text{ мг/л}$; $c(\text{Zetag-8160}) - 5 \text{ мг/л}$; $j_v - 0,4 \text{ А/л}$, 1 – pH=8; 2 – pH=9; 3 – pH=10; 4 – pH=11

Рисунок 3.16 – Кинетика электрофлотационного процесса извлечение дисперсной фазы смеси меди и цинка из модельных сточных вод в слабощелочной области pH.

При pH-10 и pH-11 электрофлотационное извлечение смеси гидроксидов меди и цинка протекает интенсивно, по сравнению с другими показателями кислотности среды. При дальнейшей электрофлотации и фильтрации процесс электрофлотационного извлечения гидроксидов меди и цинка протекает эффективно и достигает 97%.

3.1.5. Определение условий для эффективного протекания электрофлотационного процесса в присутствии $\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ для двухкомпонентной системы Cu^{2+} - Ni^{2+}

Таблица 3.5 – Влияние катионных ПАВ и флокулянта на степень электрофлотационного извлечения смеси гидроксидов меди и никеля в зависимости от рН, α , %.

Время, мин	α , %							
	рН=8		рН=9		рН=10		рН=11	
	Cu	Ni	Cu	Ni	Cu	Ni	Cu	Ni
Без добавок								
5	11	1	1	1	5	7	9	17
10	13	4	6	5	6	17	15	25
20	16	11	8	7	19	18	20	33
20+фильтрация	34	16	23	18	28	20	23	40
С ПАВ (КатаПАВ) _к								
5	3	6	1	4	1	2	10	9
10	4	6	6	8	5	5	13	21
20	5	6	10	23	9	7	15	27
20+фильтрация	7	37	30	35	23	11	49	36
С ПАВ (СептаПАВ) _к								
5	76	27	5	10	0	8	2	0
10	90	28	11	23	5	19	4	3
20	90	31	15	28	8	28	6	9
20+фильтрация	96	39	26	29	18	38	8	12
С Флокулянтом (Zetag 8160) _к								
5	8	10	63	31	11	12	59	51
10	25	13	72	36	21	19	63	57
20	28	15	80	37	34	35	80	73
20+фильтрация	65	63	93	76	99	99	98	98

Условия эксперимента: $c(\text{Cu}^{2+})$ – 50 мг/л; $c(\text{Ni}^{2+})$ – 50 мг/л; $c(\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O})$ – 500 мг/л;

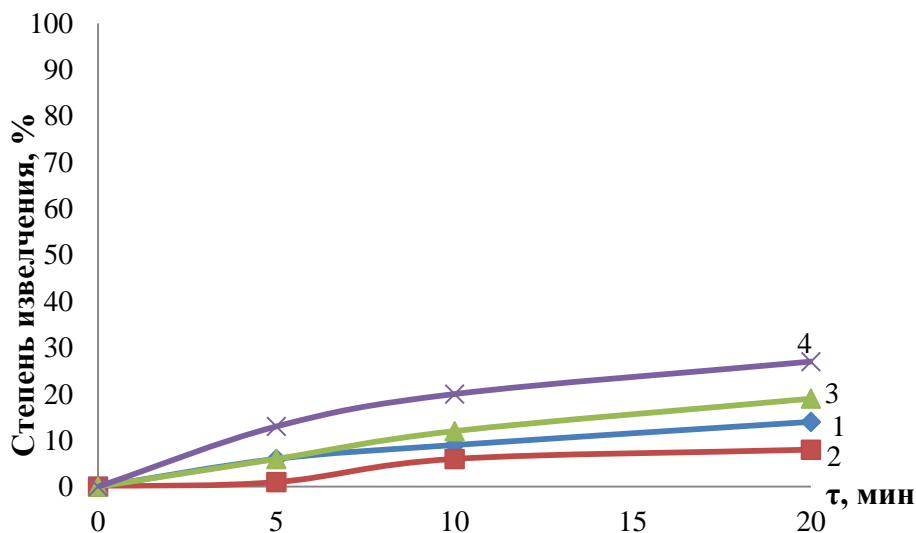
$c(\text{ПАВ/Флок})$ – 5 мг/л; j_v – 0,4 А/л

В эталонном растворе в диапазоне рН 8-11 процесс электрофлотационного извлечения протекает неинтенсивно, и при дальнейшей электрофлотации и фильтрации достигает лишь 40%.

При добавлении в систему КатаПАВ, процесс электрофлотационного извлечения смеси гидроксидов меди и никеля протекает не интенсивно, и при дальнейшей электрофлотации и фильтрации достигает 49%.

При добавлении в систему СептаПАВ, процесс электрофлотационного извлечения смеси гидроксидов меди и никеля протекает не интенсивно, и при дальнейшей электрофлотации и фильтрации достигает 39%.

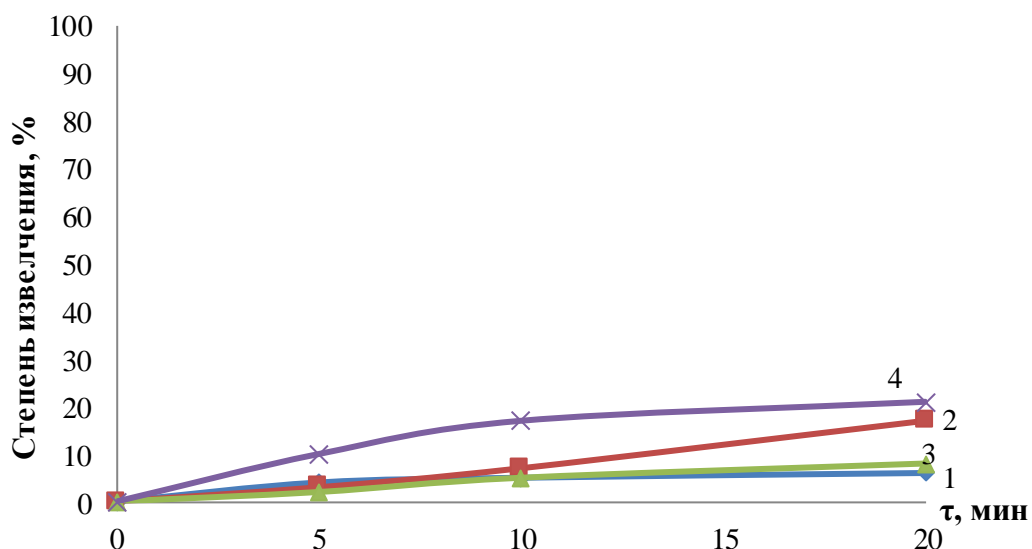
При добавлении в систему флокулянт Zetag-8160, процесс электрофлотационного извлечения протекает эффективно при электрофлотации в 20 минут и дальнейшей фильтрации. Степень извлечения достигает 99%.



Условия эксперимента: $c(\text{Cu}^{2+}) - 50 \text{ мг/л}$; $c(\text{Ni}^{2+}) - 50 \text{ мг/л}$; $c(\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}) - 500 \text{ мг/л}$;
 $j_v - 0,4 \text{ А/л}$, 1 – pH=8; 2 – pH=9; 3 – pH=10; 4 – pH=11

Рисунок 3.17 – Кинетика электрофлотационного процесса извлечение дисперсной фазы смеси меди и никеля из модельных сточных вод в слабощелочной области pH.

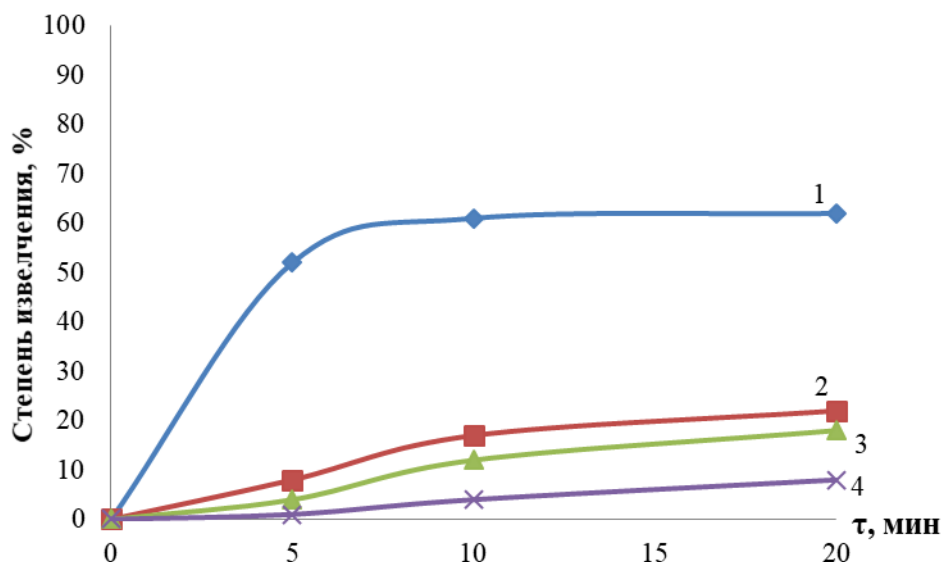
На графике представлены средние значения полученных данных по степени извлечения гидроксидов меди и никеля в эталонном растворе. Видно, что в диапазоне pH 8-11 электрофлотационное извлечение гидроксидов меди и никеля протекает не интенсивно и при электрофлотации за 20 минут степень извлечения доходит лишь до 25%.



Условия эксперимента: $c(\text{Cu}^{2+}) - 50$ мг/л; $c(\text{Ni}^{2+}) - 50$ мг/л; $c(\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}) - 500$ мг/л; $c(\text{КатаПАВ}) - 5$ мг/л; $j_v - 0,4$ А/л, 1 – pH=8; 2 – pH=9; 3 – pH=10; 4 – pH=11

Рисунок 3.18 – Кинетика электрофлотационного процесса извлечение дисперсной фазы смеси меди и никеля из модельных сточных вод в слабощелочной области pH.

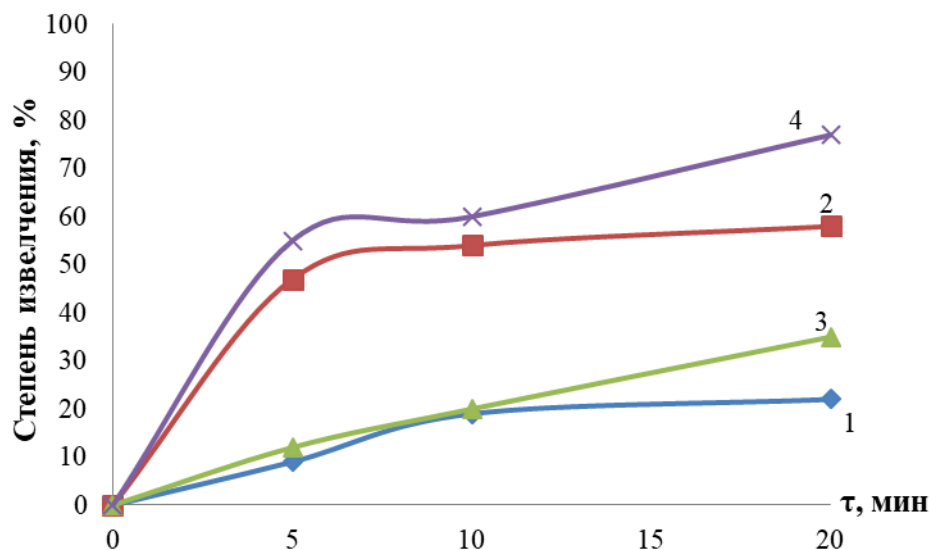
При добавлении в систему катионного ПАВ (КатаПАВ) электрофлотационное извлечение гидроксидов меди и никеля в диапазоне pH 8-11 протекает не эффективно. Степень извлечения в 20 минут электрофлотации и дальнейшей фильтрации достигает лишь 43%.



Условия эксперимента: $c(\text{Cu}^{2+}) - 50$ мг/л; $c(\text{Ni}^{2+}) - 50$ мг/л; $c(\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}) - 500$ мг/л; $c(\text{СептаПАВ}) - 5$ мг/л; $j_v - 0,4$ А/л, 1 – pH=8; 2 – pH=9; 3 – pH=10; 4 – pH=11

Рисунок 3.19 – Кинетика электрофлотационного процесса извлечение дисперсной фазы смеси меди и никеля из модельных сточных вод в слабощелочной области pH.

В диапазоне pH 8-11 при добавлении в систему катионного ПАВ (СептаПАВ) электрофлотационное извлечение смеси гидроксидов меди и никеля протекает не интенсивно. При дальнейшей электрофлотации и последующей фильтрации степень извлечения достигает 68%.



Условия эксперимента: $c(\text{Cu}^{2+}) - 50 \text{ мг/л}$; $c(\text{Ni}^{2+}) - 50 \text{ мг/л}$; $c(\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}) - 500 \text{ мг/л}$;
 $c(\text{Zetag-8160}) - 5 \text{ мг/л}$; $j_v - 0,4 \text{ А/л}$, 1 – pH=8; 2 – pH=9; 3 – pH=10; 4 – pH=11

Рисунок 3.20 – Кинетика электрофлотационного процесса извлечение дисперсной фазы смеси меди и никеля из модельных сточных вод в слабощелочной области pH.

При pH 10 электрофлотационное извлечение смеси гидроксидов меди и никеля протекает не интенсивно, по сравнению с другими показателями кислотности среды. При этом процесс электрофлотационного извлечения гидроксидов меди и никеля протекает эффективно при этом значении кислотности среды, и достигает 99%.

3.1.6. Определение условий для эффективного протекания электрофлотационного процесса в присутствии $\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ для двухкомпонентной системы Ni^{2+} - Zn^{2+}

Таблица 3.6 – Влияние катионных ПАВ и флокулянта на степень электрофлотационного извлечения смеси гидроксидов никеля и цинка в зависимости от pH, α , %.

Время, мин	α %							
	pH=8		pH=9		pH=10		pH=11	
	Ni	Zn	Ni	Zn	Ni	Zn	Ni	Zn
Без добавок								
5	29	23	83	79	81	88	92	94
10	52	47	95	97	82	98	96	98
20	55	50	95	97	95	99	97	99
20+фильтрация	62	57	97	98	95	99	99	99
С ПАВ (КатаПАВ)								
5	6	8	8	33	72	46	77	77
10	15	11	10	33	86	87	96	97
20	17	13	20	37	89	91	97	98
20+фильтрация	19	40	22	39	90	95	98	99
С ПАВ (СептаПАВ)								
5	39	50	23	52	60	69	67	58
10	57	64	30	54	93	97	91	92
20	61	67	38	54	94	98	91	92
20+фильтрация	63	68	41	55	97	99	95	99
С Флокулянтом (Zetag-8160)								
5	35	46	65	75	49	65	74	74
10	36	47	91	95	81	67	92	93
20	42	56	91	96	84	95	93	94
20+фильтрация	55	59	96	96	98	97	98	99

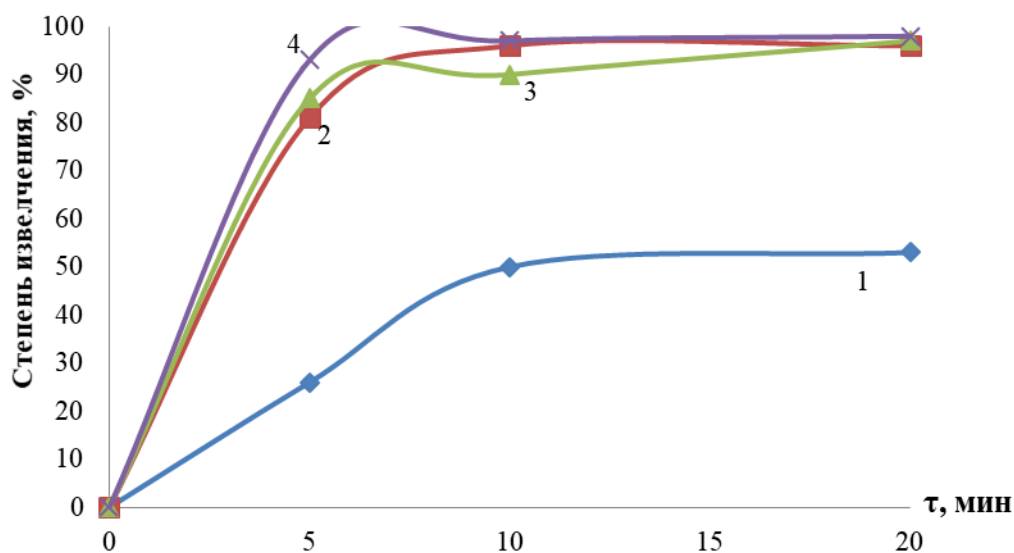
Условия эксперимента: $c(\text{Ni}^{2+})$ – 50 мг/л; $c(\text{Zn}^{2+})$ – 50 мг/л; $c(\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O})$ – 500 мг/л;
 $c(\text{Орг.})$ – 5 мг/л; j_v – 0,4 А/л

Электрофлотационное извлечение гидроксидов никеля и цинка протекает интенсивно в диапазоне pH 9-11, и степень электрофлотационного извлечения достигает 99% при последующей электрофлотации, что говорит об эффективности процесса.

При pH-10 и pH-11 электрофлотационное извлечение протекает интенсивно, степень электрофлотации достигает 77% в первые 5 минут, и далее процесс протекает эффективно при последующей электрофлотации, степень извлечения достигает 99%.

В диапазоне рН 8–9, при добавлении в систему септаПАВ процесс электрофлотационного извлечения гидроксидов никеля и цинка протекает не интенсивно, и при последующей электрофлотации достигает максимально 68%, что говорит об неэффективности процесса. При этом в диапазоне рН 10–11 процесс электрофлотации интенсивен, и при последующей фильтрации степень извлечения достигает 99%.

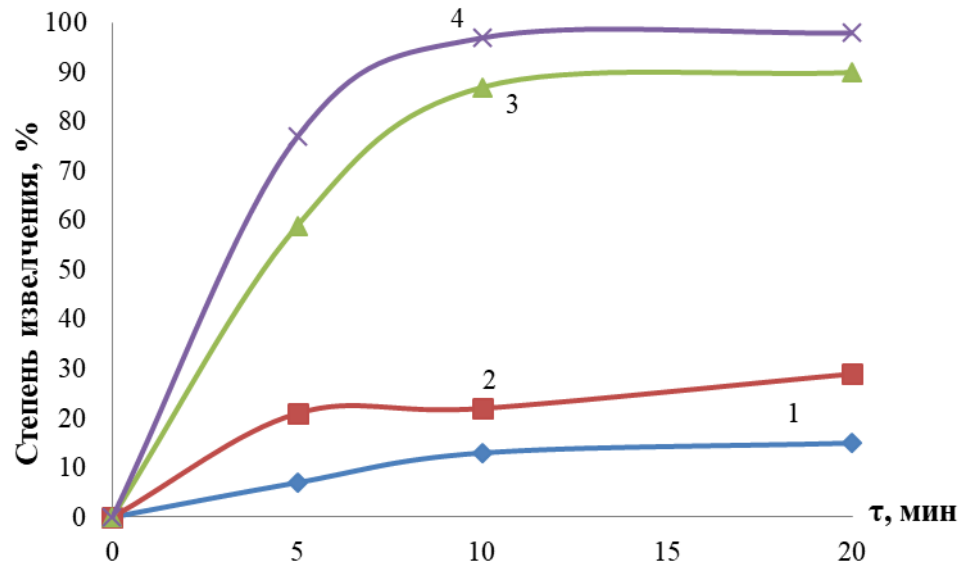
При рН 9-11 процесс электрофлотационного извлечения гидроксидов никеля и цинка в первые 5 минут достигает 74%, процесс протекает интенсивно. При дальнейшей электрофлотации степень извлечения гидроксидов никеля и цинка достигает 99%, процесс протекает эффективно.



Условия эксперимента: $c(\text{Ni}^{2+}) - 50 \text{ мг/л}$; $c(\text{Zn}^{2+}) - 50 \text{ мг/л}$; $c(\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}) - 500 \text{ мг/л}$;
 $j_v - 0,4 \text{ А/л}$, 1 – рН=8; 2 – рН=9; 3 – рН=10; 4 – рН=11

Рисунок 3.21 – Кинетика электрофлотационного процесса извлечение дисперсной фазы смеси никеля и цинка из модельных сточных вод в слабощелочной области рН.

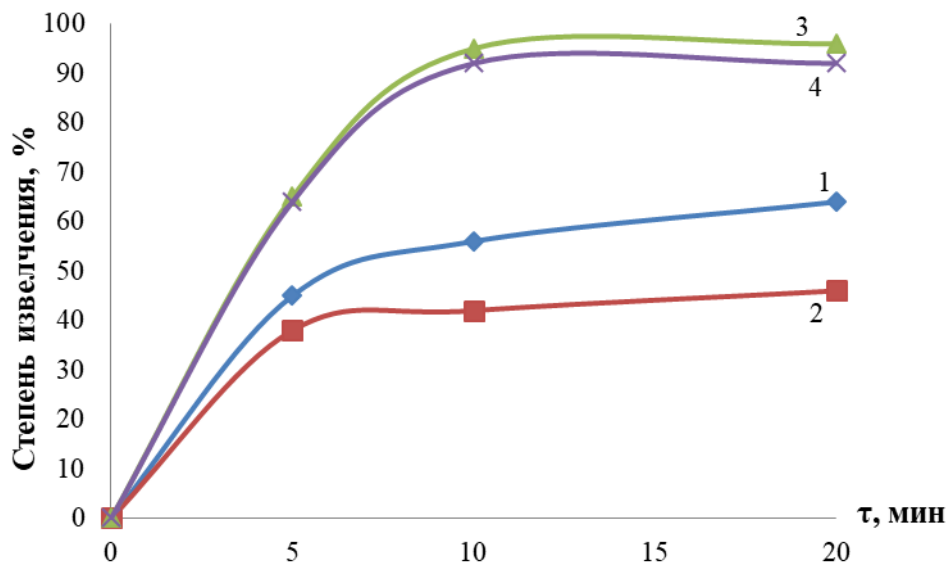
Электрофлотационное извлечение гидроксидов никеля и цинка протекает интенсивно в диапазоне рН 9-11, и степень электрофлотационного извлечения достигает 99% при последующей электрофлотации, что говорит об эффективности процесса.



Условия эксперимента: $c(\text{Ni}^{2+}) - 50 \text{ мг/л}$; $c(\text{Zn}^{2+}) - 50 \text{ мг/л}$; $c(\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}) - 500 \text{ мг/л}$; $c(\text{КатаПАВ}) - 5 \text{ мг/л}$; $j_v - 0,4 \text{ А/л}$, 1 – pH=8; 2 – pH=9; 3 – pH=10; 4 – pH=11

Рисунок 3.22 – Кинетика электрофлотационного процесса извлечение дисперсной фазы смеси никеля и цинка из мод сточных вод

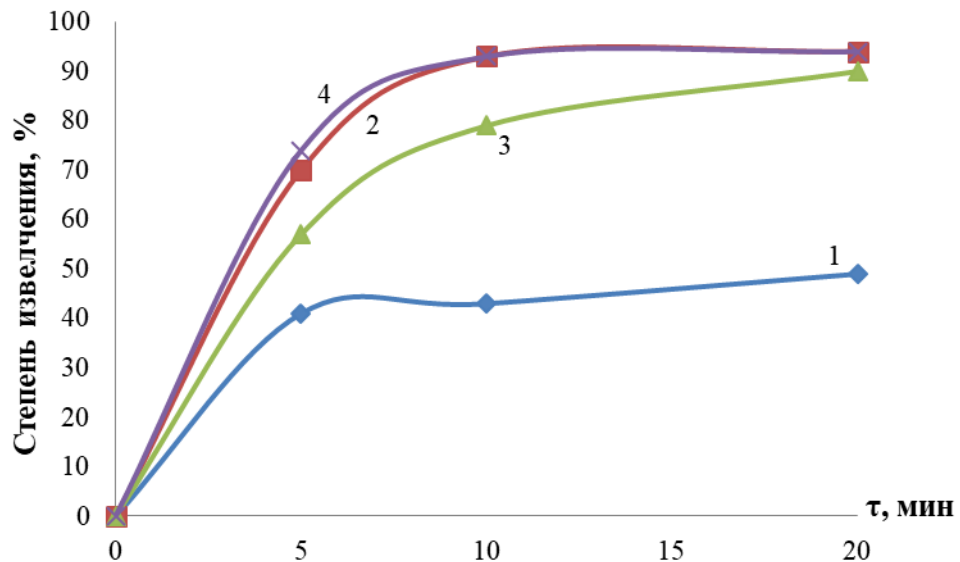
При pH-10 и pH-11 электрофлотационное извлечение протекает интенсивно, степень электрофлотации достигает 77% в первые 5 минут, и далее процесс протекает эффективно при последующей электрофлотации, степень извлечения достигает 99%.



Условия эксперимента: $c(\text{Ni}^{2+}) - 50 \text{ мг/л}$; $c(\text{Zn}^{2+}) - 50 \text{ мг/л}$; $c(\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}) - 500 \text{ мг/л}$; $c(\text{СептаПАВ}) - 5 \text{ мг/л}$; $j_v - 0,4 \text{ А/л}$, 1 – pH=8; 2 – pH=9; 3 – pH=10; 4 – pH=11

Рисунок 3.23 – Кинетика электрофлотационного процесса извлечение дисперсной фазы смеси никеля и цинка из модельных сточных вод в слабощелочной области pH.

В диапазоне рН 8–9, при добавлении в систему СептаПАВ процесс электрофлотационного извлечения гидроксидов никеля и цинка протекает не интенсивно, и при последующей электрофлотации достигает максимально 68%, что говорит об неэффективности процесса. При этом в диапазоне рН 10–11 процесс электрофлотации интенсивен, и при последующей фильтрации степень извлечения достигает 99%.



Условия эксперимента: $c(\text{Ni}^{2+}) - 50 \text{ мг/л}$; $c(\text{Zn}^{2+}) - 50 \text{ мг/л}$; $c(\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}) - 500 \text{ мг/л}$; $c(\text{Zetag-8160}) - 5 \text{ мг/л}$; $j_v - 0,4 \text{ А/л}$, 1 – рН=8; 2 – рН=9; 3 – рН=10; 4 – рН=11

Рисунок 3.24 – Кинетика электрофлотационного процесса извлечение дисперсной фазы смеси никеля и цинка из модельных сточных вод в слабощелочной области рН.

При рН 9-11 процесс электрофлотационного извлечения гидроксидов никеля и цинка в первые 5 минут достигает 74%, процесс протекает интенсивно. При дальнейшей электрофлотации степень извлечения гидроксидов никеля и цинка достигает 99%, процесс протекает эффективно.

3.2. Исследование процессов электрофлотационного извлечения смеси труднорастворимых соединений меди, никеля и цинка в присутствии органических композиций, применяемых в обработке поверхности металлов

3.2.1. Влияние концентрации органических композиций на процесс электрофлотационного извлечения смеси гидроксидов Cu^{2+} - Zn^{2+}

Таблица 3.7 – Степень электрофлотационного извлечения смеси гидроксидов меди и цинка в присутствии ОЖ-1 в зависимости от концентрации, $\alpha\%$.

Время, мин	$\alpha, \%$							
	с (0 мг/л)		с (1 мг/л)		с (5 мг/л)		с (10 мг/л)	
	Cu	Zn	Cu	Zn	Cu	Zn	Cu	Zn
20	43	48	15	13	75	79	96	99
20+фильтрация	98	94	26	24	88	92	96	99

Условия эксперимента: $c(\text{Cu}^{2+}) - 50$ мг/л, $c(\text{Zn}^{2+}) - 50$ мг/л, $c(\text{Na}_2\text{SO}_4) - 1$ мг/л, $j_v - 0.4$ А/л, $\text{pH} = 9$

При добавлении в систему органического компонента очищающая жидкость ОЖ-1, процесс электрофлотации протекает эффективно при концентрации 10 мг/л. Это связано с наличием в составе гидрофобных и гидрофильных компонентов.

Таблица 3.8 – Степень электрофлотационного извлечения смеси гидроксидов меди и цинка в присутствии Пенетранта в зависимости от концентрации, $\alpha\%$.

Время, мин	$\alpha, \%$							
	с (0 мг/л)		с (1 мг/л)		с (5 мг/л)		с (10 мг/л)	
	Cu	Zn	Cu	Zn	Cu	Zn	Cu	Zn
20	43	48	24	1	7	12	3	42
20+фильтрация	98	94	35	36	22	28	35	56

Условия эксперимента: $c(\text{Cu}^{2+}) - 50$ мг/л, $c(\text{Zn}^{2+}) - 50$ мг/л, $c(\text{Na}_2\text{SO}_4) - 1$ мг/л, $j_v - 0.4$ А/л, $\text{pH} = 9$

При добавлении в систему органического компонента пенетрант ЛЖ-6А процесс электрофлотации протекает не эффективно.

Таблица 3.9 – Степень электрофлотационного извлечения смеси гидроксидов меди и цинка в присутствии лака в зависимости от концентрации, $\alpha\%$.

Время, мин	$\alpha, \%$							
	с (0 мг/л)		с (1 мг/л)		с (5 мг/л)		с (10 мг/л)	
	Cu	Zn	Cu	Zn	Cu	Zn	Cu	Zn
20	43	48	76	64	74	53	99	96
20+фильтрация	98	94	77	70	77	56	99	98

Условия эксперимента: $c(\text{Cu}^{2+}) - 50 \text{ мг/л}$, $c(\text{Zn}^{2+}) - 50 \text{ мг/л}$, $c(\text{Na}_2\text{SO}_4) - 1 \text{ мг/л}$,

$j_v - 0.4 \text{ А/л}$, $\text{pH} = 9$

При добавлении в систему органического загрязнителя лак ФЛ-5111 процесс электрофлотации протекает эффективно при высокой концентрации 10 мг/л, что связано с составом органического загрязнителя.

Таблица 3.10 – Степень электрофлотационного извлечения смеси гидроксидов меди и цинка в присутствии растворителя в зависимости от концентрации, $\alpha\%$.

Время, мин	$\alpha, \%$							
	с (0 мг/л)		с (1 мг/л)		с (5 мг/л)		с (10 мг/л)	
	Cu	Zn	Cu	Zn	Cu	Zn	Cu	Zn
20	43	48	57	66	81	83	84	85
20+фильтрация	98	94	96	99	93	92	96	98

Условия эксперимента: $c(\text{Cu}^{2+}) - 50 \text{ мг/л}$, $c(\text{Zn}^{2+}) - 50 \text{ мг/л}$, $c(\text{Na}_2\text{SO}_4) - 1 \text{ мг/л}$,

$j_v - 0.4 \text{ А/л}$, $\text{pH} = 9$

При добавлении в систему растворителя Р-5 процесс электрофлотации протекает эффективно при высокой концентрации, так как в состав органического загрязнителя входят гидрофобные и гидрофильные компоненты.

Таблица 3.11 – Степень электрофлотационного извлечения смеси гидроксидов меди и цинка.

Орг. компоненты	$\alpha, \%$							
	с (0мг/л)		с (1мг/л)		с (5мг/л)		с (10мг/л)	
	Cu^{2+}	Zn^{2+}	Cu^{2+}	Zn^{2+}	Cu^{2+}	Zn^{2+}	Cu^{2+}	Zn^{2+}
<i>ОЖ-1</i>	43	48	15	13	75	79	96	99
<i>Пенетрант</i>	43	48	24	1	7	12	3	42
<i>Лак</i>	43	48	76	64	74	53	99	96
<i>Растворитель Р-5</i>	43	48	57	66	81	83	84	85

Условия эксперимента: $c(\text{Cu}^{2+}) - 50 \text{ мг/л}$, $c(\text{Zn}^{2+}) - 50 \text{ мг/л}$, $c(\text{Na}_2\text{SO}_4) - 1 \text{ мг/л}$,

$j_v - 0.4 \text{ А/л}$, $\tau = 20 \text{ мин}$, $\text{pH} = 9$

Органические загрязнители при высокой концентрации срабатывают как улучшающие добавки и процесс электрофлотации протекает эффективно. Однако при добавлении в систему органического загрязнителя пенетрант ЛЖ-6А процесс подавляется, это объясняется наличием в составе гидрофильного этилового спирта.

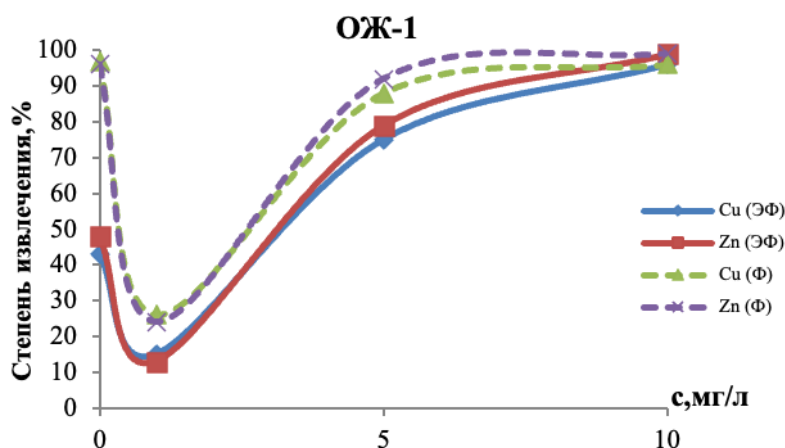
Таблица 3.12 – Степень электрофлотационного извлечения смеси гидроксидов меди и цинка.

Орг. компоненты	α , %							
	с (0мг/л)		с (1мг/л)		с (5мг/л)		с (10мг/л)	
	Cu ²⁺	Zn ²⁺	Cu ²⁺	Zn ²⁺	Cu ²⁺	Zn ²⁺	Cu ²⁺	Zn ²⁺
ОЖ-1	98	94	26	24	88	92	96	99
Пенетрант	98	94	35	56	22	36	16	28
Лак	98	94	77	70	77	56	99	98
Растворитель Р-5	98	94	96	99	93	93	96	98

Условия эксперимента: $c(\text{Cu}^{2+}) - 50 \text{ мг/л}$, $c(\text{Zn}^{2+}) - 50 \text{ мг/л}$, $c(\text{Na}_2\text{SO}_4) - 1 \text{ мг/л}$,

$j_v - 0.4 \text{ А/л}$, $\tau = 20$ + Фитрация, $\text{pH} = 9$

Во время электрофлотации и последующей фильтрации эффективно протекает электрофлотации при всех органических компонентах, кроме пенетранта, степень электрофлотации и фильтрации не превышает 28%.

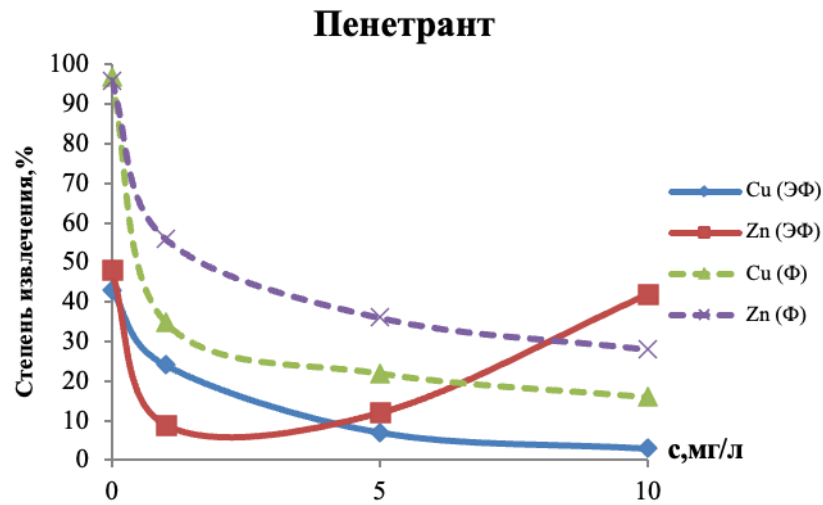


Условия эксперимента: $c(\text{Cu}^{2+}) - 50 \text{ мг/л}$, $c(\text{Zn}^{2+}) - 50 \text{ мг/л}$, $c(\text{Na}_2\text{SO}_4) - 1 \text{ мг/л}$,

$j_v - 0.4 \text{ А/л}$, $\text{pH} - 9$, $\tau = 20$, ЭФ – Электрофлотация, Ф – Последующая фильтрация

Рисунок 3.25 – Влияние концентрации очищающей жидкости ОЖ-1 на процесс электрофлотационного извлечения смеси гидроксидов меди и цинка.

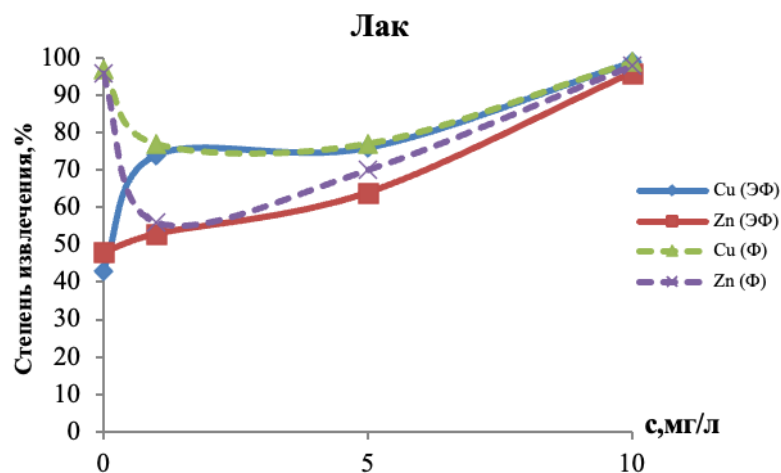
В высокой концентрации очищающая жидкость повышает степень электрофлотационного извлечения меди и цинка. В первую очередь это связано с наличием в составе гидрофобного компонента.



Условия эксперимента: $c(\text{Cu}^{2+}) - 50 \text{ мг/л}$, $c(\text{Zn}^{2+}) - 50 \text{ мг/л}$, $c(\text{Na}_2\text{SO}_4) - 1 \text{ мг/л}$, $j_v - 0.4 \text{ А/л}$, $\text{pH} = 9$, $\tau = 20$, ЭФ – Электрофлотация, Ф – Последующая фильтрация

Рисунок 3.26 – Влияние концентрации Пенетранта ЛЖ-6А на процесс электрофлотационного извлечения смеси гидроксидов меди и цинка.

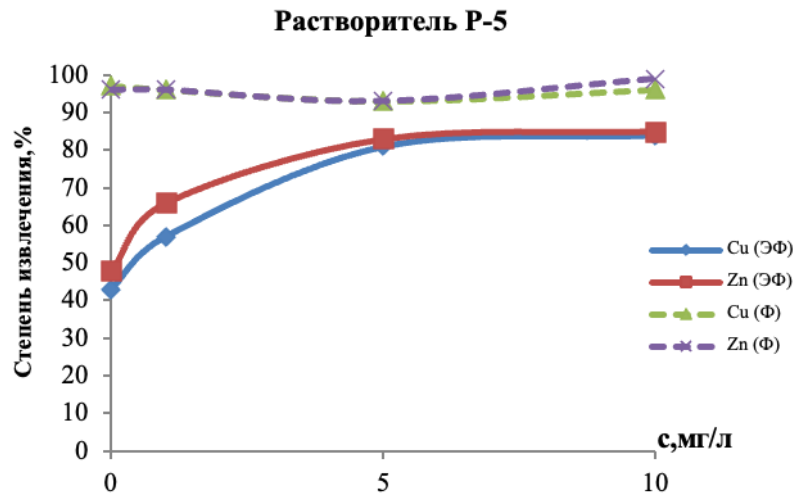
Пенетрат подавляет процесс электрофлотации при концентрации органического компонента и 5 мг/л и 10 мг/л.



Условия эксперимента: $c(\text{Cu}^{2+}) - 50 \text{ мг/л}$, $c(\text{Zn}^{2+}) - 50 \text{ мг/л}$, $c(\text{Na}_2\text{SO}_4) - 1 \text{ мг/л}$, $j_v - 0.4 \text{ А/л}$, $\text{pH} = 9$, $\tau = 20$, ЭФ – Электрофлотация, Ф – Последующая фильтрация

Рисунок 3.27 – Влияние концентрации лака ФЛ-5111 на процесс электрофлотационного извлечения смеси гидроксидов меди и цинка.

При добавлении в систему органического загрязнителя Лак процесс электрофлотации протекает стабильно и при концентрации 5 мг/л и при 10 мг/л.



Условия эксперимента: $c(\text{Cu}^{2+}) - 50$ мг/л, $c(\text{Zn}^{2+}) - 50$ мг/л, $c(\text{Na}_2\text{SO}_4) - 1$ мг/л, $j_v - 0.4$ А/л, $\text{pH} = 9$, $\tau = 20$, ЭФ – Электрофлотация, Ф – Последующая фильтрация

Рисунок 3.28 – Влияние концентрации растворителя Р-5 на процесс электрофлотационного извлечения смеси гидроксидов меди и цинка.

Органический загрязнитель растворитель Р-5 улучшает процесс электрофлотации и при концентрации 10 мг/л степень извлечения достигает 98%.

3.2.2. Влияние концентрации органических композиций на процесс электрофлотационного извлечения смеси гидроксидов Cu^{2+} - Ni^{2+}

Таблица 3.13 – Степень электрофлотационного извлечения смеси гидроксидов никеля и меди в присутствии очищающая жидкость ОЖ-1 в зависимости от концентрации, $\alpha\%$.

Время, мин	$\alpha, \%$							
	c (0 мг/л)		c (1 мг/л)		c (5 мг/л)		c (10 мг/л)	
	Cu	Ni	Cu	Ni	Cu	Ni	Cu	Ni
20	90	97	87	85	64	69	43	40
20+фильтрация	91	98	99	99	86	93	80	88

Условия эксперимента: $c(\text{Cu}^{2+}) - 50$ мг/л, $c(\text{Ni}^{2+}) - 50$ мг/л, $c(\text{Na}_2\text{SO}_4) - 1$ мг/л,
 $j_v - 0.4$ А/л, $\text{pH} = 9$

Степень извлечения меди и никеля при добавлении в систему очищающей жидкости в небольшой концентрации 1 мг/л достигает 87%, но при повышении концентрации степень извлечения падает. Этот эффект связан с наличием в составе органического компонента гидрофильного компонента.

Таблица 3.14 – Степень электрофлотационного извлечения смеси гидроксидов никеля и меди в присутствии растворитель Р-5 в зависимости от концентрации, $\alpha\%$.

Время, мин	$\alpha, \%$							
	c (0 мг/л)		c (1 мг/л)		c (5 мг/л)		c (10 мг/л)	
	Cu	Ni	Cu	Ni	Cu	Ni	Cu	Ni
20	90	97	6	8	72	71	94	93
20+фильтрация	91	98	96	95	99	98	99	99

Условия эксперимента: $c(\text{Cu}^{2+}) - 50$ мг/л, $c(\text{Ni}^{2+}) - 50$ мг/л, $c(\text{Na}_2\text{SO}_4) - 1$ мг/л,
 $j_v - 0.4$ А/л, $\text{pH} = 9$

Растворитель Р-5 в высокой концентрации 10 мг/л улучшает процесс электрофлотации и степень извлечения достигает 94%.

Таблица 3.15 – Степень электрофлотационного извлечения смеси гидроксидов никеля и меди в присутствии лака в зависимости от концентрации, $\alpha\%$.

Время, мин	$\alpha, \%$							
	$c (0 \text{ мг/л})$		$c (1 \text{ мг/л})$		$c (5 \text{ мг/л})$		$c (10 \text{ мг/л})$	
	Cu	Ni	Cu	Ni	Cu	Ni	Cu	Ni
20	90	97	24	40	53	55	67	65
20+фильтрация	91	98	96	96	95	96	91	93

Условия эксперимента: $c (\text{Cu}^{2+}) - 50 \text{ мг/л}$, $c (\text{Ni}^{2+}) - 50 \text{ мг/л}$, $c (\text{Na}_2\text{SO}_4) - 1 \text{ мг/л}$,

$j_v - 0.4 \text{ А/л}$, $\text{pH} = 9$

Степень извлечения меди и никеля при добавлении в систему органического загрязнителя лак снижается по линейной зависимости с увеличением концентрации.

Таблица 3.16 – Степень электрофлотационного извлечения смеси гидроксидов никеля и меди в присутствии Пенетранта в зависимости от концентрации, $\alpha\%$.

Время, мин	$\alpha, \%$							
	$c (0 \text{ мг/л})$		$c (1 \text{ мг/л})$		$c (5 \text{ мг/л})$		$c (10 \text{ мг/л})$	
	Cu	Ni	Cu	Ni	Cu	Ni	Cu	Ni
20	90	97	92	86	78	81	83	83
20+фильтрация	91	98	99	98	97	98	81	83

Условия эксперимента: $c (\text{Cu}^{2+}) - 50 \text{ мг/л}$, $c (\text{Ni}^{2+}) - 50 \text{ мг/л}$, $c (\text{Na}_2\text{SO}_4) - 1 \text{ мг/л}$,

$j_v - 0.4 \text{ А/л}$, $\text{pH} = 9$

Пенетрант стабилизирует процесс электрофлотации ионов меди и никеля вне зависимости от концентрации органического загрязнителя.

Таблица 3.17 – Степень электрофлотационного извлечения смеси гидроксидов меди и никеля.

Орг. компоненты	$\alpha, \%$							
	$c (0\text{мг/л})$		$c (1\text{мг/л})$		$c (5\text{мг/л})$		$c (10\text{мг/л})$	
	Cu	Ni	Cu	Ni	Cu	Ni	Cu	Ni
<i>ОЖ-1</i>	90	97	87	85	64	69	43	40
<i>Пенетрант</i>	90	97	92	86	78	81	83	83
<i>Лак</i>	90	97	24	40	53	55	67	65
<i>Растворитель</i>	90	97	6	8	72	71	94	93

Условия эксперимента: $c (\text{Cu}^{2+}) - 50 \text{ мг/л}$, $c (\text{Ni}^{2+}) - 50 \text{ мг/л}$, $c (\text{Na}_2\text{SO}_4) - 1 \text{ мг/л}$,

$j_v - 0.4 \text{ А/л}$, $\tau = 20 \text{ минут}$, $\text{pH} = 9$

Органические компоненты в малой концентрации наиболее эффективно сработали, нежели в высокой концентрации в двухкомпонентной системе меди и никеля с сульфатом натрия.

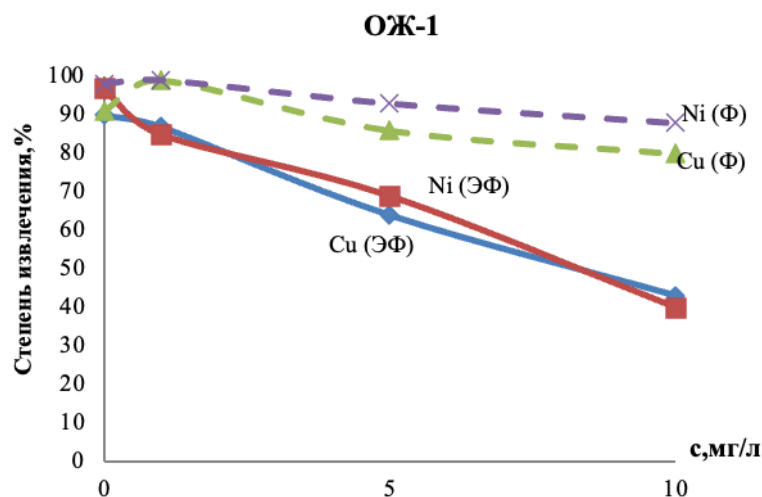
Таблица 3.18 – Степень электрофлотационного извлечения смеси гидроксидов меди и никеля.

Орг. компоненты	α , %							
	c (0мг/л)		c (1мг/л)		c (5мг/л)		c (10мг/л)	
	Cu	Ni	Cu	Ni	Cu	Ni	Cu	Ni
ОЖ-1	91	98	99	99	86	93	80	88
Пенетрант	91	98	99	98	97	98	81	83
Лак	91	98	96	96	95	96	91	93
Растворитель	91	98	96	95	99	98	99	99

Условия эксперимента: $c(\text{Cu}^{2+}) - 50 \text{ мг/л}$, $c(\text{Ni}^{2+}) - 50 \text{ мг/л}$, $c(\text{Na}_2\text{SO}_4) - 1 \text{ мг/л}$,

$j_v - 0.4 \text{ А/л}$, $\tau = 20 + \Phi$, $\text{pH} = 9$

В двухкомпонентной системе меди и никеля после электрофлотации при фильтрации все органические компоненты показали себя с лучшей стороны в маленькой и в большой концентрации.



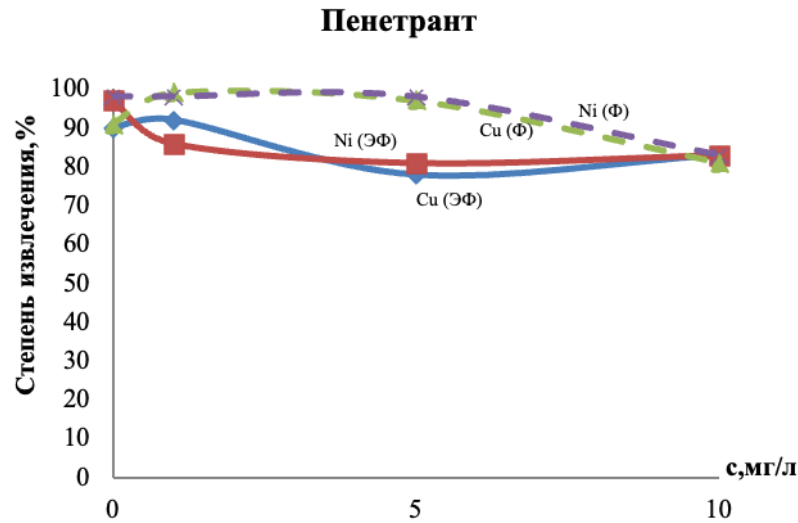
Условия эксперимента: $c(\text{Cu}^{2+}) - 50 \text{ мг/л}$, $c(\text{Ni}^{2+}) - 50 \text{ мг/л}$, $c(\text{Na}_2\text{SO}_4) - 1 \text{ мг/л}$,

$j_v - 0.4 \text{ А/л}$, $\tau = 20 \text{ мин}$, $\text{pH} = 9$, ЭФ – Электрофлотация, Ф – Последующая фильтрация

Рисунок 3.29 – Влияние концентрации очищающей жидкости ОЖ-1 на процесс электрофлотационного извлечения смеси гидроксидов меди и никеля.

При отсутствии органических компонентов степень извлечения труднорастворимых соединений меди и никеля достигает 95-97%.

При попадании в сточную воду очищающей жидкости ОЖ-1 концентрацией от 1 до 10 мг/л степень извлечения снижается по линейной зависимости и при максимальной концентрации 10 мг/л составляет до 40-43 %.

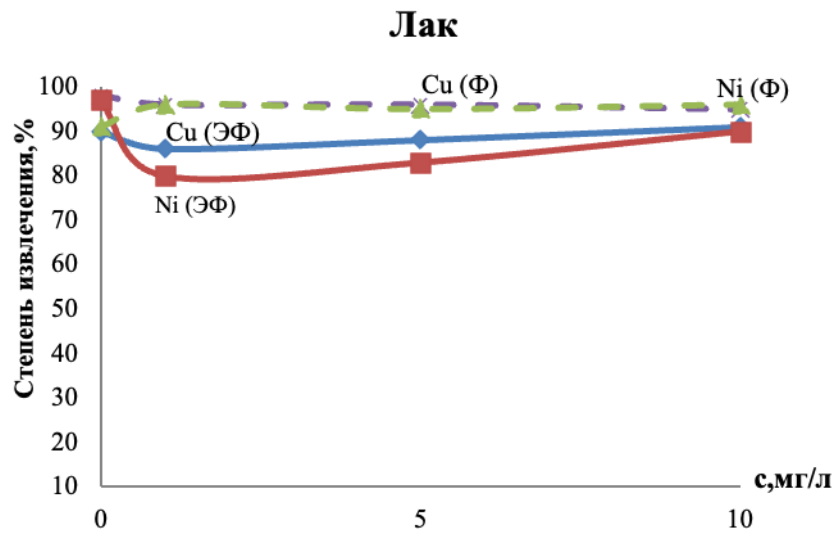


Условия эксперимента: $c(\text{Cu}^{2+}) - 50$ мг/л, $c(\text{Ni}^{2+}) - 50$ мг/л, $c(\text{Na}_2\text{SO}_4) - 1$ мг/л,

$j_v - 0.4$ А/л, $\tau = 20$ мин, $\text{pH} = 9$, ЭФ – Электрофлотация, Ф – Последующая фильтрация

Рисунок 3.30 – Влияние концентрации пенетранта ЛЖ-6А на процесс электрофлотационного извлечения смеси гидроксидов меди и никеля.

Пенетрант ЛЖ-6А снижает эффективность извлечения до 80 – 85% вне зависимости от его концентрации.

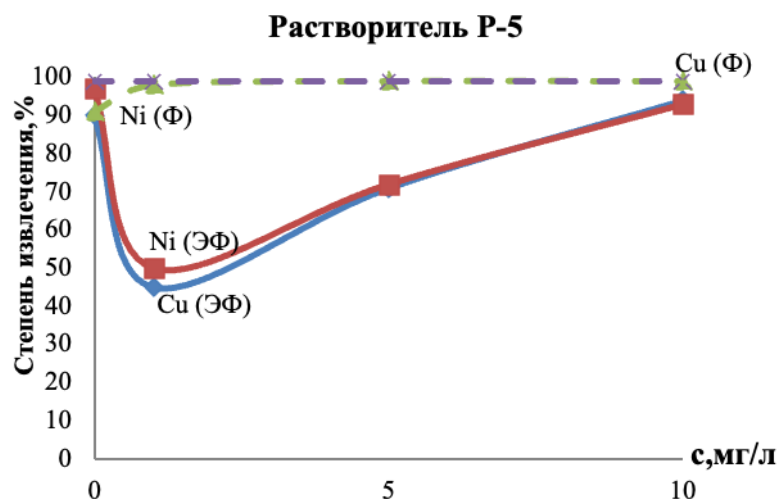


Условия эксперимента: $c(\text{Cu}^{2+}) - 50$ мг/л, $c(\text{Ni}^{2+}) - 50$ мг/л, $c(\text{Na}_2\text{SO}_4) - 1$ мг/л,

$j_v - 0.4$ А/л, $\tau = 20$ мин, $\text{pH} = 9$, ЭФ – Электрофлотация, Ф – Последующая фильтрация

Рисунок 3.31 – Влияние концентрации лака ФЛ-5111 на процесс электрофлотационного извлечения смеси гидроксидов меди и никеля.

Введение в модельную систему лака ФЛ-5111 концентрацией 1 мг/л приводит к снижению степени извлечения до 25 - 40%. Отметим, что влияние на гидроксид меди существеннее, чем на гидроксид никеля. Увеличение концентрации лака способствует росту степени извлечения и стабилизации процесса электрофлотации.



Условия эксперимента: $c(\text{Cu}^{2+}) - 50 \text{ мг/л}$, $c(\text{Ni}^{2+}) - 50 \text{ мг/л}$, $c(\text{Na}_2\text{SO}_4) - 1 \text{ мг/л}$,

$j_v - 0.4 \text{ А/л}$, $\tau = 20 \text{ мин}$, $\text{pH} = 9$, ЭФ – Электрофлотация, Ф – Последующая фильтрация

Рисунок 3.32 – Влияние концентрации растворителя Р-5 на процесс электрофлотационного извлечения смеси гидроксидов меди и никеля.

Добавление в модельный раствор растворителя Р-5 концентрацией 1 мг/л приводит к резкому падению степени извлечения до 10%. С дальнейшим увеличением его концентрации наблюдается рост степени извлечения до 70% при концентрации 5 мг/л и до 93-94% при 10 мг/л.

Для определения влияния органических компонентов на формирование дисперсной фазы были проведены исследования процессов фильтрации.

3.2.3. Влияние концентрации органических композиций на процесс электрофлотационного извлечения смеси гидроксидов Ni^{2+} - Zn^{2+}

Таблица 3.19 – Степень электрофлотационного извлечения смеси гидроксидов никеля и цинка в присутствии ОЖ-1 в зависимости от концентрации, $\alpha\%$.

Время, мин	$\alpha, \%$							
	$c (0 \text{ мг/л})$		$c (1 \text{ мг/л})$		$c (5 \text{ мг/л})$		$c (10 \text{ мг/л})$	
	Ni	Zn	Ni	Zn	Ni	Zn	Ni	Zn
20	43	48	76	76	70	64	84	83
20+фильтрация	98	94	99	97	94	80	98	96

Условия эксперимента: $c (Ni^{2+}) - 50\text{мг/л}$, $c (Zn^{2+}) - 50\text{мг/л}$, $c (Na_2SO_4) - 1 \text{ мг/л}$, $j_v - 0.4 \text{ А/л}$, $pH = 9$

При исследовании процесса фильтрации наблюдает рост степени извлечения до 99% во всем изученном диапазоне концентрации органического загрязнителя очищающей жидкости ОЖ-1. Ранее при электрофлотации положительное влияние наблюдалось только в концентрации 10 мг/л очищающей жидкости.

Таблица 3.20 – Степень электрофлотационного извлечения смеси гидроксидов никеля и цинка в присутствии Пенетранта в зависимости от концентрации, $\alpha\%$.

Время, мин	$\alpha, \%$							
	$c (0 \text{ мг/л})$		$c (1 \text{ мг/л})$		$c (5 \text{ мг/л})$		$c (10 \text{ мг/л})$	
	Ni	Zn	Ni	Zn	Ni	Zn	Ni	Zn
20	43	48	17	22	68	66	70	37
20+фильтрация	98	94	98	93	99	99	98	93

Условия эксперимента: $c (Ni^{2+}) - 50\text{мг/л}$, $c (Zn^{2+}) - 50\text{мг/л}$, $c (Na_2SO_4) - 1 \text{ мг/л}$, $j_v - 0.4 \text{ А/л}$, $pH = 9$

Положительное влияние оказал процесс фильтрации после 20 минут электрофлотации на электрофлотационное извлечение смеси гидроксидов никеля и цинка. Как видно из таблицы во всем диапазоне концентрации степень электрофлотации достигает до 99%.

Таблица 3.21 – Степень электрофлотационного извлечения смеси гидроксидов никеля и цинка в присутствии лака в зависимости от концентрации, $\alpha\%$.

Время, мин	$\alpha, \%$							
	c (0 мг/л)		c (1 мг/л)		c (5 мг/л)		c (10 мг/л)	
	Ni	Zn	Ni	Zn	Ni	Zn	Ni	Zn
20	43	48	41	16	76	75	90	89
20+фильтрация	98	94	94	70	95	92	99	96

Условия эксперимента: c (Ni^{2+}) - 50мг/л, c (Zn^{2+}) - 50мг/л, c (Na_2SO_4) - 1 мг/л, j_v - 0.4 А/л, рН = 9

При дополнительной фильтрации после процесса электрофлотации в 20 минут добавление в систему органического загрязнителя лак ФЛ-5111 оказывает положительное влияние на процесс электрофлотации и фильтрации во всем диапазоне концентрации.

Таблица 3.22 – Степень электрофлотационного извлечения смеси гидроксидов никеля и цинка в присутствии растворителя в зависимости от концентрации, $\alpha\%$.

Время, мин	$\alpha, \%$							
	c (0 мг/л)		c (1 мг/л)		c (5 мг/л)		c (10 мг/л)	
	Ni	Zn	Ni	Zn	Ni	Zn	Ni	Zn
20	43	48	64	60	73	44	43	44
20+фильтрация	98	94	98	96	82	76	98	74

Условия эксперимента: c (Ni^{2+}) - 50мг/л, c (Zn^{2+}) - 50мг/л, c (Na_2SO_4) - 1 мг/л, j_v - 0.4 А/л, рН = 9

Положительное влияние оказывает добавление в систему органического загрязнителя растворитель Р-5 и проведение последующей фильтрации после 20 минут электрофлотации. Из таблицы видно, что при концентрации 1 мг/л электрофлотационное извлечение смеси гидроксидов никеля и цинка достигает 98%.

Таблица 3.23 – Влияние концентрации органических композиций на эффективность извлечения смеси гидроксидов цинка и никеля.

Орг. компоненты	α , %							
	с (0мг/л)		с (1мг/л)		с (5мг/л)		с (10мг/л)	
	Zn ²⁺	Ni ²⁺	Zn ²⁺	Ni ²⁺	Zn ²⁺	Ni ²⁺	Zn ²⁺	Ni ²⁺
<i>ОЖ-1</i>	43	48	76	76	70	64	84	83
<i>Пенетрант</i>	43	48	17	22	68	66	70	37
<i>Лак</i>	43	48	41	16	76	75	90	89
<i>Растворитель</i>	43	48	64	60	73	44	43	44

Условия эксперимента: $c(\text{Ni}^{2+}) - 50\text{мг/л}$, $c(\text{Zn}^{2+}) - 50\text{мг/л}$, $c(\text{Na}_2\text{SO}_4) - 1\text{ мг/л}$, $j_v - 0.4\text{ А/л}$, $\tau = 20$, $\text{pH} = 9$

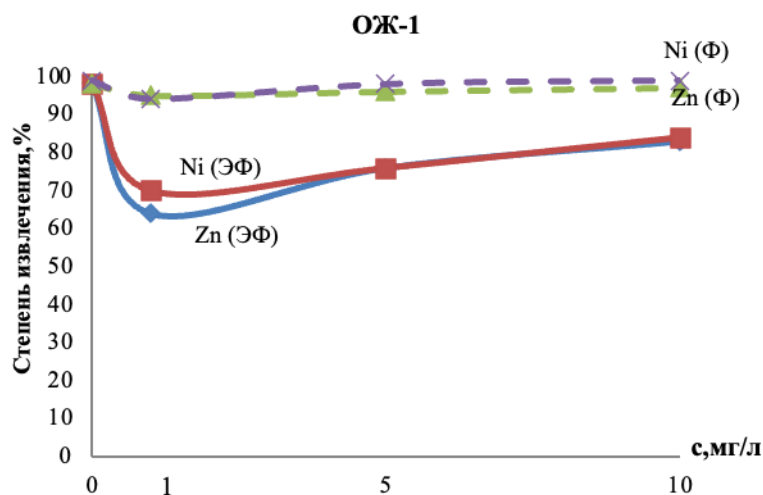
Органические компоненты, кроме растворителя Р-5, в концентрации 10 мг/л сработали как улучшающая добавка для двухкомпонентной системы никеля и цинка и максимальная степень извлечения достигает 90%.

Таблица 3.24 – Влияние последующей фильтрации на эффективность извлечения смеси гидроксидов цинка и никеля в присутствии органических композиций.

Орг. компоненты	α , %							
	с (0мг/л)		с (1мг/л)		с (5мг/л)		с (10мг/л)	
	Zn ²⁺	Ni ²⁺	Zn ²⁺	Ni ²⁺	Zn ²⁺	Ni ²⁺	Zn ²⁺	Ni ²⁺
<i>ОЖ-1</i>	98	94	99	97	94	80	98	96
<i>Пенетрант</i>	98	94	98	93	99	99	98	93
<i>Лак</i>	98	94	94	70	95	92	99	96
<i>Растворитель</i>	98	94	98	96	82	76	98	74

Условия эксперимента: $c(\text{Ni}^{2+}) - 50\text{мг/л}$, $c(\text{Zn}^{2+}) - 50\text{мг/л}$, $c(\text{Na}_2\text{SO}_4) - 1\text{ мг/л}$, $j_v - 0.4\text{ А/л}$, $\tau=20+\Phi$, $\text{pH} = 9$

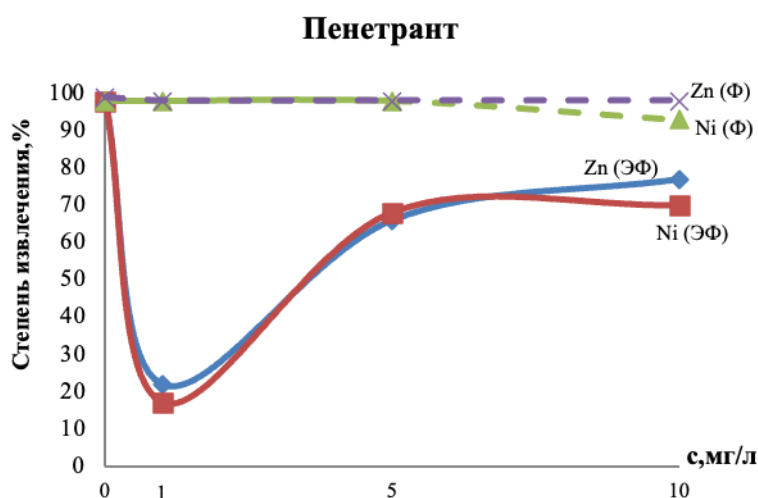
Последующая фильтрация позволяет достичь максимальной степени эффективности во всем диапазоне концентраций при добавлении органических загрязнителей лак, пенетрант, очищающая жидкость и растворитель для извлечения смеси гидроксидов никеля и цинка.



Условия эксперимента: $c(\text{Ni}^{2+}) - 50\text{мг/л}$, $c(\text{Zn}^{2+}) - 50\text{мг/л}$, $c(\text{Na}_2\text{SO}_4) - 1\text{ мг/л}$, $j_v - 0.4\text{ А/л}$, $\tau = 20\text{ мин}$, $\text{pH} = 9$, ЭФ – Электрофлотация, Ф – Последующая фильтрация

Рисунок 3.33 – Влияние концентрации очищающей жидкости ОЖ-1 на процесс электрофлотационного извлечения смеси гидроксидов цинка и никеля.

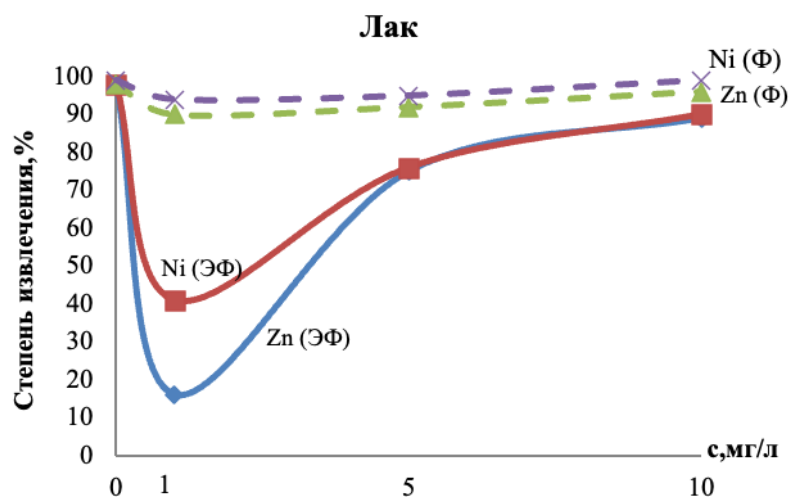
Как видно из графика, при электрофлотации очищающая жидкость ОЖ-1 стабилизирует процесс электрофлотации.



Условия эксперимента: $c(\text{Ni}^{2+}) - 50\text{мг/л}$, $c(\text{Zn}^{2+}) - 50\text{мг/л}$, $c(\text{Na}_2\text{SO}_4) - 1\text{ мг/л}$, $j_v - 0.4\text{ А/л}$, $\tau = 20\text{ мин}$, $\text{pH} = 9$, ЭФ – Электрофлотация, Ф – Последующая фильтрация

Рисунок 3.34 – Влияние концентрации пенетранта ЛЖ-6А на процесс электрофлотационного извлечения смеси гидроксидов цинка и никеля.

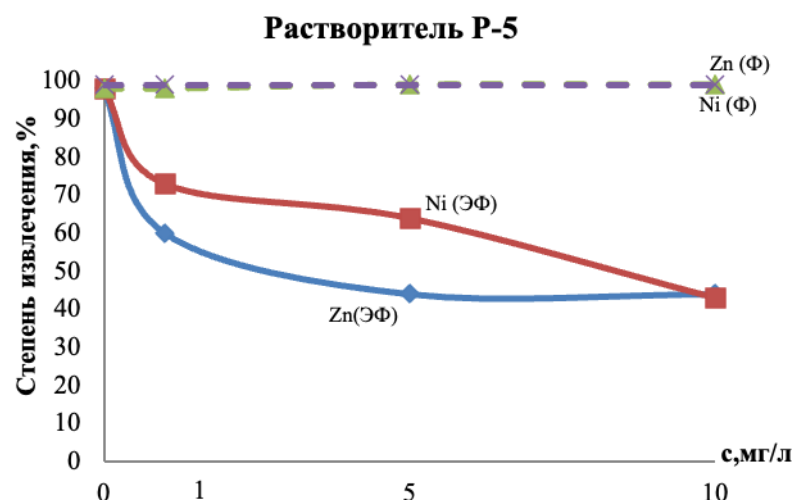
Добавление в систему органического загрязнителя пенетрант не приводит к улучшению процесса электрофлотационной очистки смеси гидроксидов никеля и цинка.



Условия эксперимента: $c(\text{Ni}^{2+}) - 50\text{мг/л}$, $c(\text{Zn}^{2+}) - 50\text{мг/л}$, $c(\text{Na}_2\text{SO}_4) - 1\text{ мг/л}$, $j_v - 0.4\text{ А/л}$, $\tau = 20\text{ мин}$, $\text{pH} = 9$, ЭФ – Электрофлотация, Ф – Последующая фильтрация

Рисунок 3.35 – Влияние концентрации лака ФЛ-5111 на процесс электрофлотационного извлечения смеси гидроксидов цинка и никеля.

При добавлении в систему органического загрязнителя лак ФЛ-5111 процесс электрофлотации протекает наиболее эффективно при концентрации 10 мг/л и достигает 90%.



Условия эксперимента: $c(\text{Ni}^{2+}) - 50\text{мг/л}$, $c(\text{Zn}^{2+}) - 50\text{мг/л}$, $c(\text{Na}_2\text{SO}_4) - 1\text{ мг/л}$, $j_v - 0.4\text{ А/л}$, $\tau = 20\text{ мин}$, $\text{pH} = 9$, ЭФ – Электрофлотация, Ф – Последующая фильтрация

Рисунок 3.36 – Влияние концентрации растворителя Р-5 на процесс электрофлотационного извлечения смеси гидроксидов цинка и никеля.

Растворитель Р-5 ухудшает процесс электрофлотации смеси гидроксидов никеля и цинка по линейной зависимости.

3.3. Определение условий для эффективного протекания электрофлотационного процесса в электролитах Na_2SO_4 , $\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$, NaNO_3 и Na_3PO_4 для систем трёхкомпонентов (Cu^{2+} - Ni^{2+} - Zn^{2+})

3.3.1. Определение условий для эффективного протекания электрофлотационного процесса в электролите Na_2SO_4 для трёхкомпонентных систем

Таблица 3.25 – Влияние катионного ПАВ КатаПАВ на степень электрофлотационного извлечения смеси трехкомпонентной системы меди, никеля и цинка в зависимости от pH, α , %.

Электролит		5 мин		20 мин	
		С КатаПАВ _(к)	Без добавок	С КатаПАВ _(к)	Без добавок
pH=8	Cu	64	77	91	96
	Ni	1	23	9	31
	Zn	3	41	9	52
pH=9	Cu	2	76	16	99
	Ni	1	27	13	86
	Zn	2	80	16	98
pH=10	Cu	9	91	20	96
	Ni	14	90	23	95
	Zn	10	67	16	91
pH=11	Cu	15	46	35	85
	Ni	16	39	36	78
	Zn	25	38	41	79

Условия эксперимента: $c(\text{Cu}^{2+}) - 30\text{мг/л}$, $c(\text{Ni}^{2+}) - 30\text{мг/л}$, $c(\text{Zn}^{2+}) - 30\text{мг/л}$,
 $c(\text{Na}_2\text{SO}_4) - 1\text{ г/л}$, $c(\text{Орг.}) - 5\text{мг/л}$, $j_v - 0.4\text{ А/л}$

Процесс электрофлотации без добавок проходит наиболее эффективно и стабильно, нежели если добавлять катионный ПАВ КатаПАВ во всем диапазоне pH.

Таблица 3.26 – Влияние катионного ПАВ СептаПАВ на степень электрофлотационного извлечения смеси трехкомпонентной системы меди, никеля и цинка в зависимости от pH, α , %.

Электролит		5 мин		20 мин	
		С СептаПАВ _(к)	Без добавок	С СептаПАВ _(к)	Без добавок
pH=8	Cu	67	77	93	96
	Ni	17	23	26	31
	Zn	21	41	31	52
pH=9	Cu	25	76	92	99
	Ni	9	27	38	86
	Zn	20	80	69	98
pH=10	Cu	1	91	60	96
	Ni	4	90	60	95
	Zn	1	67	58	91
pH=11	Cu	23	46	33	85
	Ni	22	39	33	78
	Zn	25	38	35	79

Условия эксперимента: $c(\text{Cu}^{2+}) - 30\text{мг/л}$, $c(\text{Ni}^{2+}) - 30\text{мг/л}$, $c(\text{Zn}^{2+}) - 30\text{мг/л}$,
 $c(\text{Na}_2\text{SO}_4) - 1\text{ г/л}$, $c(\text{Орг.}) - 5\text{мг/л}$, $j_v - 0.4\text{ А/л}$

Катионный ПАВ СептаПАВ так же не оказал положительного влияния на процесс электрофлотационного извлечения смеси гидроксидов меди, цинка и никеля за 5 минут и за 20 минут электрофлотации.

Таблица 3.27 – Влияние катионного флокулянта на степень электрофлотационного извлечения смеси трехкомпонентной системы меди, никеля и цинка в зависимости от pH, α , %.

Электролит		5 мин		20 мин	
		С Флокуляетом _(к)	без добавок	С Флокуляетом _(к)	без добавок
pH=8	Cu	76	77	89	96
	Ni	7	23	12	31
	Zn	9	41	14	52
pH=9	Cu	75	76	80	99
	Ni	44	27	48	86
	Zn	76	80	81	98
pH=10	Cu	89	91	95	96
	Ni	87	90	93	95
	Zn	91	67	98	91
pH=11	Cu	92	46	98	85
	Ni	92	39	97	78
	Zn	91	38	98	79

Условия эксперимента: $c(\text{Cu}^{2+}) - 30\text{мг/л}$, $c(\text{Ni}^{2+}) - 30\text{мг/л}$, $c(\text{Zn}^{2+}) - 30\text{мг/л}$,
 $c(\text{Na}_2\text{SO}_4) - 1\text{ г/л}$, $c(\text{Флок}) - 5\text{мг/л}$, $j_v - 0.4\text{ А/л}$

При добавлении в систему катионного флокулянта Zetag-8160 процесс электрофлотации наиболее эффективно проходит при рН-10 и рН-11.

Таблица 3.28 – Влияние катионных ПАВ и флокулянта на степень электрофлотационного извлечения смеси трехкомпонентной системы меди, никеля и цинка в зависимости от рН, α ,%.

Электролит		Без добавок		С ПАВ (КатаПАВ)		С ПАВ (СептаПАВ)		С Флокулянтом (Zetag-8160)	
		5 мин	20 мин	5 мин	20 мин	5 мин	20 мин	5 мин	20 мин
рН=8	Cu	77	96	64	91	67	93	76	89
	Ni	23	31	1	9	17	26	7	12
	Zn	41	52	3	9	21	31	9	14
рН=9	Cu	76	99	2	16	25	92	75	80
	Ni	27	86	1	13	9	38	44	48
	Zn	80	98	2	16	20	69	76	81
рН=10	Cu	91	96	9	20	1	60	89	95
	Ni	90	95	14	23	4	60	87	93
	Zn	67	91	10	16	1	58	91	98
рН=11	Cu	46	85	15	35	23	33	92	98
	Ni	39	78	16	36	22	33	92	97
	Zn	38	79	25	41	25	35	91	98

Условия эксперимента: $c(\text{Cu}^{2+}) - 30\text{мг/л}$, $c(\text{Ni}^{2+}) - 30\text{мг/л}$, $c(\text{Zn}^{2+}) - 30\text{мг/л}$, $c(\text{Na}_2\text{SO}_4) - 1\text{ г/л}$, $c(\text{ПАВ/Флок}) - 5\text{мг/л}$, $j_v - 0.4\text{ А/л}$

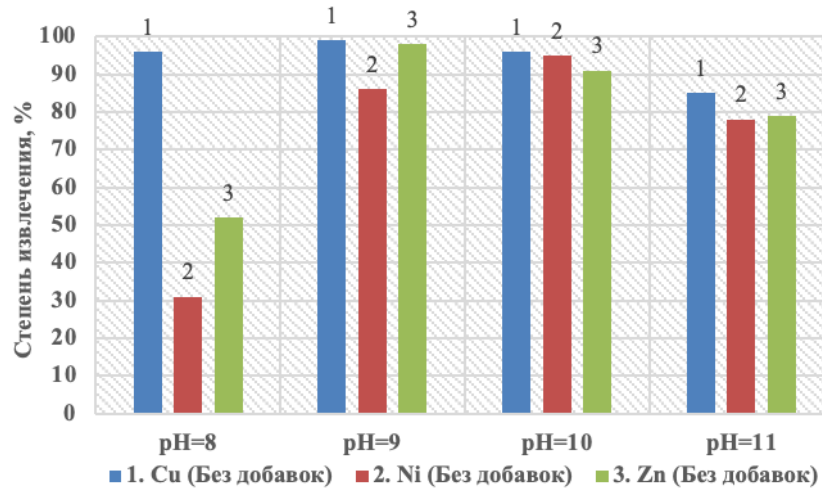
Без добавления катионных ПАВ и флокулянта процесс электрофлотации протекает стабильно и эффективно во всем диапазоне рН. Однако, при добавлении катионных ПАВ процесс ухудшается. При добавлении катионного флокулянта Zeetag 8160 процесс протекает наиболее эффективно при рН-10 и рН-11.

Таблица 3.29 – Влияние катионных ПАВ и флокулянта на степень электрофлотационного извлечения смеси трехкомпонентной системы меди, никеля и цинка в зависимости от pH, α , %.

Время, мин	α , %											
	pH=8			pH=9			pH=10			pH=11		
	Cu	Ni	Zn	Cu	Ni	Zn	Cu	Ni	Zn	Cu	Ni	Zn
Без добавок												
5	77	23	41	76	27	80	91	90	67	46	39	38
10	92	25	51	98	85	97	93	92	74	51	42	43
20	96	31	52	99	86	98	96	95	91	85	78	79
20+фильтрация	98	39	63	99	93	99	99	96	98	99	96	98
С ПАВ (КатаПАВ) _(к)												
5	64	1	3	2	1	2	9	14	10	15	16	25
10	89	6	8	4	2	3	10	15	14	20	20	28
20	91	9	9	16	13	16	20	23	16	35	36	41
20+фильтрация	98	21	22	98	88	94	99	98	99	89	96	88
С ПАВ (СептаПАВ) _(к)												
5	67	17	21	25	9	20	1	4	1	23	22	25
10	88	24	27	81	25	59	4	5	4	27	23	28
20	93	26	31	92	38	69	60	60	58	33	33	35
20+фильтрация	98	40	45	98	49	82	97	98	98	99	98	99
С ПАВ (Флокулянт 8160) _(к)												
5	76	7	9	75	44	76	89	87	91	92	92	91
10	80	10	12	80	47	80	92	90	96	97	96	97
20	89	12	14	80	48	81	95	93	98	98	97	98
20+фильтрация	91	19	23	90	71	96	98	96	99	99	99	99

Условия эксперимента: $c(\text{Cu}^{2+}) - 30\text{мг/л}$, $c(\text{Ni}^{2+}) - 30\text{мг/л}$, $c(\text{Zn}^{2+}) - 30\text{мг/л}$, $c(\text{Na}_2\text{SO}_4) - 1\text{ г/л}$, $c(\text{ПАВ/Флок}) - 5\text{мг/л}$, $j_v - 0.4\text{ А/л}$

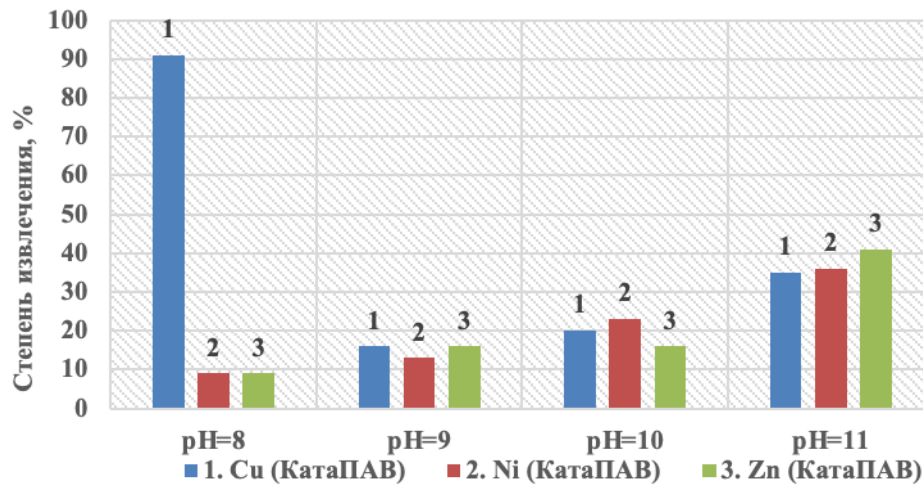
При электрофлотационном извлечении смеси гидроксидов меди, никеля и цинка процесс протекает стабильно и эффективно без каких-либо добавок. Наиболее эффективно при электрофлотации срабатывает катионный флокулянт Zeetag 8160 при pH-10 и pH-11. Катионный ПАВ КатаПАВ и СептаПАВ не дали положительных результатов.



Условия эксперимента: $c(\text{Cu}^{2+}) - 30\text{мг/л}$, $c(\text{Ni}^{2+}) - 30\text{мг/л}$, $c(\text{Zn}^{2+}) - 30\text{мг/л}$,
 $c(\text{Na}_2\text{SO}_4) - 1\text{ г/л}$, $\tau = 20\text{ мин}$, $j_v - 0.4\text{ А/л}$

Рисунок 3.37 – Влияние pH среды на эффективность электрофлотационного извлечения смеси труднорастворимых соединений Cu, Ni и Zn без добавок.

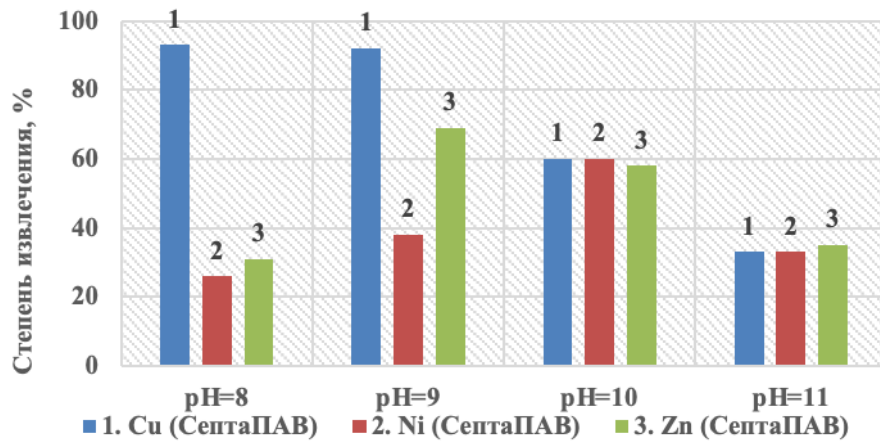
Как видно из графика, без добавления катионных ПАВ и флокулянта процесс электрофлотации протекает наиболее эффективно в диапазоне pH 9, 10 и 11, что объясняется гидроксидообразованием данных металлов в этой области pH.



Условия эксперимента: $c(\text{Cu}^{2+}) - 30\text{мг/л}$, $c(\text{Ni}^{2+}) - 30\text{мг/л}$, $c(\text{Zn}^{2+}) - 30\text{мг/л}$,
 $c(\text{Na}_2\text{SO}_4) - 1\text{ г/л}$, $c(\text{КатаПАВ}) - 5\text{мг/л}$, $\tau = 20\text{ мин}$, $j_v - 0.4\text{ А/л}$

Рисунок 3.38 – Влияние pH среды на эффективность электрофлотационного извлечения смеси труднорастворимых соединений Cu, Ni и Zn в присутствии катионного ПАВ КатаПАВ.

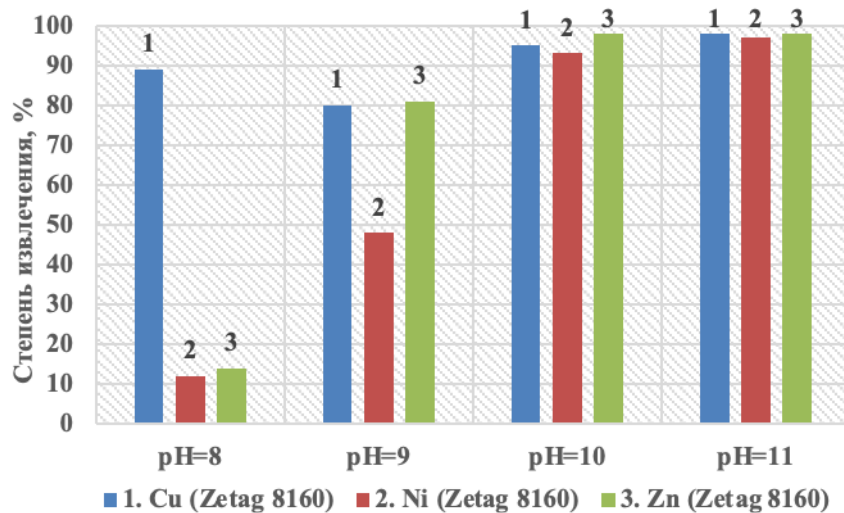
При добавлении в систему катионных ПАВ КатаПАВ степень электрофлотационного извлечения металлов меди, никеля и цинка падает и не превышает 40%.



Условия эксперимента: $c(\text{Cu}^{2+}) - 30\text{мг/л}$, $c(\text{Ni}^{2+}) - 30\text{мг/л}$, $c(\text{Zn}^{2+}) - 30\text{мг/л}$,
 $c(\text{Na}_2\text{SO}_4) - 1\text{ г/л}$, $c(\text{СептаПАВ}) - 5\text{мг/л}$, $\tau = 20\text{ мин}$, $j_v - 0.4\text{ А/л}$

Рисунок 3.39 – Влияние pH среды на эффективность электрофлотационного извлечения смеси труднорастворимых соединений Cu, Ni и Zn в присутствии катионного ПАВ СептаПАВ.

При добавлении в систему катионного ПАВ СептаПАВ процесс электрофлотации смеси трехкомпонентной системы меди, цинка и никеля улучшается только при pH-9.



Условия эксперимента: $c(\text{Cu}^{2+}) - 30\text{мг/л}$, $c(\text{Ni}^{2+}) - 30\text{мг/л}$, $c(\text{Zn}^{2+}) - 30\text{мг/л}$,
 $c(\text{Na}_2\text{SO}_4) - 1\text{ г/л}$, $c(\text{Флокулянт}) - 5\text{мг/л}$, $\tau = 20\text{ мин}$, $j_v - 0.4\text{ А/л}$

Рисунок 3.40 – Влияние pH среды на эффективность электрофлотационного извлечения смеси труднорастворимых соединений Cu, Ni и Zn в присутствии катионного флокулянта.

На графике показано электрофлотационное извлечение трехкомпонентной системы меди, никеля и цинка. Процесс электрофлотации с добавлением катионного флокулянта Zetag-8160 улучшает процесс при pH-10 и pH-11.

3.3.2. Определение условий для эффективного протекания электрофлотационного процесса в электролитах $\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ для систем Cu^{2+} - Ni^{2+} - Zn^{2+} .

Таблица 3.30 – Влияние катионного ПАВ КатаПАВ на степень электрофлотационного извлечения смеси трехкомпонентной системы меди, никеля и цинка в зависимости от pH в присутствии $\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$, α , %.

Электролит		5 мин		20 мин	
		С КатаПАВ _(к)	Без добавок	С КатаПАВ _(к)	Без добавок
pH=8	Cu	20	62	92	71
	Ni	67	39	73	52
	Zn	62	34	65	42
pH=9	Cu	38	45	96	88
	Ni	43	38	86	78
	Zn	41	42	95	85
pH=10	Cu	66	79	97	93
	Ni	89	80	97	95
	Zn	92	85	98	96
pH=11	Cu	24	93	42	97
	Ni	10	94	27	99
	Zn	8	94	19	98

Условия эксперимента: $c(\text{Cu}^{2+}) - 30 \text{ мг/л}$, $c(\text{Ni}^{2+}) - 30 \text{ мг/л}$, $c(\text{Zn}^{2+}) - 30 \text{ мг/л}$,
 $c(\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}) - 500 \text{ мг/л}$, $c(\text{ПАВ}) - 5 \text{ мг/л}$, $j_v - 0.4 \text{ А/л}$

Катионный ПАВ КатаПАВ положительно влияет на электрофлотационный процесс извлечения трехкомпонентной системы меди, никеля и цинка в присутствии $\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$.

Таблица 3.31 – Влияние катионного ПАВ СептаПАВ на степень электрофлотационного извлечения смеси трехкомпонентной системы меди, никеля и цинка в зависимости от pH в присутствии лиганда $\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$, α , %.

Электролит		5 мин		20 мин	
		С СептаПАВ _(к)	Без добавок	С СептаПАВ _(к)	Без добавок
pH=8	Cu	95	62	97	71
	Ni	32	39	58	52
	Zn	86	34	88	42
pH=9	Cu	81	45	96	88
	Ni	51	38	65	78
	Zn	91	42	94	85
pH=10	Cu	97	79	98	93
	Ni	20	80	47	95
	Zn	88	85	91	96
pH=11	Cu	34	93	54	97
	Ni	25	94	59	99
	Zn	41	94	78	98

Условия эксперимента: $c(\text{Cu}^{2+}) - 30\text{мг/л}$, $c(\text{Ni}^{2+}) - 30\text{мг/л}$, $c(\text{Zn}^{2+}) - 30\text{мг/л}$,
 $c(\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}) - 500\text{ мг/л}$, $c(\text{ПАВ}) - 5\text{мг/л}$, $j_v - 0.4\text{ А/л}$

Так же как и в присутствии катионного ПАВ КатаПАВ – катионный ПАВ СептаПАВ улучшает процесс электрофлотационного извлечения трехкомпонентной системы меди, никеля и цинка в присутствии $\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$.

Таблица 3.32 – Влияние флокулянта на степень электрофлотационного извлечения смеси трехкомпонентной системы меди, никеля и цинка в зависимости от pH в присутствии $\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$, α , %.

Электролит		5 мин		20 мин	
		С Флок _(к)	Без добавок	С Флок _(к)	Без добавок
pH=8	Cu	59	62	88	71
	Ni	85	39	85	52
	Zn	38	34	60	42
pH=9	Cu	61	45	91	88
	Ni	87	38	92	78
	Zn	72	42	94	85
pH=10	Cu	24	79	51	93
	Ni	97	80	98	95
	Zn	30	85	55	96
pH=11	Cu	19	93	32	97
	Ni	36	94	74	99
	Zn	20	94	39	98

Условия эксперимента: $c(\text{Cu}^{2+}) - 30\text{мг/л}$, $c(\text{Ni}^{2+}) - 30\text{мг/л}$, $c(\text{Zn}^{2+}) - 30\text{мг/л}$,
 $c(\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}) - 500\text{ мг/л}$, $c(\text{Флок}) - 5\text{мг/л}$, $j_v - 0.4\text{ А/л}$

При введении в систему $\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ и катионного флокулянта Zetag-8160 процесс электрофлотации протекает эффективно.

Таблица 3.33 – Влияние катионных ПАВ и флокулянта на степень электрофлотационного извлечения смеси трехкомпонентной системы меди, никеля и цинка в зависимости от pH в присутствии $\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$, $\alpha, \%$.

Электролит		Без добавок		С ПАВ (КатаПАВ)		С ПАВ (СептаПАВ)		С Флокулятом (Zetag-8160)	
		5 мин	20 мин	5 мин	20 мин	5 мин	20 мин	5 мин	20 мин
pH=8	Cu	62	71	20	92	95	97	59	88
	Ni	39	52	67	73	32	58	85	85
	Zn	34	42	62	65	86	88	38	60
pH=9	Cu	45	88	38	96	81	96	61	91
	Ni	38	78	43	86	51	65	87	92
	Zn	42	85	41	95	91	94	72	94
pH=10	Cu	79	93	66	97	97	98	24	51
	Ni	80	95	89	97	20	47	97	98
	Zn	85	96	92	98	88	91	30	55
pH=11	Cu	93	97	24	42	34	54	19	32
	Ni	94	99	10	27	25	59	36	74
	Zn	94	98	8	19	41	78	20	39

Условия эксперимента: $c(\text{Cu}^{2+}) - 30\text{мг/л}$, $c(\text{Ni}^{2+}) - 30\text{мг/л}$, $c(\text{Zn}^{2+}) - 30\text{мг/л}$,
 $c(\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}) - 500\text{мг/л}$, $c(\text{ПАВ/Флок}) - 5\text{мг/л}$, $j_v - 0.4 \text{ А/л}$

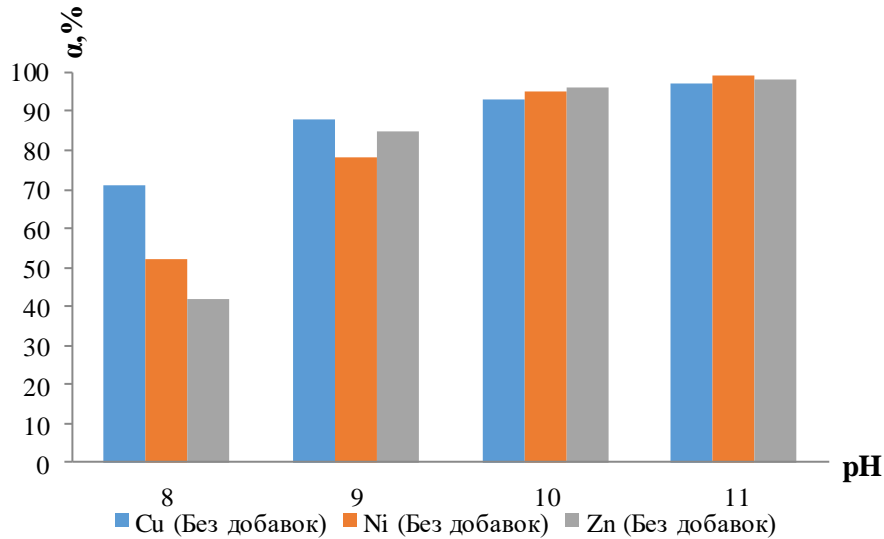
Электрофлотационное извлечение трехкомпонентной системы меди, никеля и цинка протекает наиболее эффективно при pH-10 с добавлением в систему катионного ПАВ КатаПАВ совместно с $\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$.

Таблица 3.34 – Степень электрофлотационного извлечения гидроксидов Cu, Ni и Zn зависимости от pH, $\alpha\%$.

Время, мин	$\alpha, \%$											
	pH 8			pH 9			pH 10			pH 11		
	Cu	Ni	Zn	Cu	Ni	Zn	Cu	Ni	Zn	Cu	Ni	Zn
Без добавок												
5	62	39	34	45	38	42	79	80	85	93	94	94
10	68	49	39	69	64	67	88	90	93	96	98	98
20	71	52	42	88	78	85	93	95	96	97	99	98
20+фильтрация	86	59	48	98	93	98	98	99	99	99	99	99
С ПАВ (КатаПАВ)к												
5	20	67	62	38	43	41	66	89	92	24	10	8
10	87	70	65	91	80	89	92	95	92	31	18	16
20	92	73	65	96	86	95	97	97	98	42	27	19
20+фильтрация	94	84	79	98	88	96	99	99	99	78	77	72
С ПАВ (СептаПАВ)к												
5	95	32	86	81	51	91	97	20	88	34	25	41
10	96	48	88	95	63	93	98	37	91	40	33	54
20	97	58	88	96	65	94	98	47	91	54	59	78
20+фильтрация	99	82	95	99	90	99	99	99	96	99	97	99
С ПАВ (Флокулянт 8160)к												
5	59	85	38	61	87	72	24	97	30	19	36	20
10	61	85	57	86	90	90	34	98	42	28	49	29
20	88	85	60	91	92	94	51	98	55	32	74	39
20+фильтрация	98	93	86	98	97	99	98	99	99	98	99	98

Условия эксперимента: $c(\text{Cu}^{2+}) - 30\text{мг/л}$, $c(\text{Ni}^{2+}) - 30\text{мг/л}$, $c(\text{Zn}^{2+}) - 30\text{мг/л}$,
 $c(\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}) - 500\text{мг/л}$, $c(\text{ПАВ/Флок}) - 5\text{мг/л}$, $j_v - 0.4 \text{ А/л}$

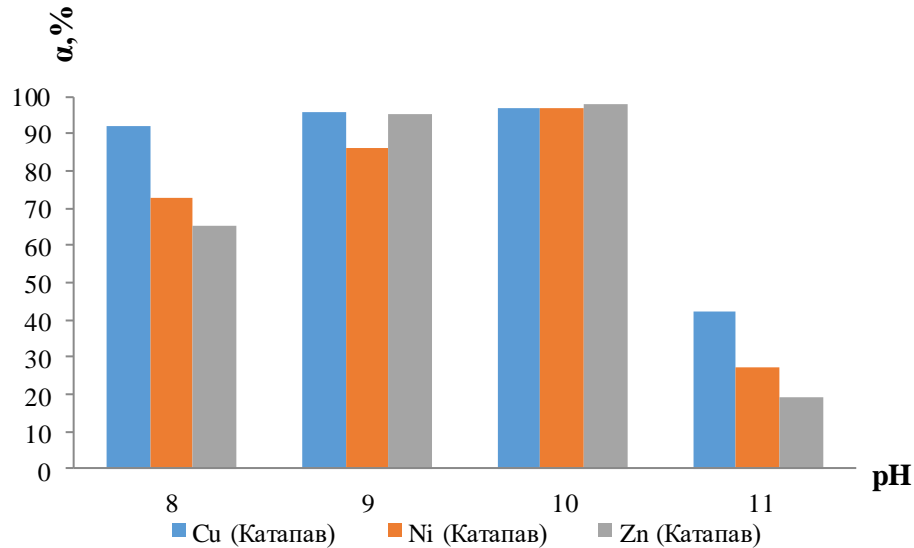
Из данных в таблице видно, что без добавления в систему с $\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ процесс электрофлотационного извлечения смеси трехкомпонентной системы меди, никеля и цинка протекает наиболее эффективно при pH 10 и 11. Однако, при добавлении в систему катионного ПАВ КатаПАВ процесс улучшается и протекает эффективно при pH 9 и 10. Введение в систему катионного флокулянта позволяет получить максимальную степень извлечения трех компонентов при pH-9.



Условия эксперимента: $c(\text{Cu}^{2+}) - 30\text{мг/л}$, $c(\text{Ni}^{2+}) - 30\text{мг/л}$, $c(\text{Zn}^{2+}) - 30\text{мг/л}$,
 $c(\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}) - 500\text{ мг/л}$, $c(\text{Орг.}) - 5\text{мг/л}$, $\tau = 20\text{ мин}$, $j_v - 0.4\text{ А/л}$

Рисунок 3.41 – Влияние pH среды на эффективность электрофлотационного извлечения смеси труднорастворимых соединений Cu, Ni и Zn без добавок.

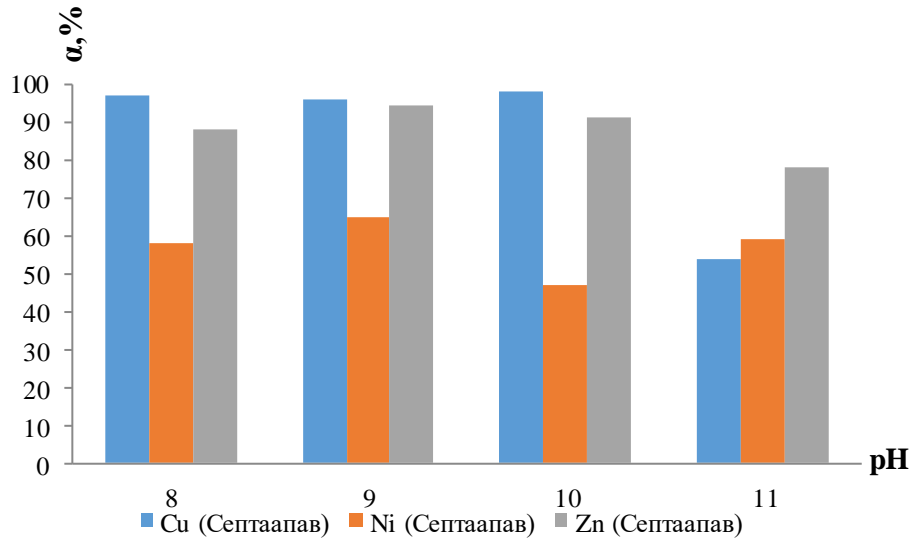
При добавлении в систему $\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ процесс электрофлотации без добавок катионных ПАВ и флокулянта протекает наиболее эффективно при pH 9, 10 и 11.



Условия эксперимента: $c(\text{Cu}^{2+}) - 30\text{мг/л}$, $c(\text{Ni}^{2+}) - 30\text{мг/л}$, $c(\text{Zn}^{2+}) - 30\text{мг/л}$,
 $c(\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}) - 500\text{ мг/л}$, $c(\text{КатаПАВ}) - 5\text{мг/л}$, $\tau = 20\text{ мин}$, $j_v - 0.4\text{ А/л}$

Рисунок 3.42 – Влияние pH среды на эффективность электрофлотационного извлечения смеси труднорастворимых соединений Cu, Ni и Zn в присутствии катионного ПАВ КатаПАВ.

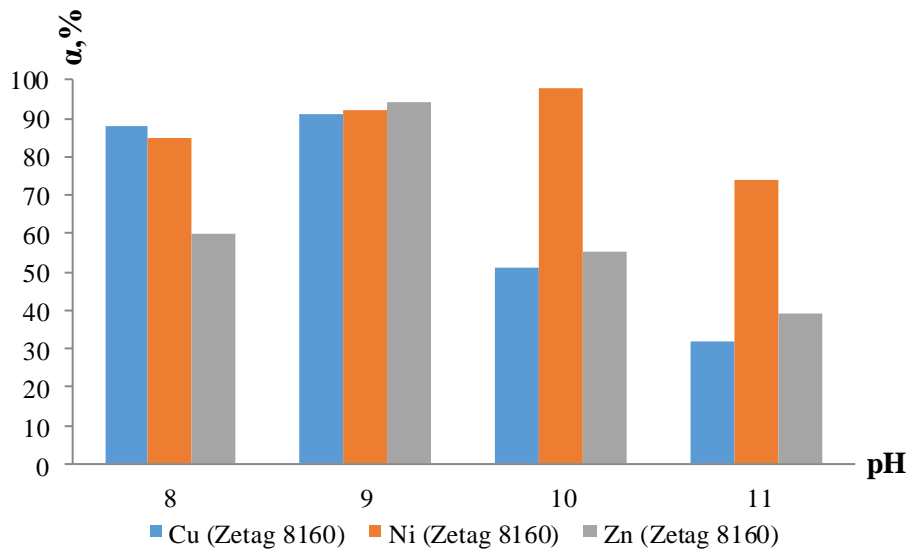
С добавлением катионного ПАВ КатаПАВ процесс электрофлотации протекает стабильно и эффективно в диапазоне pH 8, 9 и 10.



Условия эксперимента: $c(\text{Cu}^{2+}) - 30\text{мг/л}$, $c(\text{Ni}^{2+}) - 30\text{мг/л}$, $c(\text{Zn}^{2+}) - 30\text{мг/л}$,
 $c(\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}) - 500\text{ мг/л}$, $c(\text{СептаПАВ}) - 5\text{мг/л}$, $\tau = 20\text{ мин}$, $j_v - 0.4\text{ А/л}$

Рисунок 3.43 – Влияние pH среды на эффективность электрофлотационного извлечения смеси труднорастворимых соединений Cu, Ni и Zn в присутствии катионного ПАВ СептаПАВ.

Катионный ПАВ СептаПАВ стабилизирует процесс электрофлотационного извлечения трехкомпонентной системы меди, никеля и цинка в присутствии $\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ во всем диапазоне pH.



Условия эксперимента: $c(\text{Cu}^{2+}) - 30\text{мг/л}$, $c(\text{Ni}^{2+}) - 30\text{мг/л}$, $c(\text{Zn}^{2+}) - 30\text{мг/л}$,
 $c(\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}) - 500\text{ мг/л}$, $c(\text{Zetag-8160}) - 5\text{мг/л}$, $\tau = 20\text{ мин}$, $j_v - 0.4\text{ А/л}$

Рисунок 3.44 – Влияние pH среды на эффективность электрофлотационного извлечения смеси труднорастворимых соединений Cu, Ni и Zn в присутствии катионного флокулянта.

Во всем диапазоне pH процесс электрофлотационного извлечения трехкомпонентной системы меди, никеля и цинка в присутствии $\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ протекает эффективно.

3.3.3. Определение условий для эффективного протекания электрофлотационного процесса в электролитах NaNO_3 для систем Cu^{2+} - Ni^{2+} - Zn^{2+} .

Таблица 3.35 – Степень электрофлотационного извлечения гидроксидов Cu, Ni и Zn зависимости от pH, $\alpha\%$.

Время, Мин	$\alpha, \%$		
	Cu	Ni	Zn
без добавок			
5 мин	65	71	63
10 мин	69	74	67
20 мин	70	80	70
20+Фильтр	71	84	77
С КатаПАВ _(к)			
5 мин	1	1	1
10 мин	8	7	6
20 мин	19	31	34
20+Фильтр	95	49	92
С СептаПАВ _(к)			
5 мин	12	15	5
10 мин	71	74	63
20 мин	78	79	74
20+Фильтр	95	96	90
С Флокулянт (Zetag-8160) _(к)			
5 мин	43	49	5
10 мин	66	69	46
20 мин	81	86	78
20+Фильтр	86	91	76

Условия эксперимента: $c(\text{Cu}^{2+}) - 30\text{мг/л}$, $c(\text{Ni}^{2+}) - 30\text{мг/л}$, $c(\text{Zn}^{2+}) - 30\text{мг/л}$,

$c(\text{NaNO}_3) - 1\text{ г/л}$, $c(\text{ПАВ/Флок}) - 5\text{мг/л}$, $j_v - 0.4\text{ А/л}$, $\text{pH}=9$

При добавлении в систему нитрата натрия процесс электрофлотационного извлечения смеси гидроксидов меди, никеля и цинка подавляется в не зависимости от добавленных катионных ПАВ и флокулянта.

Таблица 3.36 – Влияние катионного ПАВ КатаПАВ на степень электрофлотационного извлечения смеси трехкомпонентной системы меди, никеля и цинка в зависимости от pH в присутствии электролита NaNO_3 , α , %.

Электролит		5 мин		20 мин	
		С ПАВ _(к)	Без ПАВ	С ПАВ _(к)	Без ПАВ
pH = 9	Cu	12	65	95	71
	Ni	14	71	49	84
	Zn	13	63	92	77

Условия эксперимента: $c(\text{Cu}^{2+}) - 30\text{мг/л}$, $c(\text{Ni}^{2+}) - 30\text{мг/л}$, $c(\text{Zn}^{2+}) - 30\text{мг/л}$,
 $c(\text{NaNO}_3) - 1\text{ г/л}$, $c(\text{КатаПАВ}) - 5\text{мг/л}$, $j_v - 0.4\text{ А/л}$, pH=9

Добавление в систему нитрата натрия в качестве электролита не дало положительного эффекта на процесс электрофлотационного извлечения трехкомпонентной системы меди, никеля и цинка в присутствии катионного ПАВ КатаПАВ.

Таблица 3.37 – Влияние катионного ПАВ СептаПАВ на степень электрофлотационного извлечения смеси трехкомпонентной системы меди, никеля и цинка в зависимости от pH в присутствии электролита NaNO_3 , α , %.

Электролит		5 мин		20 мин	
		С ПАВ _(к)	Без ПАВ	С ПАВ _(к)	Без ПАВ
pH = 9	Cu	12	65	95	71
	Ni	15	71	96	84
	Zn	15	63	90	77

Условия эксперимента: $c(\text{Cu}^{2+}) - 30\text{мг/л}$, $c(\text{Ni}^{2+}) - 30\text{мг/л}$, $c(\text{Zn}^{2+}) - 30\text{мг/л}$, $c(\text{NaNO}_3) - 1\text{ г/л}$, $c(\text{СептаПАВ}) - 5\text{мг/л}$, $j_v - 0.4\text{ А/л}$, pH=9

Нитрат натрия в качестве электролита сработал как улучшающая добавка при электрофлотационном извлечении трехкомпонентной системы меди, никеля и цинка за 20 минут электрофлотации с добавлением катионного ПАВ СептаПАВ.

Таблица 3.38 – Влияние катионного флокулянта на степень электрофлотационного извлечения смеси трехкомпонентной системы меди, никеля и цинка в зависимости от рН в присутствии электролита NaNO_3 , α ,%.

Электролит		5 мин		20 мин	
		С ПАВ _(к)	Без ПАВ	С ПАВ _(к)	Без ПАВ
рН = 9	Cu	43	65	86	71
	Ni	49	71	91	84
	Zn	15	63	76	77

Условия эксперимента: $c(\text{Cu}^{2+}) - 30\text{мг/л}$, $c(\text{Ni}^{2+}) - 30\text{мг/л}$, $c(\text{Zn}^{2+}) - 30\text{мг/л}$,
 $c(\text{NaNO}_3) - 1\text{ г/л}$, $c(\text{Флок}) - 5\text{мг/л}$, $j_v - 0.4\text{ А/л}$, рН=9

Так же, как и с добавлением катионного ПАВ СептаПАВ, присутствие нитрата натрия в трехкомпонентной системе меди, никеля и цинка с добавлением катионного флокулянта Zeetag-8160 улучшило процесс электрофлотационного извлечения.

Таблица 3.39 – Влияние катионных ПАВ и флокулянта на степень электрофлотационного извлечения смеси трехкомпонентной системы меди, никеля и цинка в зависимости от рН в присутствии электролита NaNO_3 , α ,%.

Электролит		Без добавок		С ПАВ (КатаПАВ)		С ПАВ (СептаПАВ)		С Флокулянтом (Zetag-8160)	
		5 мин	20 мин	5 мин	20 мин	5 мин	20 мин	5 мин	20 мин
рН = 9	Cu	65	71	12	95	12	95	43	86
	Ni	71	84	14	49	15	96	49	91
	Zn	63	77	13	92	15	90	15	76

Условия эксперимента: $c(\text{Cu}^{2+}) - 30\text{мг/л}$, $c(\text{Ni}^{2+}) - 30\text{мг/л}$, $c(\text{Zn}^{2+}) - 30\text{мг/л}$,
 $c(\text{NaNO}_3) - 1\text{ г/л}$, $c(\text{ПАВ/Флок}) - 5\text{мг/л}$, $j_v - 0.4\text{ А/л}$, рН=9

Анализируя данную таблицу можно сделать вывод, что с добавлением в систему в качестве электролита нитрата натрия можно достичь высокой степени извлечения в присутствии катионного ПАВ СептаПАВ и катионного флокулянта Zeetag-8160 за 20 минут электрофлотации.

3.3.4. Определение условий для эффективного протекания электрофлотационного процесса в электролитах Na_3PO_4 для систем Cu^{2+} - Ni^{2+} - Zn^{2+} .

Таблица 3.40 – Степень электрофлотационного извлечения гидроксидов Cu, Ni и Zn зависимости от pH, $\alpha\%$.

Время, Мин	$\alpha, \%$		
	Cu	Ni	Zn
без добавок			
5	8	10	8
10	10	12	9
20	20	18	17
20+Фильтрация	93	90	89
С КатаПАВ _(к)			
5	14	16	10
10	18	20	15
20	28	30	29
20+Фильтрация	88	87	79
С СептаПАВ _(к)			
5	38	38	35
10	43	49	46
20	56	62	59
20+Фильтрация	90	89	89
С Флокулянт (Zetag-8160) _(к)			
5	34	28	26
10	41	36	34
20	43	37	35
20+Фильтрация	81	80	75

Условия эксперимента: $c(\text{Cu}^{2+}) - 30\text{мг/л}$, $c(\text{Ni}^{2+}) - 30\text{мг/л}$, $c(\text{Zn}^{2+}) - 30\text{мг/л}$,
 $c(\text{Na}_3\text{PO}_4) - 1\text{ г/л}$, $c(\text{ПАВ/Флок}) - 5\text{мг/л}$, $j_v - 0.4\text{ А/л}$, $\text{pH}=9$

Последующая фильтрация позволяет достичь максимальной степени извлечения до 90% в присутствии в системе нитрата натрия и катионных ПАВ и флокулянта.

Таблица 3.41 – Влияние катионного ПАВ КатаПАВ на степень электрофлотационного извлечения смеси трехкомпонентной системы меди, никеля и цинка в зависимости от pH в присутствии электролита Na_3PO_4 , α , %.

Электролит		5 мин		20 мин	
		С КатаПАВ _(к)	Без ПАВ	С КатаПАВ _(к)	Без ПАВ
pH = 9	Cu	14	8	88	93
	Ni	16	10	87	90
	Zn	10	8	79	89

Условия эксперимента: $c(\text{Cu}^{2+}) - 30\text{мг/л}$, $c(\text{Ni}^{2+}) - 30\text{мг/л}$, $c(\text{Zn}^{2+}) - 30\text{мг/л}$, $c(\text{Na}_3\text{PO}_4) - 1\text{ г/л}$, $c(\text{КатаПАВ}) - 5\text{мг/л}$, $j_v - 0.4\text{ А/л}$, pH=9

При введении в систему электролита фосфата натрия процесс электрофлотационного извлечения трехкомпонентной системы меди, никеля и цинка в присутствии катионного ПАВ КатаПАВ протекает эффективно за 20 минут электрофлотации.

Таблица 3.42 – Влияние катионного ПАВ СептаПАВ на степень электрофлотационного извлечения смеси трехкомпонентной системы меди, никеля и цинка в зависимости от pH в присутствии электролита Na_3PO_4 , α , %.

Электролит		5 мин		20 мин	
		С СептаПАВ _(к)	Без ПАВ	С СептаПАВ _(к)	Без ПАВ
pH = 9	Cu	38	8	90	93
	Ni	38	10	89	90
	Zn	35	8	89	89

Условия эксперимента: $c(\text{Cu}^{2+}) - 30\text{мг/л}$, $c(\text{Ni}^{2+}) - 30\text{мг/л}$, $c(\text{Zn}^{2+}) - 30\text{мг/л}$, $c(\text{Na}_3\text{PO}_4) - 1\text{ г/л}$, $c(\text{СептаПАВ}) - 5\text{мг/л}$, $j_v - 0.4\text{ А/л}$, pH=9

Процесс электрофлотационного извлечения трехкомпонентной системы меди, никеля и цинка в присутствии катионного ПАВ СептаПАВ с добавлением в систему электролита фосфата натрия протекает стабильно и эффективно.

Таблица 3.43 – Влияние катионного флокулянта на степень электрофлотационного извлечения смеси трехкомпонентной системы меди, никеля и цинка в зависимости от рН в присутствии электролита Na_3PO_4 , α , %.

Электролит		5 мин		20 мин	
		С Флок _(к)	Без ПАВ	С флок _(к)	Без ПАВ
рН = 9	Cu	34	8	81	93
	Ni	28	10	80	90
	Zn	26	8	75	89

Условия эксперимента: $c(\text{Cu}^{2+}) - 30\text{мг/л}$, $c(\text{Ni}^{2+}) - 30\text{мг/л}$, $c(\text{Zn}^{2+}) - 30\text{мг/л}$, $c(\text{Na}_3\text{PO}_4) - 1\text{ г/л}$, $c(\text{Флок}) - 5\text{мг/л}$, $j_v - 0.4\text{ А/л}$, рН=9

Катионный флокулянт Zeetag 8160 положительно влияет на процесс электрофлотационного извлечения трехкомпонентной системы меди, никеля и цинка в присутствии электролита фосфата натрия.

Таблица 3.44 – Влияние катионных ПАВ и флокулянта на степень электрофлотационного извлечения смеси трехкомпонентной системы меди, никеля и цинка в зависимости от рН в присутствии электролита Na_3PO_4 , α , %.

Электролит		Без добавок		С ПАВ (КатаПАВ)		С ПАВ (СептаПАВ)		С Флокулянтом (Zetag-8160)	
		5 мин	20 мин	5 мин	20 мин	5 мин	20 мин	5 мин	20 мин
рН = 9	Cu	8	93	14	88	38	90	34	81
	Ni	10	90	16	87	38	89	28	80
	Zn	8	89	10	79	35	89	26	75

Условия эксперимента: $c(\text{Cu}^{2+}) - 30\text{мг/л}$, $c(\text{Ni}^{2+}) - 30\text{мг/л}$, $c(\text{Zn}^{2+}) - 30\text{мг/л}$, $c(\text{Na}_3\text{PO}_4) - 1\text{ г/л}$, $c(\text{ПАВ/Флок}) - 5\text{мг/л}$, $j_v - 0.4\text{ А/л}$, рН=9

Без добавления катионных ПАВ и флокулянта в трехкомпонентной системе меди, никеля и цинка в присутствии электролита фосфата натрия процесс электрофлотационного извлечения проходит наиболее эффективно. Однако и добавление катионных ПАВ и флокулянта позволяют достичь высокой степени извлечения до 90%.

3.4. Подход к оценке эффективности протекания ЭФ процесса на лабораторной установке непроточного типа

Величина степени извлечения α_5 в течении 5 минут характеризует качественное формирование флотокомплекса «частица – пузырек» и способность всплытия на границу «раствор – воздух».

Величина α_5 коррелируется с высокими значениями K (константы скорости перехода дисперсной фазы в пенный продукт). Величина α_{20} характеризует эффективность ЭФ процесса в целом, стабильность пенного продукта.

Величина K связана с многостадийностью процесса и зависит от сложных параметров.

Таблица 3.45 – Базовые параметры электрофлотационного процесса.

Параметр	Эффективность процесса				
	очень высокая (5)	высокая (4)	средняя (3)	низкая (2)	очень низкая (1)
K	0,2 – 0,3	0,1 – 0,2	0,01 – 0,1	менее 10^{-2}	менее 10^{-3}
$\alpha_5, \%$	80 – 95	60 – 75	40 – 55	20 - 25	5 - 10
$\alpha_{20}, \%$	98	92	83	70	25

3.4.1. Группа эффективности электрофлотационного процесса для двухкомпонентных систем $\text{Cu}^{2+}\text{-Ni}^{2+}$, $\text{Cu}^{2+}\text{-Zn}^{2+}$, $\text{Ni}^{2+}\text{-Zn}^{2+}$

Таблица 3.46 – Базовые параметры электрофлотационного процесса в электролитах Na_2SO_4 для двухкомпонентных систем.

Параметр	$\text{Cu}^{2+} - \text{Ni}^{2+}$	$\text{Cu}^{2+} - \text{Zn}^{2+}$	$\text{Ni}^{2+} - \text{Zn}^{2+}$
Без добавок			
$\alpha_5, \%$	30	79	96
$\alpha_{20}, \%$	35	81	99
КатаПАВ			
$\alpha_5, \%$	40	91	61
$\alpha_{20}, \%$	70	98	85
СептаПАВ			
$\alpha_5, \%$	2	94	17
$\alpha_{20}, \%$	5	98	28
Zetag-8160			
$\alpha_5, \%$	70	77	58
$\alpha_{20}, \%$	96	75	74

Условия эксперимента: $c(\text{Cu}^{2+}) - 50$ мг/л; $c(\text{Ni}^{2+}) - 50$ мг/л; $c(\text{Zn}^{2+}) - 50$ мг/л;
 $c(\text{Na}_2\text{SO}_4) - 1$ г/л; $c(\text{ПАВ/Флок}) - 5$ мг/л; $j_v - 0,4$ А/л, $\tau - 20$ мин, $\text{pH}=9$

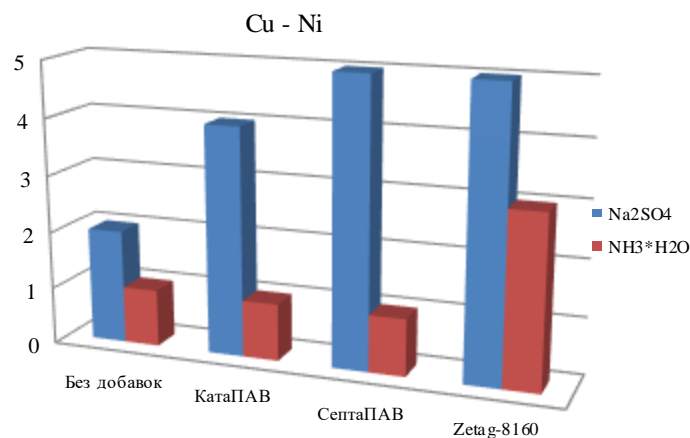
Для двухкомпонентных систем меди и никеля в присутствии сульфата натрия существенное влияние оказывает флокулянт Zeetag 8160. Однако для системы никеля и цинка добавление катионных ПАВ и флокулянта не оказало положительного влияния. Для двухкомпонентной системы меди и цинка все добавки дали положительные значения при электрофлотационном извлечении.

Таблица 3.47 – Базовые параметры электрофлотационного процесса в электролитах $\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ для двухкомпонентных систем.

Параметр	$\text{Cu}^{2+} - \text{Ni}^{2+}$	$\text{Cu}^{2+} - \text{Zn}^{2+}$	$\text{Ni}^{2+} - \text{Zn}^{2+}$
Без добавок			
$\alpha_5, \%$	1	63	81
$\alpha_{20}, \%$	8	74	96
КатаПАВ			
$\alpha_5, \%$	3	43	21
$\alpha_{20}, \%$	17	47	29
СептаПАВ			
$\alpha_5, \%$	8	58	38
$\alpha_{20}, \%$	22	71	46
Zetag-8160			
$\alpha_5, \%$	47	45	70
$\alpha_{20}, \%$	58	95	94

Условия эксперимента: $c(\text{Cu}^{2+}) - 50 \text{ мг/л}$; $c(\text{Ni}^{2+}) - 50 \text{ мг/л}$; $c(\text{Zn}^{2+}) - 50 \text{ мг/л}$;
 $c(\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}) - 500 \text{ мг/л}$; $c(\text{ПАВ/Флок}) - 5 \text{ мг/л}$; $j_v - 0,4 \text{ А/л}$, $\tau - 20 \text{ мин}$, $\text{pH} = 9$

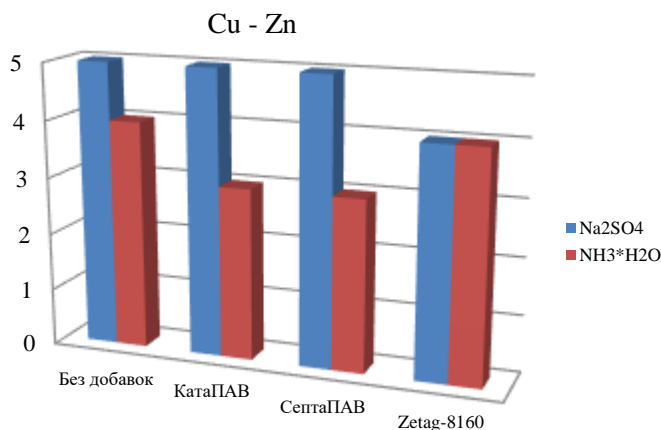
При добавлении в систему $\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ процесс протекает по другому. Положительное влияние оказывает только флокулянт Zeetag 8160 на электрофлотационный процесс для двухкомпонентной системы никеля и цинка.



Условия эксперимента: $c(\text{Cu}^{2+}) - 50 \text{ мг/л}$; $c(\text{Ni}^{2+}) - 50 \text{ мг/л}$; $c(\text{Na}_2\text{SO}_4) - 1 \text{ г/л}$;
 $c(\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}) - 500 \text{ мг/л}$; $c(\text{ПАВ/Флок}) - 5 \text{ мг/л}$; $j_v - 0,4 \text{ А/л}$, $\tau - 20 \text{ мин}$, $\text{pH} = 9$

Рисунок 3.45 – Группа эффективности электрофлотационного процесса для двухкомпонентных систем Cu – Ni.

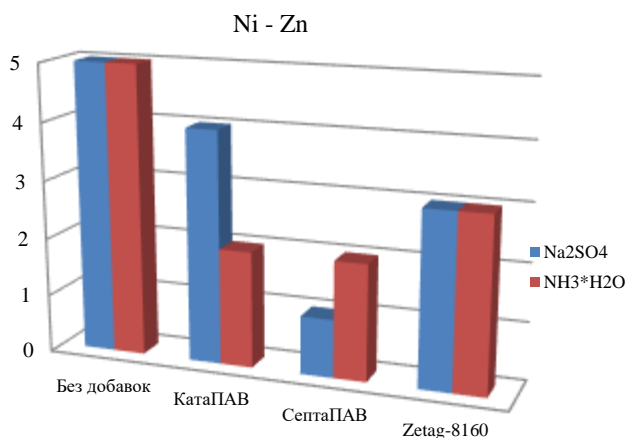
Из графика видно, что сульфатный фон в наибольшей степени положительно влияет на процесс электрофлотации с добавлением катионных ПАВ и флокулянта в двухкомпонентной системе меди и никеля.



Условия эксперимента: $c(\text{Cu}^{2+}) - 50 \text{ мг/л}$; $c(\text{Zn}^{2+}) - 50 \text{ мг/л}$; $c(\text{Na}_2\text{SO}_4) - 1 \text{ г/л}$; $c(\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}) - 500 \text{ мг/л}$; $c(\text{ПАВ/Флок}) - 5 \text{ мг/л}$; $j_v - 0,4 \text{ А/л}$, $\tau - 20 \text{ мин}$, $\text{pH} = 9$

Рисунок 3.46 – Группа эффективности электрофлотационного процесса для двухкомпонентных систем Cu – Zn.

Для двухкомпонентной системы меди и цинка в присутствии сульфатного электролита все добавки оказали положительное влияние.



Условия эксперимента: $c(\text{Ni}^{2+}) - 50 \text{ мг/л}$; $c(\text{Zn}^{2+}) - 50 \text{ мг/л}$; $c(\text{Na}_2\text{SO}_4) - 1 \text{ г/л}$; $c(\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}) - 500 \text{ мг/л}$; $c(\text{ПАВ/Флок}) - 5 \text{ мг/л}$; $j_v - 0,4 \text{ А/л}$, $\tau - 20 \text{ мин}$, $\text{pH} = 9$

Рисунок 3.47 – Группа эффективности электрофлотационного процесса для двухкомпонентных систем Ni – Zn.

Для пары Ni-Zn положительное влияние так же оказала добавка катаПАВ, при этом я рассматривал добавки в общей группе – катионные ПАВ и флокулянт.

В тоже время, когда в системе появляется $\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$, процесс электрофлотации протекает по другому. Подавление процесса наблюдается в случае введения катионных ПАВ и флокулянт.

3.4.2. Базовые параметры электрофлотационного процесса в присутствии органических композиций в электролитах Na_2SO_4 для двухкомпонентных систем $\text{Cu}^{2+}\text{-Ni}^{2+}$, $\text{Cu}^{2+}\text{-Zn}^{2+}$, $\text{Ni}^{2+}\text{-Zn}^{2+}$

Таблица 3.48 – Базовые параметры и группы эффективности электрофлотационного процесса в электролитах Na_2SO_4 для двухкомпонентных систем в присутствии органических композиций.

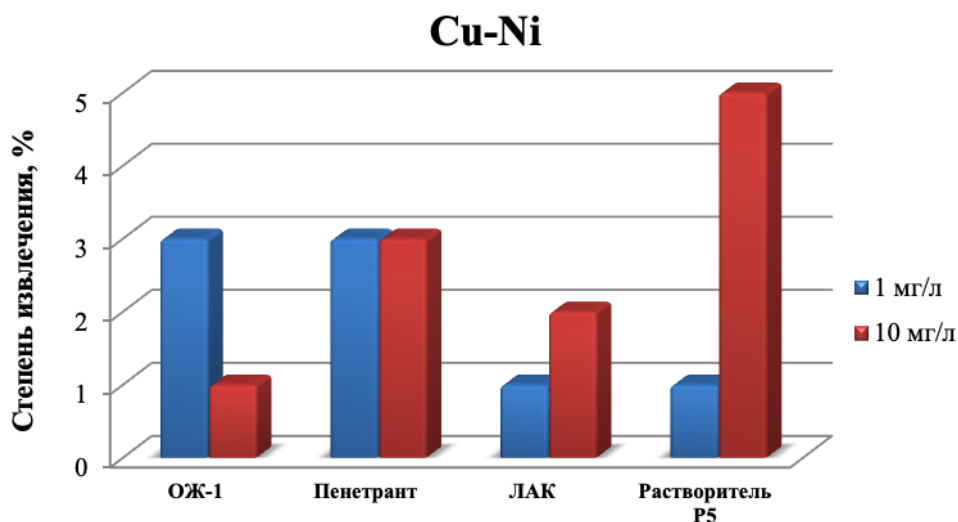
Параметр	$\text{Cu}^{2+} - \text{Ni}^{2+}$	$\text{Cu}^{2+} - \text{Zn}^{2+}$	$\text{Ni}^{2+} - \text{Zn}^{2+}$
	1 / 10 мг/л	1 / 10 мг/л	1 / 10 мг/л
Очищающая жидкость ОЖ-1			
$\alpha_5, \%$	25 / 20	5 / 60	26 / 34
$\alpha_{20}, \%$	86 / 42	14 / 98	67 / 84
Пенетрант ЛЖ-6А			
$\alpha_5, \%$	28 / 37	5 / 10	4 / 25
$\alpha_{20}, \%$	89 / 83	13 / 23	20 / 74
ЛАК ФЛ-5111			
$\alpha_5, \%$	12 / 25	30 / 65	12 / 50
$\alpha_{20}, \%$	32 / 66	64 / 98	29 / 90
Растворитель Р-5			
$\alpha_5, \%$	1 / 40	36 / 58	13 / 17
$\alpha_{20}, \%$	7 / 94	62 / 85	59 / 44

Условия эксперимента: $c(\text{Cu}^{2+}) - 50$ мг/л; $c(\text{Ni}^{2+}) - 50$ мг/л; $c(\text{Zn}^{2+}) - 50$ мг/л;

$c(\text{Na}_2\text{SO}_4) - 1$ г/л; $c(\text{орг. ком}) - 1/10$ мг/л; $j_v - 0,4$ А/л; $\tau - 20$ мин, $\text{pH} = 9$

Органические композиции неоднозначно повлияли на процесс электрофлотационного извлечения двухкомпонентных систем меди, никеля и цинка. Так при добавлении в двухкомпонентную систему меди и никеля органический загрязнитель растворитель Р-5 в высокой концентрации 10 мг/л при электрофлотации за 20 минут позволил достичь 94%, однако на другие системы меди и никеля и никеля и цинка он не

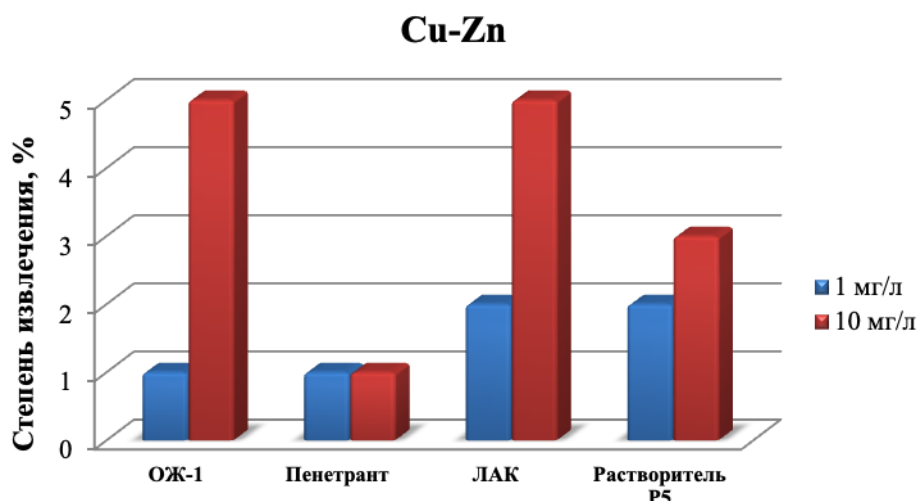
повлиял. Для пары медь и никеля очищающая жидкость ОЖ-1 улучшила процесс и степень электрофлотационного извлечения за 20 минут электрофлотации составила 98%. На пару никель и цинк существенное влияние оказал лак ФЛ-5111 и степень извлечения за 20 минут электрофлотации достиг 90%.



Условия эксперимента: $c(\text{Cu}^{2+}) - 50 \text{ мг/л}$; $c(\text{Ni}^{2+}) - 50 \text{ мг/л}$; $c(\text{Na}_2\text{SO}_4) - 1 \text{ г/л}$;
 $c(\text{орг. ком}) - 1/10 \text{ мг/л}$; $j_v - 0,4 \text{ А/л}$; $\tau - 20 \text{ мин}$, $\text{pH}=9$

Рисунок 3.48 – Группа эффективности электрофлотационного процесса для двухкомпонентных систем Cu – Ni.

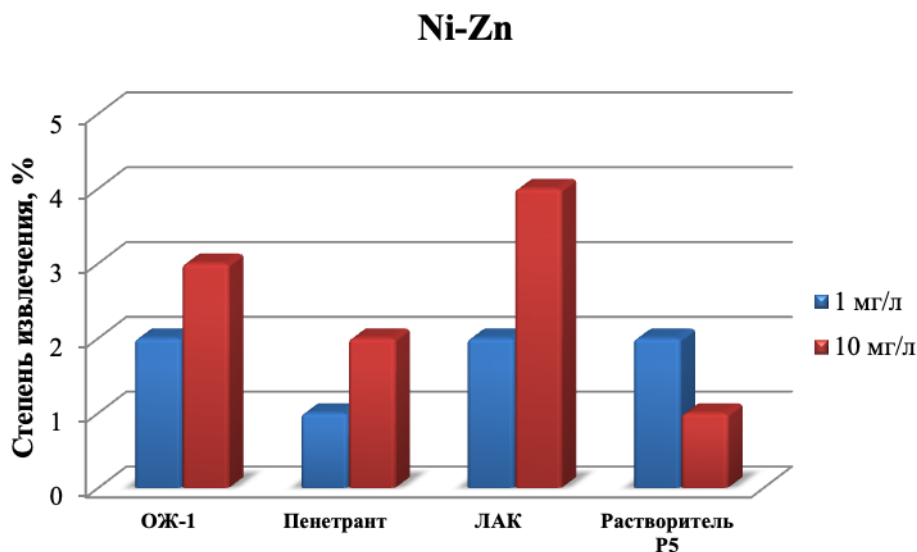
Влияние растворителя Р-5 на пару меди и никеля существеннее, чем при добавлении других органических загрязнителей.



Условия эксперимента: $c(\text{Cu}^{2+}) - 50 \text{ мг/л}$; $c(\text{Zn}^{2+}) - 50 \text{ мг/л}$; $c(\text{Na}_2\text{SO}_4) - 1 \text{ г/л}$;
 $c(\text{орг. ком}) - 1/10 \text{ мг/л}$; $j_v - 0,4 \text{ А/л}$; $\tau - 20 \text{ мин}$, $\text{pH}=9$

Рисунок 3.49 – Группа эффективности электрофлотационного процесса для двухкомпонентных систем Cu – Zn.

Очищающая жидкость ОЖ-1 и Лак ФЛ-5111 позволяют получить максимальную тепень извлечения, вследствие чего для пары меди и цинка эти компоненты являются эффективными добавками для улучшения процесса электрофлотации.



Условия эксперимента: $c(\text{Ni}^{2+}) - 50 \text{ мг/л}$; $c(\text{Zn}^{2+}) - 50 \text{ мг/л}$; $c(\text{Na}_2\text{SO}_4) - 1 \text{ г/л}$; $c(\text{орг. ком}) - 1/10 \text{ мг/л}$; $j_v - 0,4 \text{ А/л}$; $\tau - 20 \text{ мин}$, $\text{pH}=9$

Рисунок 3.50 – Группа эффективности электрофлотационного процесса для двухкомпонентных систем Ni – Zn.

Для двухкомпонентной системы никеля и цинка самый лучший результат можно наблюдать при добавлении в систему органического загрязнителя лак ФЛ-5111.

В тоже время, указанные эффекты для системы Cu-Ni и Cu-Zn могут быть далее практически использованны для удаления органических компонентов из сточных вод, где уже присутствуют металлы - за счет адсорбции на гидроксидах или других труднорастворимых соединениях.

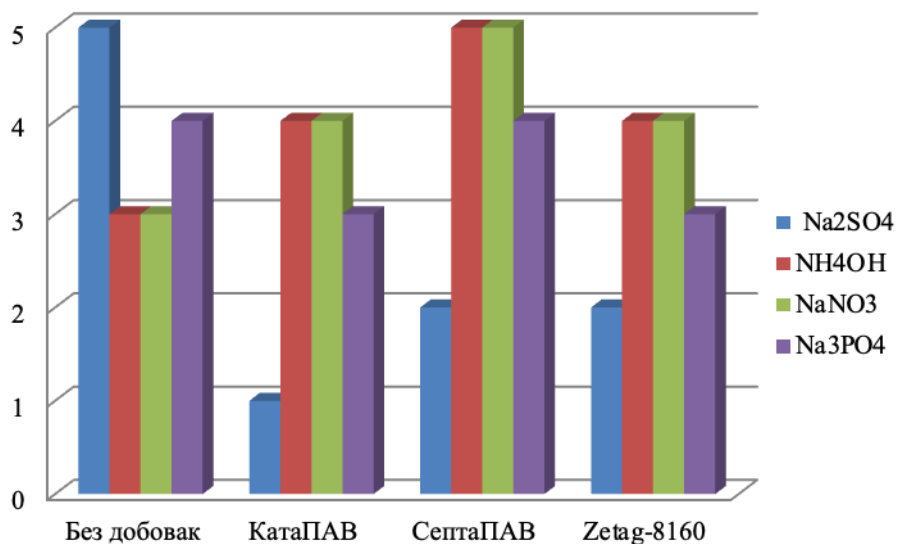
3.4.3 Базовые параметры электрофлотационного процесса в различных электролитах Na_2SO_4 и $\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ для трехкомпонентных систем

Таблица 3.49 – Базовые параметры и группы эффективности электрофлотационного процесса в различных электролитах для трёхкомпонентных систем

Электролит	Степень извлечения, %			
	Na_2SO_4	NH_4OH	NaNO_3	Na_3PO_4
Без добавок				
$\alpha_5, \%$	61	42	66	9
$\alpha_{20}, \%$	94	84	77	91
С КатаПАВ				
$\alpha_5, \%$	2	41	1	13
$\alpha_{20}, \%$	14	93	92	85
С СептаПАВ				
$\alpha_5, \%$	18	74	11	37
$\alpha_{20}, \%$	66	95	94	89
С Zetag-8160				
$\alpha_5, \%$	65	73	32	29
$\alpha_{20}, \%$	70	92	88	79

Условия эксперимента: $c(\text{Cu}^{2+}) - 30 \text{ мг/л}$; $c(\text{Ni}^{2+}) - 30 \text{ мг/л}$; $c(\text{Zn}^{2+}) - 30 \text{ мг/л}$;
 $c(\text{Электролита}) - 1 \text{ г/л}$; $c(\text{ПАВ/Флок}) - 5 \text{ мг/л}$; $j_v - 0,4 \text{ А/л}$, $\tau - 20 \text{ мин}$, $\text{pH}=9$

В условиях сульфатного электролита без добавок процесс электрофлотации для трехкомпонентной системы меди, никеля и цинка протекает наиболее стабильно и эффективно. При добавлении в систему $\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ процесс эффективно протекает с добавлением катионных ПАВ и флокулянта. Данный эффект связан с изменением физико-химических свойств гидроксидов.



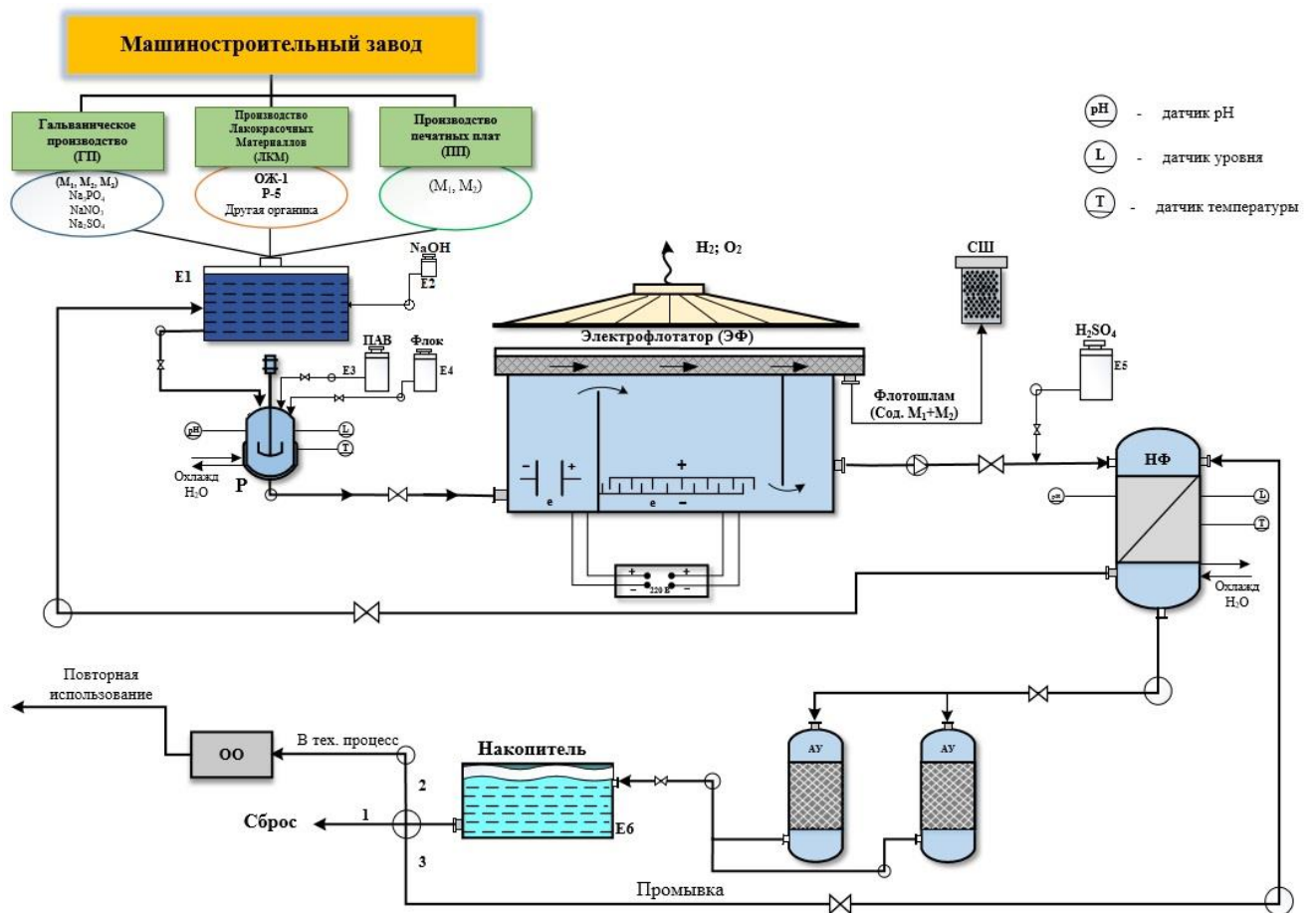
Условия эксперимента: $c(\text{Cu}^{2+}) - 30 \text{ мг/л}$; $c(\text{Ni}^{2+}) - 30 \text{ мг/л}$; $c(\text{Zn}^{2+}) - 30 \text{ мг/л}$;
 $c(\text{Электролита}) - 1 \text{ г/л}$; $c(\text{ПАВ/Флок}) - 5 \text{ мг/л}$; $j_v - 0,4 \text{ А/л}$, $\tau - 20 \text{ мин}$, $\text{pH}=9$

Рисунок 3.51 – Группы эффективности электрофлотационного процесса в различных электролитах для трёхкомпонентных систем.

Катионный ПАВ СептаПАВ в системе с добавлением $\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ и NaNO_3 позволяет достичь максимального значения электрофлотационного извлечения трехкомпонентной системы меди, никеля и цинка.

4. ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

На основании проведенных экспериментальных исследований предложена принципиальная схема (рисунок 4.1) очистки многокомпонентных сточных вод гальванических производств печатных плат электронной техники для республики Союза Мьянма.



Е1 – Усреднитель; Е1-Е5 – Ёмкость хранения реагентов; Е6 – Накопитель; Р1– Реактор; СФ – Сорбционный фильтр; ЭФ – Электрофлотатор; АУ – Активные угли; ОО – Обратный осмос; СШ – Сборник шлама

Рисунок 4.1 – Принципиальная схема очистки многокомпонентных сточных вод машиностроительных предприятий для республики Союза Мьянма

Сточные воды сложного состава, образующиеся на машиностроительном предприятии формируются в первую очередь от гальванических производств, от производства печатных плат электронной техники, а так же от создания лакокрасочных материалов. В указанных процессах используются компоненты, изученные в диссертационной работе. Принцип действия схемы описан далее. Очищаемая вода,

совместно направляется в реактор, куда добавляются ПАВ или флокулянты. Далее очищаемая жидкость подается в электрофлотационный модуль, где происходит извлечение электролитическими пузырьками газовой водорода и кислорода взвешенных веществ в пенный продукт, который далее в виде флотошламма, содержащего смесь металлов отправляется на обезвоживание. После очищенная вода направляется на сорбционный фильтр, где происходит дополнительная фильтрация. Дальше очищаемая вода отправляется в емкость с активированными углями, где происходит очистка от органических примесей. После, очищенная вода направляется в накопитель на сброс в канализацию (1), или через фильтр обратного осмоса для повторного использования (2), или на промывку в сорбционный фильтр для повторной очистки (3).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе выполнения научного исследования получены основные экспериментальные результаты, характеризующие процесс ЭФ извлечения смеси труднорастворимых соединений цветных металлов меди, никеля и цинка в составе многокомпонентных смесей в условиях различных фоновых электролитов (Na_2SO_4 , $\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$, NaNO_3 , Na_3PO_4) и органических композиций (очищающая жидкость ОЖ-1, пенетрант ЛЖ-6А, лак ФЛ-5111 и растворитель Р-5).

Показано, что присутствующие в сточных водах компоненты оказывают как положительное, так и негативное влияние на электрофлотационный процесс. Это влияние, в первую очередь, зависит от гидрофильных и гидрофобных свойств компонентов.

В дальнейшем проведение научных исследований планируется в части расширения перечня извлекаемых металлов, а также присутствующих органических компонентов, например: новых растворителей и других смывок.

Выводы:

1. Установлены новые закономерности электрофлотационного извлечения труднорастворимых соединений меди, никеля и цинка из двухкомпонентных систем. Максимальная степень извлечения 98% достигнута для системы Cu-Zn в растворе Na_2SO_4 при $\text{pH}=9$ с добавлением КатаПАВ и СептаПАВ (5 мг/л), время обработки – 20 минут.

В растворе $\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ с концентрацией 500 мг/л без добавления ПАВ наилучшие результаты получены в системах Cu-Zn и Ni-Zn. Степень извлечения 74% и 96% соответственно. Введение флокулянта Zetag-8160 в систему Cu-Zn в количестве 5 мг/л позволяет повысить степень извлечения до 95%.

2. Выявлено, что присутствие в двухкомпонентной системе Cu-Zn органических загрязняющих веществ: очищающая жидкость ОЖ-1, лак ФЛ-5111 с концентрацией 10 мг/л улучшает процесс электрофлотации. Степень извлечения достигает 98% (без добавления ПАВ). Отмечено, что растворитель Р-5 увеличивает степень извлечения в системе Cu-Ni с 35% до 94%.

3. Исследовано влияние фоновых электролитов Na_2SO_4 , $\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$, NaNO_3 , Na_3PO_4 на процесс извлечения трехкомпонентной смеси ионов меди, никеля и цинка из сточных

вод. Установлено, что максимальная степень извлечения (94%) может быть достигнута в растворе Na_2SO_4 при $\text{pH}=9$, $j_v=0.4$ А/л, за время 20 минут.

В растворе $\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ степень извлечения металлов может быть увеличена с 84% до 93% путем введения 5 мг/л КатаПАВ или СептаПАВ.

4. Разработана принципиальная схема обезвреживания сточных вод от смеси тяжелых металлов в присутствии органических композиций для Республики Союз Мьянма.

Список литературы

1. Российская федерация. Законы. Об охране окружающей среды : Федеральный закон от № 7-ФЗ от 10 января 2002 г. : [принят Государственной Думой 20 декабря 2001 г. : одобрен Советом Федерации 26 декабря 2001 г.]. – Москва : глава 1, статья 4.2..
2. Российская Федерация. Законы. Об отходах производства и потребления : Федеральный закон №89-ФЗ : [принят Государственной Думой 22 мая 1998 г. : одобрен Советом Федерации 10 июня 1998 г.]. – Москва : глава 3, статья 14.
3. Российская Федерация. Приказ. Об утверждении Федерального классификационного каталога отходов : [зарегистрировано в Минюсте России 8 июня 2017 г. N 47008 : утверждён Приказом Росприроднадзора от 22 мая 2017 г. N 242].
4. В. А. Бродский. Обезвреживание жидких техногенных отходов I и II классов опасности и получение вторичных продуктов: учеб. пособие / В. А. Бродский, А. В. Колесников, В. А. Колесников // – М.: РХТУ им. Д. И. Менделеева, 2021.
5. URL. <https://bigenc.ru/geography/text/2241273> : дата обращения к ресурсу 17.06.2022.
6. Симония А.А. ИВ РАН «Особые экономические зоны в Мьянме» // Юго - Восточная Азия: актуальные проблемы развития, – Т. 1. – № 2(39). – 2018.
7. Беклемешев А.М. Структурные и гидравлические свойства высокопористых ячеистых материалов на металлической основе. Пермь: Перм. гос. техн. университет, – 1998. – С. 225.
8. Любман Н.Я. Полимерные и ионообменные фильтрующие элементы для очистки сточных и оборотных вод / Любман Н.Я., Имангазиев Г.К., Усов А.И // Цветные металлы. – 1986. – № 6. – С. 42-46.
9. Десятов А.В. Двухступенчатая схема удаления соединений бора при опреснении морской воды методом обратного осмоса / Десятов А.В., Колесников В.А., Кручинина Н.Е., Колесников А.В., Ландырев А.В // Теоретические основы химической технологии. – 2015. – Т. 49. – № 4. – С. 1-5.
10. Десятов А.В. Технология очистки речной воды на основе отечественных микрофильтрационных элементов / Десятов А.В., Казанцева Н.Н., Прохоров И.А., Григорьев А.Б. и др. // Водоснабжение и канализация. – 2009. – № 6. – С. 47-52.
11. Шуленина З.М. Вода техногенная: проблемы, технологии, ресурсная ценность / Шуленина З.М., Багров В.В., Десятов А.В., Зубков А.А., Камруков А.С., Колесников

В.А., Константинов В.Е., Ксенофонов Б.С., Новиков Д.О // – М. : Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана. – 2015. – С. 401.

12. Колесников В.А. Электрофлотационная технология и аппараты для извлечения ионов тяжелых металлов и органических загрязнителей из жидких отходов электрохимических производств с утилизацией ценных компонентов // Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук, 1994 г.

13. Ильин В.И. Сто десять лет электрофлотации 1904-2014. М.: РХТУ им. Д.И. Менделеева. – 2014. – С. 80. (Обзор №2. С. 49 (2014).

14. Вилинская В.С. Электрохимические методы очистки воды: Обзор / под ред. Г.Н. Бахтюковой. М.: ВНИИПИ. – 1987. – С. 36.

15. Гольман А.М. Газогенераторы электрофлотационных аппаратов / Гольман А.М., Крайзман М.А // Совершенствование флотации руд и растворенных веществ. Сборник научных трудов. М.: Наука. – 1976.

16. Мамаков А.А. Современное состояние и перспективы применения электролитической флотации веществ. Ч.1. Кишинев: Штиинца. – 1976. – С. 136.

17. Матов Б.М. Электрофлотационная очистка сточных вод / Кишинев. Карта молдовеняскэ. 1982. – С. 170.

18. Дерягин Б.В., Духин С.С., Рулев Н.Н. Микрофлотация: Водоочистка, обогащение // М.: Химия. – 1986. – С.122.

19. Колесников В.А. Электрофлотационная технология очистки сточных вод промышленных предприятий / Колесников В.А., Ильин В.И., Капустин Ю.И. и др. // Под. ред. Колесникова В.А. М.: Химия. – 2007. – С. 304.

20. Chen G. Hung Y. T. Electrochemical Wastewater Treatment. Process in Handbook of Environmental Engineering // Volumes. Edited by Wang L., K. Hung Y-T, Shammass N.K. The Humana Press Inc. Totowa NY. – 2007. – P.57.

21. Chen X. Electroflotation Electrochemistry for the Environment / Chen X., Chen G // – 2010. – P. 263.

22. Евич (Хохрина) Н. А., Ильин В. И. Анализ патентной информации в области очистки воды электрохимическими методами // Успехи в химии и химической технологии. – 2009. – № 23. – №10. – С. 58.

23. Matis K.A. Flotation as a separation process // Wiley. Sons. – 2015.

24. Смирнова В.С. Очистка сточных вод гальванических производств от ионов тяжелых цветных металлов / Современное строительство. Теория и практика / Смирнова В.С., Худорожкова С.А., Ручкина О.И. // – 2018. – Т. 2. – С. 405-417.
25. Мустафина А.А. Улучшение технологии очистки сточных вод в гальваническом производстве методом электрофлотации / Мустафина А.А., Меллит Н.В., Елизарьева Е.Н // В сборнике: Актуальные проблемы социального, экономического и информационного развития современного общества Всероссийская научно-практическая конференция, посвящённая 100-летию со дня рождения первого ректора Башкирского государственного университета Чанбарисова Шайхуллы Хабибулловича. Башкирский государственный университет. – 2016. – С. 64-66.
26. Мишурина О.А. Способы извлечения металлосодержащих дисперсных систем из водных растворов / Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2016. – № 11-2. – С. 207-210.
27. Maarof, H.I. Последние тенденции удаления и извлечения тяжелых металлов из сточных вод с помощью электрохимических технологий / Maarof, H.I., Daud, W.M.A.W., Aroua, M.K // *Reviews in Chemical Engineering* (2017), – V. 33(4), – P. 359-386. [DOI: 10.1515/revce-2016-0021](https://doi.org/10.1515/revce-2016-0021)
28. Чепель А.Е. Характеристика процесса очистки сточных вод фармацевтических предприятий с использованием метода анализа иерархий / Чепель А.Е., Гребенюк Т.В // Актуальные научные исследования в современном мире. – 2018. – № 11-6(43). – С. 69-74.
29. Храмов А.Г. Традиции и инновации промышленной переработки сыворотки. Мембранная электрофлотация / Переработка молока. – 2017. – № 5 (211). – С. 50-52.
30. Шайдозим Д. В Интегрированный способ удаления красителей из сточных вод / В сборнике: Актуальные проблемы строительства, ЖКХ и техносферной безопасности. Материалы IV Всероссийской научно-технической конференции молодых исследователей (с международным участием). Под общей редакцией Н.Ю. Ермиловой. – 2017. – С. 240-244.
31. Звягинцева А.В. Оценка техногенного загрязнения объектов окружающей среды предприятий электрометаллургического профиля / Звягинцева А.В., Рубцова Ю.К // В сборнике: Экологическая геология: теория, практика и региональные проблемы V

Международная научно-практическая конференция (Посвящается Году экологии в России; Третьей годовщине присоединения Крыма к России; Столетию Воронежского Государственного университета; 10-летию кафедры экологической геологии геологического факультета Воронежского государственного университета). – 2017. – С. 235-238.

32. Филиппова Е.В. Снижение экологической нагрузки на золоторудные районы за счёт применения комбинированной электрофлотации Филиппова Е.В / В сборнике: Техносферная безопасность байкальского региона Сборник статей Международной научно-практической конференции. Ответственный редактор В.В. Звягинцев. – 2017. – С. 163-169.

33. С Нуриева Э.И. Современные электрофлотационные технологии очистки сточных вод от нефтепродуктов / С Нуриева Э.И., Удалова Е.А // В книге: 67-я Научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых УГНТУ Сборник материалов конференции. ФГБОУ ВО "Уфимский государственный нефтяной технический университет". – 2016. – С. 140-141.

34. Rojas R.H. Основные факторы, влияющие на размер пузырьков водорода и кислорода, образующихся в процессе электрофлотации / Rojas R.H., Torem M.L., Merma A.G., Puelles J.G.S., Couto H.J.B // IMPC 2016 - 28th International Mineral Processing Congress, 2016-September,.

35. Alekseev E. Особенности выделения газа в процессах очистки сточных вод методом электрофлотации / Alekseev E., Stashevskaya N // MATEC-2018, Web of Conferences, 251, статья № 03021. DOI: [10.1051/mateccconf/201825103021](https://doi.org/10.1051/mateccconf/201825103021)

36. Mejri M. Изучение гидродинамики в трехфазной электрофлотации колон / Mejri M., Ksentini I., Kotti M., Mansour L.B // Desalination and Water Treatment-2018, – № 132. – P. 150-156. DOI: [10.5004/dwt.2018.23130](https://doi.org/10.5004/dwt.2018.23130).

37. Алексеев Е.В. Изучение удельного газовыделения применительно к электрофлотации / Научное обозрение. – 2015. – № 9. – С. 139-145.

38. Дмитриев Е.А. О стесненном движении газовых частиц в жидкости / Дмитриев Е.А., Трушин А.М., Куликов М.В., Тарасова Т.А., Кузнецова И.К // В сборнике: V Международная конференция-школа по химической технологии ХТ'16 Сборник тезисов докладов сателлитной конференции XX Менделеевского съезда по общей и прикладной химии. – 2016. – С. 69-71.

39. Морозова Е.А. Обработка сточных промышленных вод методом электрофлотации расчет электрофлотатора / Морозова Е.А., Сидорова Л.П // В сборнике: Формирование новой парадигмы научно-технического развития Сборник научных трудов по материалам Международной научно-практической конференции. В 2-х частях. Под общей редакцией Е.П. Ткачевой. – 2018. – С. 80-84.
40. Ксенофонтов Б.С. Электрофлотационная очистка сточных вод биотехнологических производств / Ксенофонтов Б.С., Бондаренко А.В., Капитонова С.Н // Водоочистка, 2018. – № 4. – С. 48-55.
41. Шкерин С.А. Усовершенствование конструкции аппарата электрофлотационной очистки, предназначенного для удаления нефтяных эмульсий / Шкерин С.А., Овчинников Г.В., Солдатов А.И // В сборнике: Сервис технических систем - агропромышленному комплексу России. Материалы международной научно-практической конференции. Министерство сельского хозяйства Российской Федерации, Департамент научно-технологической политики и образования; ФГБОУ ВО "Южно-Уральский государственный аграрный университет". – 2017. – С. 212-218.
42. Шкерин С.А., Овчинников Г.А., Солдатов А.И. Усовершенствование конструкции аппарата электрофлотационной очистки, предназначенного для удаления нефтяных эмульсий В сборнике: Молодой исследователь Материалы 3-й научной выставки-конференции научно-технических и творческих работ студентов // Министерство образования и науки Российской Федерации, Южно-Уральский государственный университет. – 2016. – С. 140-144.
43. Максимов Е.А. Технологические процессы очистки нефтесодержащих сточных вод / Максимов Е.А., Васильев В.И // Технологии нефти и газа. – 2015. – № 1 (96). – С. 16-28.
44. Эпштейн С.И. Электрофлотационный аппарат для очистки моющих растворов / Эпштейн С.И., Музыкаина З.С., Сталинская И.В // Экология и промышленность. – 2016. – № 4 (49). – С. 19-24.
45. Филатова Е.Г. Обзор технологий очистки сточных вод от ионов тяжелых металлов, основанных на физико-химических процессах // Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология. – 2015. – № 2 (13). – С.97-109.
46. Нозирзода Ш.С. Электрохимическая очистка воды / В сборнике: Экология и безопасность в техносфере: современные проблемы и пути решения. Сборник трудов

Всероссийской научно-практической конференции. Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Юргинский технологический институт. – 2016. – С. 129-131.

47. Карлина А.И. Анализ современных и перспективных способов воздействия на природные и сточные воды / Вестник Иркутского государственного технического университета. – 2015. – № 5 (100). – С. 146-150.

48. Золотарева А.А. Оптимальные методы очистки сточных вод промышленного производства / Водоочистка. Водоподготовка. Водоснабжение. – 2017. – № 1 (109). – С. 50-53.

49. Sillanpää, M., Shestakova, M. Методы электрохимической очистки воды: основы, методы и полномасштабное применение / *Electrochemical Water Treatment Methods: Fundamentals, Methods and Full Scale Applications*. 2017. – P. 1-310.

50. Золотарева А.А. Оптимальные методы очистки сточных вод промышленного производства / *Wschodnioeuropejskie Czasopismo Naukowe*. – 2016. – Т. 14. – № 3. – С. 42-44.

51. Аунг Пьяе. Влияние композиции фосфатирования DecorrDal на электрофлотационное извлечение труднорастворимых соединений Cu, Ni, Zn, Co, Fe, Al из промывных и сточных вод / Аунг Пьяе, Хейн Т.А., Колесников А.В // Гальванотехника и обработка поверхности. – 2019. – Т. 27, – № 2. – С. 31-39.

52. Аунг Пьяе. Исследование эффективности электрофлотационного процесса совместного извлечения ионов Cu, Ni и Zn в составе многокомпонентных систем / Аунг Пьяе, Щербакова Г.А., Щербакова Л.А., Хейн Т.А., Колесников А.В // Вода: химия и экология. – 2019. – № 3-6. – С. 54-60.

53. Колесников А.В. Исследование электрофлотационного процесса извлечения поверхностно-активных веществ, ионов железа (II, III) и углеродных наноматериалов из водных растворов / Колесников А.В., Милютин А.Д., Воробьева О.И., Колесников В.А // Химическая промышленность сегодня. – 2016. – № 5. – С. 33-44.

54. Колесников А.В. Анализ эффективности работы электрохимической, мембранной и сорбционной технологий очистки сточных вод от ионов тяжёлых металлов и органических примесей / Колесников А.В., Кисиленко П.Н., Графов Д.Ю., Ильин В.И // Гальванотехника и обработка поверхности. – 2013. – Т. 22. – № 3. – С.45–53.

55. Колесников В.А. Электрофлотационное извлечение ионов металлов, находящихся в составе многокомпонентных систем, из сточных вод гальванического производства / Колесников В.А., Крючкова Л.А., Ильин В.И., Колесников А.В // Гальванотехника и обработка поверхности. – 2015. – Т. 23. – №1. – С.51-59.
56. Ксенофонтов Б.С. Электрофлотационная очистка сточных вод микробиологических производств / Ксенофонтов Б.С., Бондаренко А.В., Капитонова С.Н // Сантехника. – 2012. – № 1. – С. 52-56.
57. Ксенофонтов Б.С. Электрофлотационная очистка сточных вод биотехнологических производств / Ксенофонтов Б.С., Капитонова С.Н., Бондаренко А.В // Водоочистка. – 2013. – № 8. – С. 19-24.
58. Ksentini I. Modeling the hydrodynamic of an electroflotation column the treatment of industrial wastewaters / Ksentini I., Ben Mansour L // Desalination and Water Treatment. – 2014. – V. 56. – № 7. – P. 1722-1727. DOI: [10.1080/19443994.2014.950989](https://doi.org/10.1080/19443994.2014.950989).
59. Bouyakoub A.Z. Combined treatment of a textile effluent containing reactive dyes by coagulationflocculation and electroflotation / Bouyakoub A.Z., Kacha S., Ouhib R., Bellebia S., Lartiges B // Journal of Water Science. – 2010. – V. 23. – № 1. – P. 89-103. DOI: [10.7202/038927](https://doi.org/10.7202/038927).
60. Shemi A. Clarification of flexographic wastewater by electrocoagulation and electroflotation / Shemi A., Hsieh J., Lee D // Appita Technology, Innovation, Manufacturing, Environment. – 2014. – V. 67. – № 3. – P. 212-218.
61. Wang Chih-Ta. Removal of COD from laundry wastewater by electrocoagulation/electroflotation / Wang Chih-Ta, Chou Wei-Lung, Kuo Yi-Ming // Journal of Hazardous Materials. 2009. V. 164. – № 1. – P. 81-86. DOI: [10.1016/j.hazmat.2008.07.122](https://doi.org/10.1016/j.hazmat.2008.07.122)
62. Mansour L.B. Treatment of effluents from cardboard industry by coagulation-electroflotation / Mansour L.B., Kesentini I. // Journal of Hazardous Materials. – 2008. – V. 153. – № 3. – P. 1067-1070. DOI: [10.1155/2017/5184590](https://doi.org/10.1155/2017/5184590).
63. Zodi S. Direct red 81 dye removal by a continuous flow electrocoagulation/flotation reactor / Zodi S., Merzouk B., Potier O., Lapticque F., Leclerc J.P // Separation and Purification Technology. – 2013. – V. 108. – P. 215-222. DOI: [10.1155/2017/5184590](https://doi.org/10.1155/2017/5184590).
64. Da Mota I.D.O. Study of electroflotation method for treatment of wastewater from washing soil contaminated by heavy metals / Da Mota I.D.O., de Castro J.A., de Góes

- Casqueira R., de Oliveira Junior A.G // Journal of Materials Research and Technology. – 2015. – V. 4. – № 2. – P. 109-113.
65. Bande R.M. Oil field effluent water treatment for safe disposal by electroflotation / Bande R.M., Prasad B., Mishra I.M., Wasewar K.L // Chemical Engineering Journal. – 2008. – V. 137. – № 3. – P. 503-509.
66. Виноградов С.С. Организация гальванического производства. Оборудование, расчет производства, нормирование / Под редакцией проф. В.Н. Кудрявцева. – Изд. 2-е, перераб. и доп; Глобус. М. – 2005. С – 240.
67. Харламова Т.А. Перспективные электрохимические процессы в технологиях очистки сточных вод / Харламова Т.А., Колесников А.В., Бродский В.А., Кондратьева Е.С // Гальванотехника и обработка поверхности. – 2013. – Т.21. – № 1. – С. 54.
68. Колесников А.В. Роль поверхностно-активных веществ в электрофлотационном процессе извлечения гидроксидов и фосфатов меди, никеля и цинка / Колесников А.В., Кузнецов В.В., Колесников В.А., Капустин Ю.И // Теоретические основы химической технологии. – 2015. – Т. 49. – №1. – С. 3.
69. Хейн Т.А. Электрофлотация и седиментация в очистке сточных вод от гидроксидов тяжёлых и цветных металлов / Хейн Т.А., Аунг Пьяе, Тхан З.Х., Колесников В.А // Химическая промышленность сегодня. – 2019. – № 6. – С. 30-37.
70. Аунг Пьяе. Повышение эффективности электрофлотационного процесса совместного извлечения ионов Cu и Zn в составе многокомпонентных систем / Аунг Пьяе, Хейн Тху Аунг, Колесников А.В., Колесников В.А // Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева, Москва, Россия. МКХТ. – 2017. – Т. 31. – №6. – С. 49-51.
71. Аунг Пьяе. Исследование процесса совместного электрофлотационного извлечения ионов меди и цинка / Аунг Пьяе, Хейн Тху Аунг, Колесников А.В., Колесников В.А // Успехи в химии и химической технологии. – 2018. – Т. 32.– № 3. – С. 63-66.
72. Колесников В.А. Оборудование, технологии и проектирование систем очистки сточных вод / Колесников В.А., Меньшутина Н. В., Десятов А. В // – М.: ДеЛи плюс. – 2016. – С. 289.
73. Колесников А.В. Роль поверхностно-активных веществ в интенсификации и повышении интенсивности электрофлотационного процесса извлечения

труднорастворимых соединений лантана / Колесников А.В., Гайдуков В.А., Колесников В.А // Теоретические основы Химической технологии. – 2016. – Т. 50. – № 2. – С. 147-152.

74. Хейн Тху Аунг. Влияние флокулянтов различной природы на эффективность процесса электрофлотационного извлечения цветных металлов в составе многокомпонентных смесей / Хейн Тху Аунг, Аунг Пьяе, Колесников А.В., Колесников В.А // Успехи в химии и химической технологии. – 2018. – Т. 32.– № 3. – С. 66-69.

75. Аунг Пьяе. Влияние кислотности среды на кинетику процесса электрофлотационного извлечения Fe в присутствии моющего средства decorrda // Аунг Пьяе, Хейн Тху Аунг, Колесников А.В // Успехи в химии и химической технологии. – 2018. – Т. 32.– № 3. – С. 102-104.

76. Аунг Пьяе. Исследование процесса совместного электрофлотационного извлечения ионов меди и цинка в присутствии катионных органических примесей / Аунг Пьяе, Хейн Тху Аунг, Колесников А.В., Колесников В.А // Успехи в химии и химической технологии. – 2018. – Т. 32. – №3. – С. 104-107.

77. Хейн Тху Аунг. Влияние моющего раствора decorrda на основании куменсульфоната натрия на электрофлотационное извлечение Al и Fe / Хейн Тху Аунг, Аунг Пьяе, Колесников А.В., Колесников В.А // Успехи в химии и химической технологии. – 2018. – Т. 32. – № 3. – С. 118-120.

78. Аунг Пьяе. Влияние органических композиций, применяемых в обработке поверхности металлов на процесс электрофлотационного извлечения смеси труднорастворимых соединений меди и никеля / Аунг Пьяе, Щербакова Г.А., Хейн Тху Аунг, Колесников А.В. // Успехи в химии и химической технологии. – 2019. – Т. 33.– № 8. – С. 57-59.

79. Щербакова Г.А. Влияние растворителя р-5 на электрофлотационное извлечение смеси гидроксидов меди и цинка / Щербакова Г.А., Аунг Пьяе, Хейн Т.А., Колесников А.В // XIV Конференция молодых ученых, аспирантов и студентов ИФХЭ РАН Физикохимия – 2019. 2 – 6 декабря 2019. – С. 220-221.

80. Аунг Пьяе. Влияние органических композиций применяемых в обработке поверхности металлов на электрофлотационное извлечение смеси труднорастворимых соединений цинка и никеля / Аунг Пьяе, Колесников А.В., Колесников В.А //

Инновационные материалы и технологии: Международная научно-техническая конференция молодых ученых 2020. Беларусь. – С. 102-105.

81. Аунг Пьяе. Электрофлотационное извлечение смеси труднорастворимых соединений цинка и никеля в присутствии органических компонентов, применяемых в обработке поверхности металлов / Аунг Пьяе, Хейн Тху Аунг., Колесников А.В // Материалы Международного молодежного научного форума «ЛОМОНОСОВ-2020» [Электронный ресурс] М.: МАКС Пресс. – 2020.

82. Колесников А.В. Исследование извлечения гидроксидов тяжелых металлов, топлива и ПАВ / Колесников А.В., Капустин Ю.И., Воробьева О.И // Химическая промышленность сегодня. – 2009. – № 7. – С. 31.

83. Баширов Р.Р. Исследование нейтрализации щелочных сточных вод производств основного органического синтеза углекислым газом / Баширов Р.Р., Гафуров Р.Р., Мухаметшин И.Р., Шулаев М.В // Химическая промышленность сегодня. – 2010. – № 5. – С. 44-51.

84. Аунг Пьяе. Влияние поверхностно-активных веществ различной природы на электрофлотационное извлечение смеси труднорастворимых меди, цинка и никеля в присутствии пенетранта ЛЖ-6А / Аунг Пьяе, Оршанский А.В., Хейн Т.А., Колесников А.В // Актуальные вопросы химической технологии и защиты окружающей среды, г. Чебоксары. – 2020. – С. 31-32.

85. Аунг Пьяе. Электрофлотационное извлечение смеси труднорастворимых соединений меди, никеля и цинка в присутствии промышленных ПАВ / Аунг Пьяе, Милютин А.Д., Савельев Д.С // Актуальные вопросы химической технологии и защиты окружающей среды, г. Чебоксары. – 2020. – С. 33-34.

86. Аунг Пьяе. Воздействие лиганда NH_4OH на совместное извлечение труднорастворимых соединений меди, никеля и цинка в присутствии промышленных ПАВ / Аунг Пьяе, Хейн Тху Аунг., Колесников А.В., Колесников В.А // Успехи в химии и химической технологии. – 2020. – Т. 34.– № 4. – С. 116-118.

87. Аунг Пьяе. Влияние промышленного катионного поверхностно-активного вещества на электрофлотационное извлечение смеси металлов из водного раствора / Аунг Пьяе, Колесников А.В., Стоянова А.Д // Успехи в химии и химической технологии. – 2020. – Т. 34.– № 4. – С. 122-124.

88. Колесников А.В. Влияние поверхностно – активных веществ на электрофлотационное извлечение труднорастворимых соединений меди, никеля, цинка в процессах очистки сточных вод // Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук, 2012 г.