

Министерство образования и науки  
Донецкой Народной Республики  
Государственное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»

*В печать*  
*08.04.2022?*

*На правах рукописи*



**Плотников Денис Александрович**

**ЭКОЛОГИЧЕСКИ БЕЗОПАСНЫЙ СПОСОБ РЕЦИКЛИНГА ОТХОДОВ  
САМОСПАСАТЕЛЕЙ НА ХИМИЧЕСКИ СВЯЗАННОМ КИСЛОРОДЕ**

05.23.19 - Экологическая безопасность строительства и городского хозяйства

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Работа выполнена на кафедре техносферной безопасности Государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры», г. Макеевка

**Научный руководитель:** доктор технических наук, старший научный сотрудник  
**Мамаев Валерий Владимирович,**  
первый заместитель директора  
(по научной работе) НИИГД «Респиратор» МЧС ДНР

**Официальные оппоненты:** **Фесенко Лев Николаевич** доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Водное хозяйство, инженерные сети и защита окружающей среды» ФГБОУ ВПО «Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова» (РФ).

**Верех-Белоусова Екатерина Иосифовна** кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Химия и инновационные химические технологии» ГОУ ВО ЛНР «Луганский национальный университет имени Владимира Даля» (ЛНР).

**Ведущая организация:** ГОУ ВПО «Донецкий национальный технический университет», г. Донецк

Защита состоится « 24 » ноября 2022 года в 12<sup>00</sup> часов на заседании диссертационного совета Д 01.023.03 при ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры» по адресу: Донецкая Народная Республика, 286123, г. Макеевка, ул. Державина, 2. Зал заседаний ученого совета. Тел. факс: +38(0623)22-77-19, e-mail: [d01.023.03@donnasa.ru](mailto:d01.023.03@donnasa.ru).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры» по адресу: 286123, г. Макеевка, ул. Державина, 2 (<http://@donnasa.ru>).

Автореферат разослан « \_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

Ученый секретарь диссертационного  
совета Д 01.023.03  
кандидат технических наук, доцент



Т.С. Башева

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы исследования.** Экологическая безопасность любой территории в первую очередь зависит от градообразующих предприятий, которые преобладают на данной местности. Для Донбасса градообразующими являются предприятия горнодобывающей отрасли. Для населенных пунктов Донбасса, как и многих других урбанизированных территорий, очень остро стоит проблема накопленных и образующихся отходов. Основное беспокойство в сфере защиты окружающей среды вызывают отходы I-III класса опасности.

Одним из опасных отходов, обращение с которыми требует особого внимания, являются изолирующие индивидуальные средства защиты дыхания (самоспасатели) с истекшим сроком эксплуатации, содержащие регенерирующие продукты, которые обязательно применяются на всех шахтах, в количестве из расчета один самоспасатель на одного работающего занятого подземными работами плюс 10 % запаса, их общий объем накопления на угледобывающих предприятиях Донбасса составляет около 27 т/год. Помимо шахт их используют в сферах, где возможен риск образования несовместимой для дыхания среды (горноспасательные и пожарные спасательные службы, при строительстве и обслуживании подземных коммуникаций, метро, тоннелей, военных объектов). Срок их эксплуатации 5 лет, по истечению которого они подлежат обязательной утилизации. Как отходы III класса опасности они не могут быть захоронены на полигонах – по законодательству должны быть переданы предприятиям имеющим лицензию на их переработку.

На сегодняшнее время организаций, имеющих лицензию и проводящих утилизацию данных отходов, в Донбасском регионе – нет. Таким образом, происходит неконтролируемое накопление на угледобывающих предприятиях пожароопасных и токсичных для человека и окружающей среды отходов.

Следует отметить, что основным компонентом самоспасателей является регенеративный продукт, представляющий собой ценный (около 80 % стоимости аппарата) надпероксид, который целесообразно использовать повторно в качестве вторичного материального ресурса.

**Связь работы с научными программами, планами, темами.** Основные исследования теоретического и экспериментального характера выполнены в соответствии с государственными научно-исследовательскими темами: НИИГД «Респиратор» №12112011 «Исследовать возможность утилизации регенеративного продукта из самоспасателей с химически связанным кислородом, непригодных к эксплуатации» 01.01.2021-30.06.2022. Заказчик ГВГСС МЧС ДНР; К-3-05-16 «Снижение рисков возникновения опасных ситуаций на промышленных объектах» (номер гос. регистрации 0117 Д 000277) от 02.05.2017 г.; К-3-05-21: «Повышение уровня безопасности и ресурсосбережения при обращении с твердыми и жидкими отходами деятельности предприятий» от 18.02.2021 г., при непосредственном участии автора в качестве исполнителя.

**Степень разработанности темы исследования.** Вопросам отходов изолирующих дыхательных аппаратов (самоспасателей) на химически связанном кислороде и их регенеративным компонентам посвящены работы ученых: Донбасса – Ильинского Э.Г., Зборщик Л.А., Бурего Н.Н.; России – Шевченко Т.В., Ульрих Е.В., Зеленцовой В.В., Неверовой О.А.; Германии – Bölke K.P., Hermülheim W.; Китая – Sun J.-P., Zhou X., Hu X.; Индии – Kumar A., Mondal P.C.; ЮАР – Schreiber W.L., Van Zyl, F.J., Kielblock, A.J. Существующий опыт использования самоспасателей на химически связанном кислороде в

угледобывающих и других отраслях свидетельствует о широкой географии и перспективности их применения. Однако вопросы экологической безопасности при обращении с отходами самоспасателей, их воздействие на окружающую среду освещены недостаточно. Затрагиваются в основном технологические особенности обезвреживания отходов, а вопросы повторного использования ограничиваются рекомендациями по возможным областям их применения, не приводя конкретных, обоснованных решений и способов.

**Цель исследования** – повышение экологической безопасности промышленного и городского хозяйства региона путем разработки способа рециклинга опасного регенеративного продукта отходов самоспасателей на химически связанном кислороде с повторным использованием данного продукта для умягчения и обеззараживания воды.

**Задачи исследования:**

1. Исследовать отходы шахтных самоспасателей на химически связанном кислороде как источника экологической опасности Донбасского региона и изучить их влияние на окружающую среду.

2. Определить величину ущерба при обращении с отходами самоспасателей на химически связанном кислороде.

3. Исследовать применяемые способы обращения с регенеративным продуктом отходов шахтных самоспасателей для установления особенностей и закономерностей повторного использования отходов, и определить научные направления разработки новых способов и средств по вторичному их использованию.

4. Выполнить аналитические и экспериментальные исследования по определению основных параметров процессов обработки шахтных вод (снижение солесодержания, показателей щелочности и жесткости воды, седиментационный анализ осадков, обеззараживание, исследование влияния десорбции углекислого газа на степень очистки) с использованием для ее обработки регенеративного продукта самоспасателей.

5. Разработать экологически безопасный способ рециклинга регенеративного продукта отходов изолирующих самоспасателей с возможностью их применения для обработки шахтных вод с последующим их использованием для технических нужд предприятий.

**Объект исследования** – экологически опасные отходы самоспасателей на химически связанном кислороде.

**Предмет исследования** – закономерности влияния регенеративного продукта отходов самоспасателей на показатели процесса очистки при его использовании в качестве реагента для умягчения и обеззараживания вод с повышенным содержанием соединений жесткости.

**Научная новизна полученных результатов** состоит в следующем:

1. Выявлены зависимости характеризующие процесс обработки шахтных вод регенеративным продуктом отходов самоспасателей на химически связанном кислороде.

2. Установлено, что обработка регенеративным продуктом отходов самоспасателей на химически связанном кислороде шахтной воды обеспечивает степень умягчения и обеззараживания удовлетворяющую требованиям для использования в технических целях предприятий.

3. Установлено, что при использовании флокулянта полиакриламида для укрупнения осаждаемых частиц шахтной воды предварительно умягченной кислородсодержащим продуктом отходов самоспасателей, снижается время седиментации осадка на 19-27 %, а масса осадка уменьшается на 16-18 % от массы осадка без применения флокулянта.

4. Установлены зависимости количественного содержания пероксида водорода от

температуры, концентрации, уровня pH реакционной смеси из регенеративного продукта отходов самоспасателей. Наличие высоких концентраций пероксида водорода в растворе продукта ОКЧ-3 открывает дополнительные возможности его использования в качестве реагента для обеззараживания воды.

#### **Теоретическая и практическая значимость работы:**

- экологически безопасный способ рециклинга дорогостоящего, трудоемкого и опасного для окружающей среды в производстве регенеративного продукта путем его использования в качестве реагента для умягчения и обеззараживания воды является значимым ввиду широкого распространения и применения в различных сферах, направленный на соблюдение основного принципа экологии: оценка жизненного цикла продукции с возможностью максимального извлечения полезных компонентов;

- разработан способ позволяющий утилизировать опасные отходы самоспасателей, который может быть применен на угледобывающих предприятиях для обработки шахтной воды с последующим использованием для систем обеспыливания.

- обоснованные научные положения и разработанные инженерные решения диссертационной работы приняты в качестве дополнительных мероприятий, которые направлены в Программу развития шахты им. А.Ф. Засядько.

- результаты работы внедрены в учебный процесс ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры» при подготовке бакалавров по направлению 20.03.01 «Техносферная безопасность» по профилю «Инженерная защита окружающей среды» в дисциплинах: «Обращение с отходами», «Малоотходные и ресурсосберегающие технологии», а также в выполняемые в Академии научные исследования.

#### **Методология и методы исследования.**

При выполнении диссертационной работы был использован комплексный метод исследования: анализ и обобщение информационных источников; теоретические исследования процессов обезвреживания и утилизации отходов самоспасателей; экспериментальные исследования процессов умягчения и обеззараживания регенеративным продуктом отходов самоспасателей шахтной воды с использованием титриметрического метода анализа, дисперсные характеристики шахтной воды после умягчения – весовым и методом седиментационного анализа; показатели солесодержания обработанной шахтной воды с использованием метода кондуктометрии, водородный показатель – потенциометрическим методом. В ходе выполнения расчетно-аналитических исследований использовался метод корреляционно-регрессионного анализа.

#### **Положения, выносимые на защиту:**

- экологически безопасный способ рециклинга отходов шахтных самоспасателей на химически связанном кислороде;

- экспериментальное обоснование способа очистки вод с повышенным содержанием соединений жесткости и обеззараживанием при помощи регенеративного продукта отходов самоспасателей для последующего их использования в технических нуждах предприятий.

#### **Степень достоверности и апробация результатов диссертации.**

Обоснованность научных положений, выводов и рекомендаций подтверждена соответствием полученных зависимостей основным физическим законам и установившимся представлениям умягчения, обеззараживания, определения количественного содержания компонентов; хорошей сходимостью результатов расчетных и экспериментальных данных; высоким значением коэффициента корреляции Пирсона.

Основные результаты диссертационной работы докладывались и получили

положительную оценку на XII Международной научно-практической конференции «Безопасность жизнедеятельности предприятий в промышленно развитых регионах» КузГТУ (Кемерово, 2017 г.); III Республиканской научной конференции приуроченной ко Дню спасателя Донецкой Народной Республики «Безопасность в чрезвычайных ситуациях» АГЗ МЧС ДНР (Донецк, 2020 г.); 65-ой Международной научной конференции Астраханского государственного технического университета (Астрахань, 2021 г.); XVII Международной научно-практической конференции «Комплексные проблемы техносферной безопасности» Воронежский государственный технический университет (Воронеж, 2021 г.); VIII Международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы землеустройства и кадастров» Пензенский ГУАС (Пенза, 2021 г.).

**Публикации.** Результаты исследований опубликованы в 9 научных изданиях, в том числе 5 работ в рецензируемых научных изданиях рекомендуемых МОН ДНР, 1 работа включенная в международную базу данных Scopus; 3 работы в сборниках трудов Международных научно-практических конференций.

**Структура и объем работы.** Диссертация состоит из введения, пяти разделов, выводов и рекомендаций, списка использованных источников из 143 наименований. Содержит 139 страниц, в том числе 113 страниц основного текста, 19 страниц списка использованной литературы, 7 страниц приложений.

## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Во введении** обоснована актуальность темы, сформулированы цели и задачи диссертационного исследования, показана связь с научными программами, темами, сформулированы научная новизна, практическое значение полученных результатов, положения, выносимые на защиту.

**В первом разделе** приведены результаты анализа существующего состояния вопроса по обращению с опасными для окружающей среды отходами самоспасателей на химически связанном кислороде (изолирующие средства индивидуальной защиты органов дыхания). Охарактеризовано влияние этих отходов на окружающую среду, установлена величина экологического ущерба и доказано, что отходы самоспасателей на химически связанном кислороде представляют значительную опасность в связи с его токсичностью для человека и окружающей среды, высокой пожароопасностью и реакционной способностью, а некоторые компоненты самоспасателей являются ценным и дорогостоящим продуктом. Таким образом, накопление данных отходов является государственной экологической проблемой, требующей принятия природоохранных мероприятий.

При неконтролируемом сбросе регенеративного продукта самоспасателя (в одном самоспасателе содержится около 1 кг регенеративного продукта) на окружающую среду оказывается дополнительная нагрузка, величина которой зависит от места и естественного состояния территории. Наибольшее воздействие причиняется почве, так как щелочь, образующаяся в результате взаимодействия воды с активными компонентами регенеративного патрона самоспасателей, вызывает разрушение почвенного покрова и снижение ее плодородности на значительном расстоянии от мест массового складирования самоспасателей, уничтожает биоценоз данной территории, проникает вглубь грунта, и в подземные водные горизонты. Из всех составляющих элементов изолирующего типа самоспасателей регенеративный продукт (реакционный продукт для образования кислорода) является самым опасным. Проведен литературный обзор способов

обезвреживания и утилизации отходов, характеризующихся высокой реакционной способностью.

Мерой экологической безопасности является величина ущерба окружающей природной среде от возникновения экологически неблагоприятной ситуации. В диссертационной работе выполнен расчет эколого-экономического ущерба для щелочных отходов самоспасателей и реализован на территории Донбасского региона, как региона с широко развитой угольной отраслью. Его значение составляет 8,46 млн. руб/год.

**Во втором разделе** обоснованы основные направления исследований.

С одной стороны, отходы являются одним из самых значительных факторов загрязнения окружающей среды. С другой стороны, использование отходов производства и потребления является одним из источников экономии первичного сырья и материалов. Учитывая это, при решении задачи обезвреживания щелочных отходов самоспасателей, обосновано, что процесс уничтожения этих отходов следует заменить на процесс рециклинга, который должен удовлетворять следующим требованиям: минимальное количество токсичных компонентов в составе отходов; минимальное количество отходов, которые не имеют дальнейшего применения (то есть попадают в окружающую среду); максимальное извлечение ценных компонентов из отходов.

Процесс обращения с комплектующими частями отходов самоспасателей, кроме регенеративного патрона, сводится к разбору аппарата с последующей переработкой, либо повторным использованием его составных частей – вопросов данный процесс не вызывает. Вопросы утилизации, а именно повторного использования регенеративного продукта самоспасателей с истекшим сроком годности практически не изучены, существующие исследования в основном заканчиваются общими рекомендациями, а конкретных технологий или способов переработки данных отходов авторы не приводят. Вопрос оптимального обращения с регенеративным продуктом самоспасателей исследован недостаточно.

В условиях Донбасса а также странах ближайшего зарубежья при обращении с регенеративным продуктом (состоит из  $\text{KO}_2$  – 85-88 %,  $\text{CaO}$  – 11 %; хризотилловый асбест – 2-4 %) отходов самоспасателей выделяют четыре основных способа. Анализ существующих нормативных документов показал, что основным критерием, используемым при характеристике отходов и оценке способов их обезвреживания, приводящих к устранению или значительному уменьшению негативного воздействия отходов на биоценоз объектов окружающей среды и снижение токсичности остаточных отходов, является «класс опасности», который определяется исходя из индекса токсичности. С другой стороны, отходы производства и потребления являются одним из источников первичного сырья и материалов. То есть при оценке методов и способов обращения с отходами следует учитывать количество отходов, использованных в качестве вторичных материальных ресурсов – коэффициент безотходности. Проведен сравнительный анализ (таблица 1) схем обращения с отходами самоспасателей на химически связанном кислороде, применяемых в Донбасском регионе с использованием индекса токсичности ( $K_i$ ) и коэффициента безотходности ( $K_6$ ).

Оценив экологическую безопасность способов обращения с отходами самоспасателей, применяемых в современных условиях, можно сделать вывод, что большинство способов снижают токсичность отхода, но являются «рядовыми» согласно классификации по коэффициенту безотходности, потому что  $K_6 < 80$  %. Таким образом, недостатком перечисленных способов утилизации является несоблюдение одного из основных принципов экологии, а именно иерархии обращения с отходами, целью которой является получение наибольшей практической выгоды из продуктов утилизации и

наименьшее количество отходов. Согласно новейшим подходам в сфере защиты окружающей среды наиболее перспективным является направление, при котором отход утилизируется на месте его образования.

Таблица 1 – Характеристика экологической безопасности применяемых схем обращения с отходами самоспасателей

Характеристика схем обращения с отходами самоспасателей	Индекс токсичности, $K_i$	Класс опасности	Коэффициент безотходности, $K_b$
Схема 1 - отходы самоспасателей накапливаются на территории угледобывающего предприятия	3,4	III (умеренно опасные)	0
Схема 2 - отходы самоспасателей сжигаются на породном отвале в предварительно подготовленной выемке с последующим закапыванием	4,29	III (умеренно опасные)	0
Схема 3 - аппарат разбирают на составные части, содержимое регенеративного патрона гасят водой в бетонной яме, образовавшуюся щелочь разбавляют большим количеством воды до безопасной концентрации и сливается в городскую канализацию	16,2	IV (мало опасные)	0,37 (рядовой)
Схема 4 - аппарат разбирают на составные части, содержимое регенеративного патрона нейтрализуют слабым раствором кислоты (серной, соляной или азотной) и сливают в городскую канализацию	28,7	IV (мало опасные)	0,37 (рядовой)

На ценность кислородсодержащего продукта оказывают влияние следующие факторы: трудозатраты, высокая опасность и вредность производства; дороговизна продукта; токсичность для человека и окружающей среды, обязательное и дорогостоящее обезвреживание.

Одной из наиболее острых экологических проблем Донбасского региона являются значительные объемы откачиваемых на поверхность шахтных вод их общий водоприток составляет приблизительно 300 млн. м<sup>3</sup>/год. При этом на территории региона ощущается нехватка пресной воды для населения и предприятий. Данной проблеме посвящены работы В.Ф. Гребенюка, А.Т. Пилипенко, С.П. Высоцкого, Н.Г. Насонкиной, С.Е. Гулько и др. в которых обоснована целесообразность использования альтернативных источников водоснабжения, а именно шахтных вод, для применения в сельскохозяйственных и промышленных системах.

Шахтные воды в регионе имеют высокие показатели соединений жесткости и тяжелых металлов, солесодержания, органических загрязнений, их водоподготовка для использования в хозяйственно-питьевом водоснабжении требует значительных экономических затрат, что является нецелесообразным. Остается возможность использования шахтной воды в технических целях предприятия, для локальных, узкоспециализированных нужд угледобывающих предприятий, например для решения важной экологической проблемы – комплексного обеспыливания воздуха в местах хранения, погрузки, транспортировки и т.д. сыпучих материалов.

Повторное использование отходов шахтных самоспасателей в целях обработки шахтной воды и её последующим применением в системах обеспыливания угледобывающих предприятий обусловлено четырьмя основными факторами:

1. Негативное воздействие угольной пыли на окружающую природную среду:
  - снижение дыхательной активности биологических систем;
  - накопление угольной пыли в поверхностном слое почвы;



- аккумуляция в ОС содержащихся в угле примесей тяжелых металлов.

2. Расход дефицитных водных ресурсов на работу систем обеспыливания при ежедневном откачивании и сбросе в поверхностные водоемы шахтной воды.

3. Проблема выхода из строя форсунок систем обеспыливания в результате отложений в них соединений жесткости:

- даже использование воды из систем городского водоснабжения с жесткостью около 7 мг-экв/дм<sup>3</sup> не решает проблему.

4. Особенности химического состава компонентов регенеративного продукта (ОКЧ-3) отходов самоспасателей:

- растворение компонентов регенеративного продукта, таких как супероксид калия и известь в шахтной воде, приведут к образованию щелочных компонентов способствующих умягчению воды (реакции (1, 2));

- растворение супероксида калия в шахтной воде должно привести к образованию пероксида водорода, который обладает обеззараживающим эффектом (реакция (1)).

Таким образом, наиболее рациональным экологически безопасным способом рециклинга кислородсодержащего продукта отходов самоспасателей будет его использование в качестве реагента для умягчения и обеззараживания шахтной воды, который будет способствовать снижению негативного воздействия на окружающую природную среду региона.

**В третьем разделе** приведена характеристика объектов и методология исследования.

Согласно НПАОП 10.0-5.07-04 «Инструкция по комплексному обеспыливанию воздуха», а также СОУ 10.1.00174125.016:2008 «Использование шахтных вод для технического водоснабжения. Общие технические требования» критериями оценки пригодности использования шахтных вод для технических целей являются такие показатели как общее солесодержание, водородный показатель, общая щелочность и жесткость, коли-титр кишечных палочек, снижение которых можно добиться обработкой регенеративным продуктом.

Таблица 2 – Нормативные показатели качества шахтной воды для использования в техническом водоснабжении

Наименование компонентов	Показатель качества воды пригодного для технического водоснабжения
Водородный показатель, <i>pH</i>	6–8,5 (9,5*)
Жесткость общая, мг·экв/дм <sup>3</sup>	< 7
Щелочность общая, мг·экв/дм <sup>3</sup>	< 6,5
Солесодержание общее, мг/дм <sup>3</sup>	< 3500
Взвешенные вещества, мг/дм <sup>3</sup>	< 1,5 (50*)
Коли-титр кишечных палочек, дм <sup>3</sup>	< 300

\* - Согласно НПАОП 10.0-5.07-04

(п.7. Водоснабжение горных выработок и водоподготовка)

Основными нормативными показателями качества шахтной воды для использования в техническом водоснабжении приведены в таблице 2.

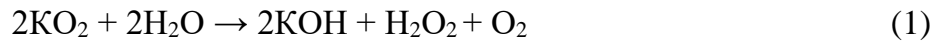
Суммарные затраты потребления воды на технические нужды шахты им. А.Ф. Засядько – 202,3 тыс. м<sup>3</sup>/год, что составляет 76,6 % общего водопотребления шахты, из них расходуется на комплексное обеспыливание – 32,84 тыс. м<sup>3</sup>/год. Затраты шахты на водопотребление на технические нужды составляют 5047,6 тыс. руб. в год, при этом шахта им. А.Ф. Засядько ежедневно откачивает и сбрасывает в р. Кальмиус 7,4 тыс. м<sup>3</sup>/сутки шахтной воды после отстаивания, шахта им. М.И. Калинина – 2,8 тыс. м<sup>3</sup>/сутки.

Сравнение результатов санитарно-профилактических лабораторий по отбору проб и анализу промышленных стоков,

предоставленных шахтами им. А.Ф. Засядько и им. М.И. Калинина показал, что по большинству показателей химический состав вод на шахтах практически идентичен.

Оценка химического состав шахтных вод шахт им. А.Ф. Засядько и им. М.И. Калинина показала, что общее солесодержание составляет 1882-2100 мг/дм<sup>3</sup>, общая жесткость 11,6-13,4 мг-экв/дм<sup>3</sup>, уровень рН – 8,1-8,4. Показатель жесткости воды значительно превышают нормативные значения даже для технического использования. Показатель солесодержания шахтной воды имеет высокое значение, однако, для технического водоснабжения в целом допускается минерализация до 3500 мг/дм<sup>3</sup>, а при некоторых вариантах использования допускается еще выше – определяется для каждого конкретного случая. Водородный показатель удовлетворяет требованиям технического использования, при этом необходимо учитывать, что обработка воды щелочным продуктом самоспасателя в больших количествах может превысить требования норм.

При гашении регенеративного продукта отходов самоспасателей происходит реакция его основных компонентов надпероксида калия (KO<sub>2</sub>) и оксида кальция (CaO) с водой, в результате образуются сильные щелочи гидроксида калия (KOH) и гидроксида кальция (Ca(OH)<sub>2</sub>) согласно реакциям (1, 2):



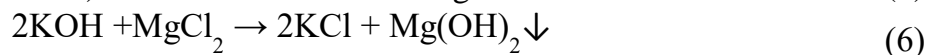
Снижение показателей карбонатной жесткости шахтной воды при обработке гашенным регенеративным раствором теоретически происходит благодаря тому, что на первом этапе очистки гидроксид калия (KOH), который образуется при растворении в воде надпероксида калия (KO<sub>2</sub>), вступая в реакцию с ионами карбонатной жесткости – гидрокарбонатом кальция Ca(HCO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> осаждает его, при этом образует новые соединения, такие как карбонат калия (K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>), реакция (3):



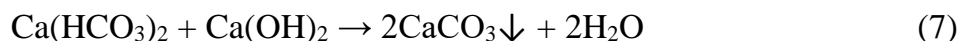
Образовавшийся в результате реакции карбонат калия дополнительно осаждает соли хлорида кальция (CaCl<sub>2</sub>), таким образом увеличивая показатели умягчения шахтной воды (4):



Аналогично, должно происходить снижение магниевой жесткости за счет реакции гидроксида калия с ионами магния, реакции (5, 6):

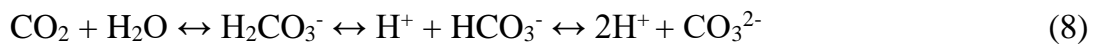


В свою очередь гидроксид кальция (Ca(OH)<sub>2</sub>) также вступает в реакцию с ионами карбонатной жесткости – гидрокарбонатом кальция Ca(HCO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> осаждая его, данный процесс получил название – известкование (7):



В процессе исследования было установлено, что в обработанной шахтной воде, которая выдерживалась около суток, увеличение содержания карбонат-ионов происходит в меньшей степени. Вероятной причиной этого может быть содержание в шахтной воде углекислого газа, который удаляется из воды в процессе естественной дегазации. Для подтверждения или опровержения данной гипотезы было проведено исследование влияния десорбции угольной кислоты на степень очистки шахтных вод с использованием регенеративного продукта.

Диоксид углерода, образующийся, является коррозионно-активным и оказывает негативное влияние на оборудование, также десорбция угольной кислоты по мере снижения давления приводит к зарастанию водопроводных труб шахт. Ион  $\text{HCO}_3^-$  – диссоциирует значительно слабее, чем  $\text{H}_2\text{CO}_3$ , поэтому взаимодействие продуктов гидратации с ионами жесткости шахтной воды в основном будет происходить с ионом  $\text{HCO}_3^-$  по реакции (8):



На эффективность процесса декарбонизации большое значение оказывает величина рН, которая регулирует соотношение форм угольной кислоты в воде ( $\text{CO}_2 + \text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{2-}$ ). С уменьшением рН доля  $\text{CO}_2$  растет и увеличивается эффективность декарбонизации воды. При  $\text{pH} > 8.5$   $\text{CO}_2$  полностью переходит в ионные формы, поэтому в декарбонизаторе не удаляется.

Процесс удаления диоксида углерода из шахтной воды не является сложным и дорогостоящим. В качестве установки использовался декарбонизатор в котором осуществляется продувка шахтной воды воздухом. Работа декарбонизатора позволяет осуществлять избирательную десорбцию какого-либо газа. Это достигается, согласно закону Генри, снижением парциального давления данного газа над водой без снижения общего давления и подогрева воды, что уменьшает энергетические потери. Практически это реализуется продувкой воды атмосферным воздухом.

При исследовании дисперсных характеристик шахтной воды и определения условий по подготовке шахтной воды, для дальнейшего ее применения в технических целях предприятия выполнен седиментационный анализ взвеси содержащийся в шахтной воде, умягченной раствором гашенного регенеративного продукта. Седиментационный анализ проводился методом непрерывного взвешивания осадка, с помощью торсионных весов.

Скорость осаждения частицы для ламинарного обтекания определялось на основании баланса сил в соответствии с уравнением Стокса. Для построения кривых распределения частиц суспензии по размерам был использован аналитический метод, предложенный Н.Н. Цюрупой.

Наличие в составе отхода регенеративного продукта ( $\text{KO}_2$  – 85-88 %), который производится путем реакции пероксида водорода с гидроксидом калия и последующем разложением полученных аддуктов. Следовательно, в процессе умягчения при взаимодействии регенеративного продукта с шахтной водой будет образовываться определенное количество пероксида водорода ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ) согласно реакции (1), который повсеместно используется в качестве средства обеззараживания воды.

Теоретический выход пероксида водорода в массе регенеративного продукта может составлять 19,1-24,7 %, однако, активное удаление кислорода из реакционной смеси может значительно повлиять на содержание  $\text{H}_2\text{O}_2$ . Механизм распада водных растворов пероксида водорода при взаимодействии  $\text{H}_2\text{O}_2$  и  $\text{KOH}$  происходит более мягко, если реакционная смесь имеет температуру ниже  $0^\circ\text{C}$ , наибольшая эффективность достигается

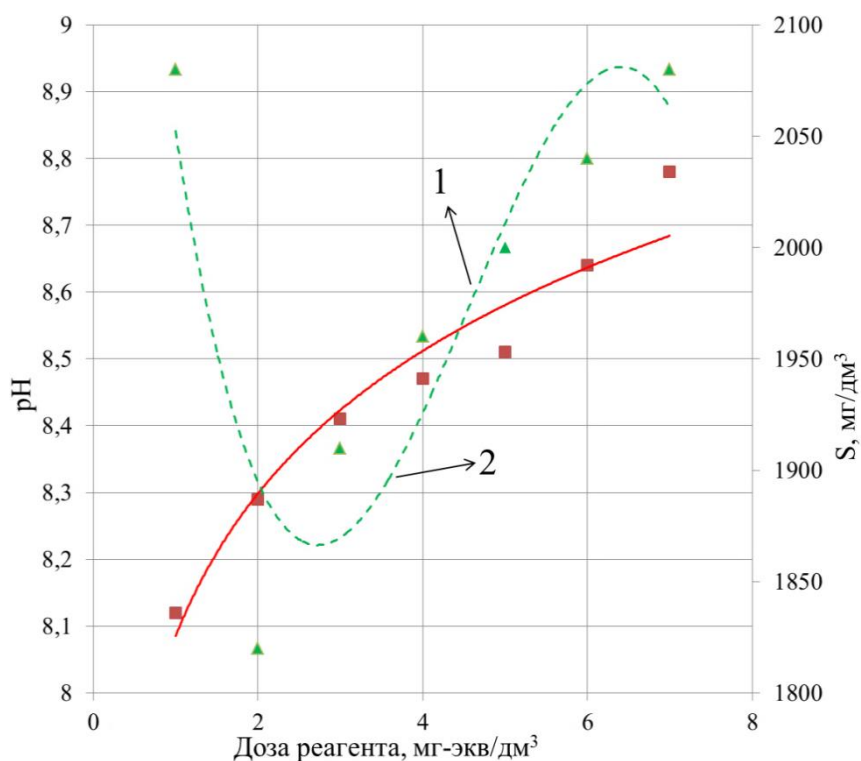
при минус 10 °С. Таким образом важным этапом исследования являлось определение зависимости концентрации пероксида водорода в растворе отхода регенеративного продукта от температуры реакционной смеси. Концентрация пероксида водорода определялась перманганатометрическим методом титрования.

**Четвертый раздел** посвящен экспериментальным исследованиям процесса умягчения, влияния десорбции угольной кислоты на степень очистки, определению характеристик образования пероксида водорода при взаимодействии регенеративного продукта и шахтной воды, обеззараживающих свойств в результате данной реакции, изучению дисперсных характеристик осадков шахтной воды обработанной гашеным регенеративным продуктом отходов самоспасателей, а также анализу полученных результатов.

Обработка шахтной воды для исследования условий удаления соединений жесткости реагентным методом, изменения водородного показателя (рН), солесодержания (S) и щелочности (Щ) проводилась раствором, приготовленным из отходов самоспасателей ШСС-1, содержащих в качестве активного вещества регенеративный продукт (основной компонент надпероксид калия), который растворялся в дистиллированной воде до концентрации 10 г/дм<sup>3</sup>. Подготовленный реагент в различных количествах ОКЧ-3 от 1 до

7 мг-экв/дм<sup>3</sup> постепенно дозировался в пробы шахтной воды при одинаковых объемах. Результаты экспериментальных исследований приведены на рисунке 1. Снижение солесодержания происходит вследствие осаждения карбоната кальция и гидроксида магния при добавлении раствора реагента, а последующее ее повышение обусловлено избытком карбонат-ионов после достижения эквивалентности.

Анализ показателей общей жесткости и щелочности обработанной шахтной воды, обработанной раствором на основе отхода регенеративного продукта (рисунки 2 и 3), показывает, что скорость осаждения ионов при обработке шахтной воды раствором реагента достаточно медленная, на полный цикл осаждения уходит около 24 ч. Пропорционально количеству раствора реагента снижается



- 1) Уровень рН;    ▲ 2) Солесодержание, S, мг/дм<sup>3</sup>;  
 $y = 0,36 \ln(x) + 8,23$      $y = -13,02x^3 + 179,1x^2 - 688,4x + 3727,7$   
 $R^2 = 0,95$      $R^2 = 0,89$

Рисунок 1 – Зависимость показателей солесодержания (S) и уровня рН обработанной шахтной воды от дозы раствора из отхода гашеного регенеративного продукта (t = 24 ч)

содержание гидрокарбонат-ионов и ионов жесткости, при этом концентрация карбонат-ионов в обработанной шахтной воде увеличивается.

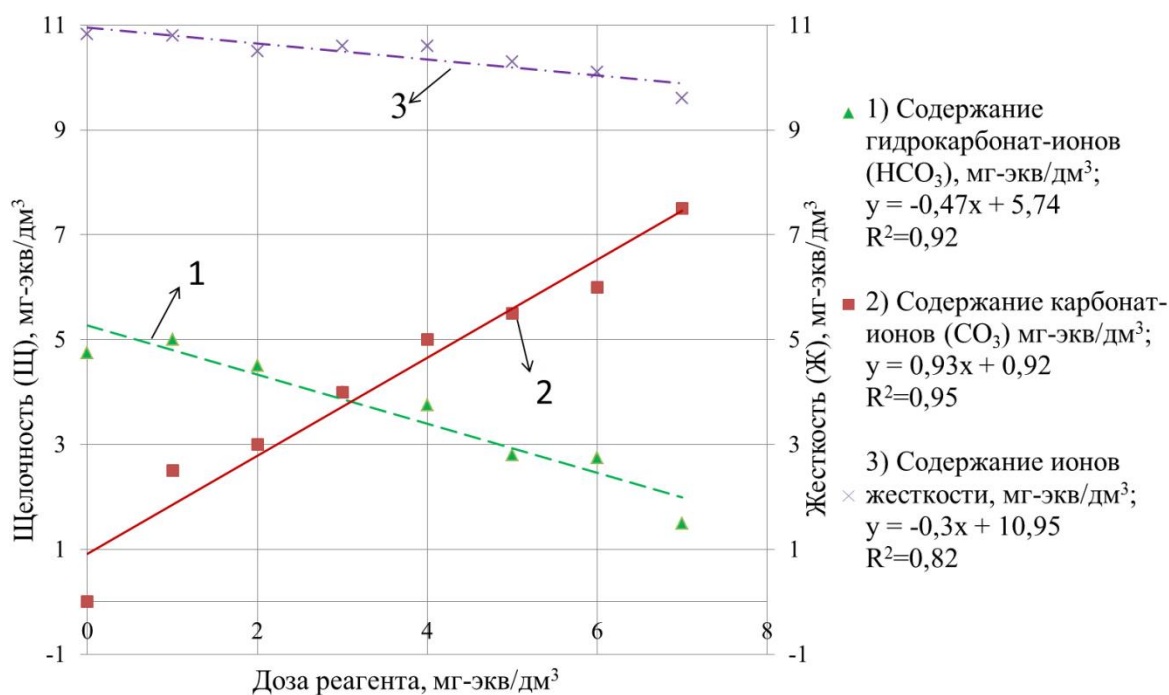


Рисунок 2 – Зависимость показателей щелочности (Щ) и жесткости (Ж) обработанной шахтной воды от дозы раствора из отхода гашеного регенеративного продукта (t = 2 ч)

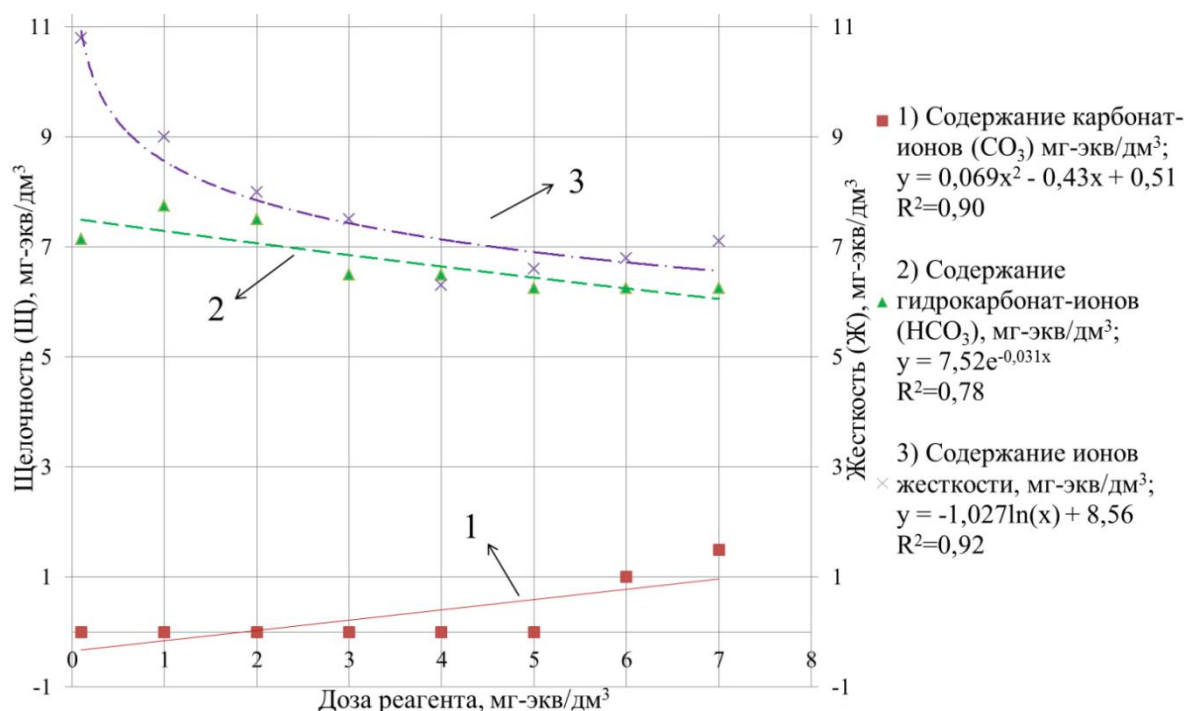


Рисунок 3 – Зависимость показателя щелочности (Щ) и жесткости (Ж) обработанной шахтной воды от дозы раствора из отхода гашеного регенеративного продукта (t = 24 ч)

Снижение степени образования карбонат-ионов в шахтной воде, обработанной регенеративным раствором, которая выдерживалась более 24 ч, связано с наличием в шахтной воде значительного количества двуокси углерода, который со временем удаляется из воды в результате естественной дегазации.

Исследования по изменению показателей качества воды снижению жесткости, измерению общей щелочности до и после барботирования в шахтных водах шахт им. А.Ф. Засядько и им. М.И. Калинина, проводилась раствором концентрацией 40 г/дм<sup>3</sup>. Раствор реагента в различных количествах (0; 0,1; 0,2; 0,3 ...1,2 мл) постепенно дозировался в пробы шахтной воды при одинаковых объемах. Барботажи производился в декарбонизаторе, площадь аэрации составила 1,53 м<sup>3</sup>/м<sup>2</sup>·ч. Результаты исследований приведены на рисунках 4, 5.

Анализ результатов показывают, что обработанная реагентом вода после декарбонизации имеет пониженные показатели по содержанию ионов жесткости и гидрокарбонат-ионов. Удаление диоксида углерода способствует значительному снижению карбонатной жесткости шахтной воды (около 25-36 %). Однако, снижение содержания двуоксида углерода неизбежно приведет к ухудшению очистки шахтной воды от хлорида кальция и магния, вследствие того, что основным действующим компонентом регенеративного продукта является гидроксид калия (КОН) и при его взаимодействии с диоксидом углерода (СО<sub>2</sub>) образуется вещество карбонат калия (К<sub>2</sub>СО<sub>3</sub>) нейтрализующее хлорид кальция (СаСl<sub>2</sub>) и хлорид магния (MgCl<sub>2</sub>) находящихся в воде.

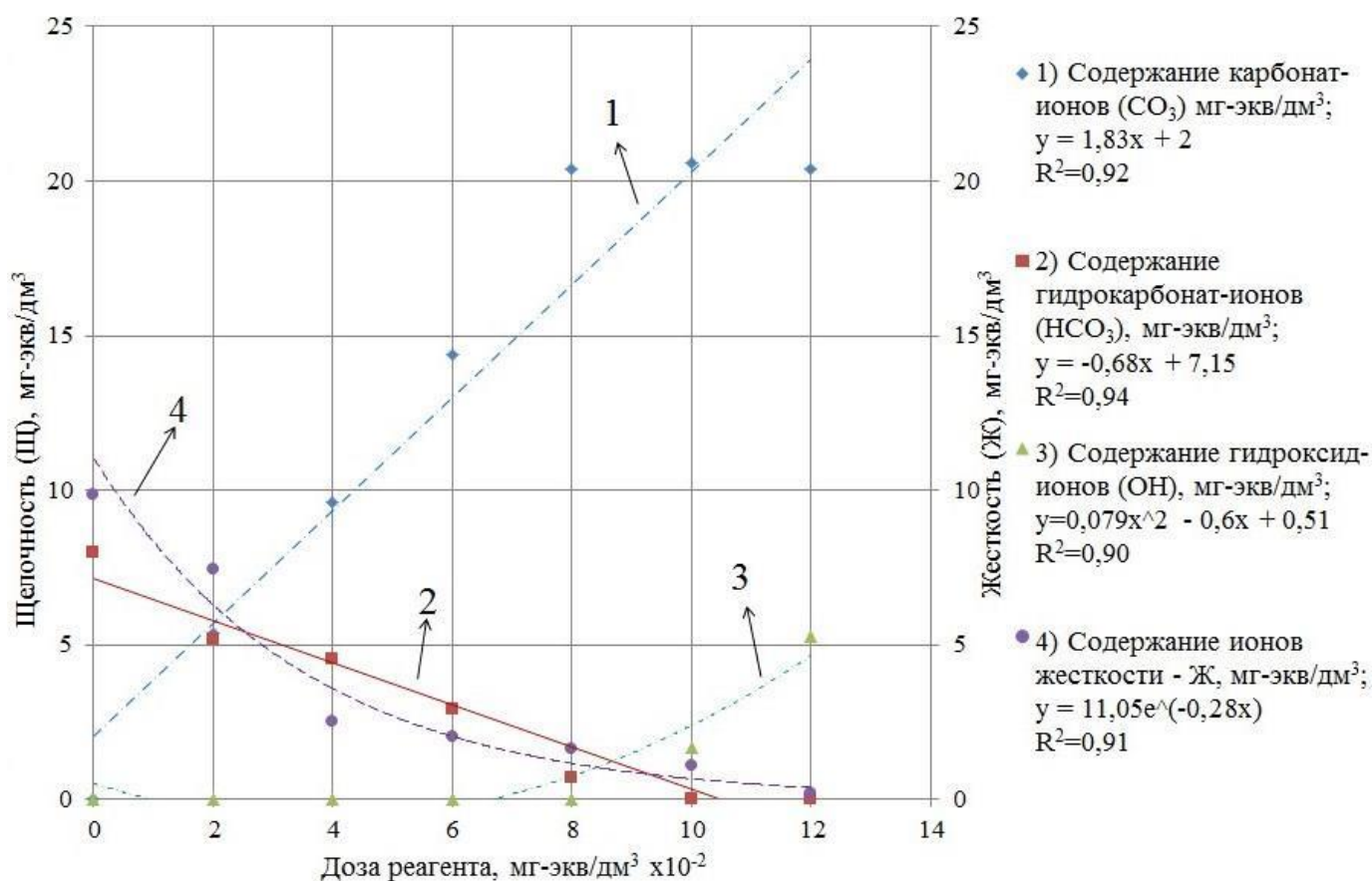


Рисунок 4 – Зависимость показателей щелочности (Щ) и жесткости (Ж) обработанной шахтной воды от дозы раствора из отхода гашенного регенеративного продукта без барботирования

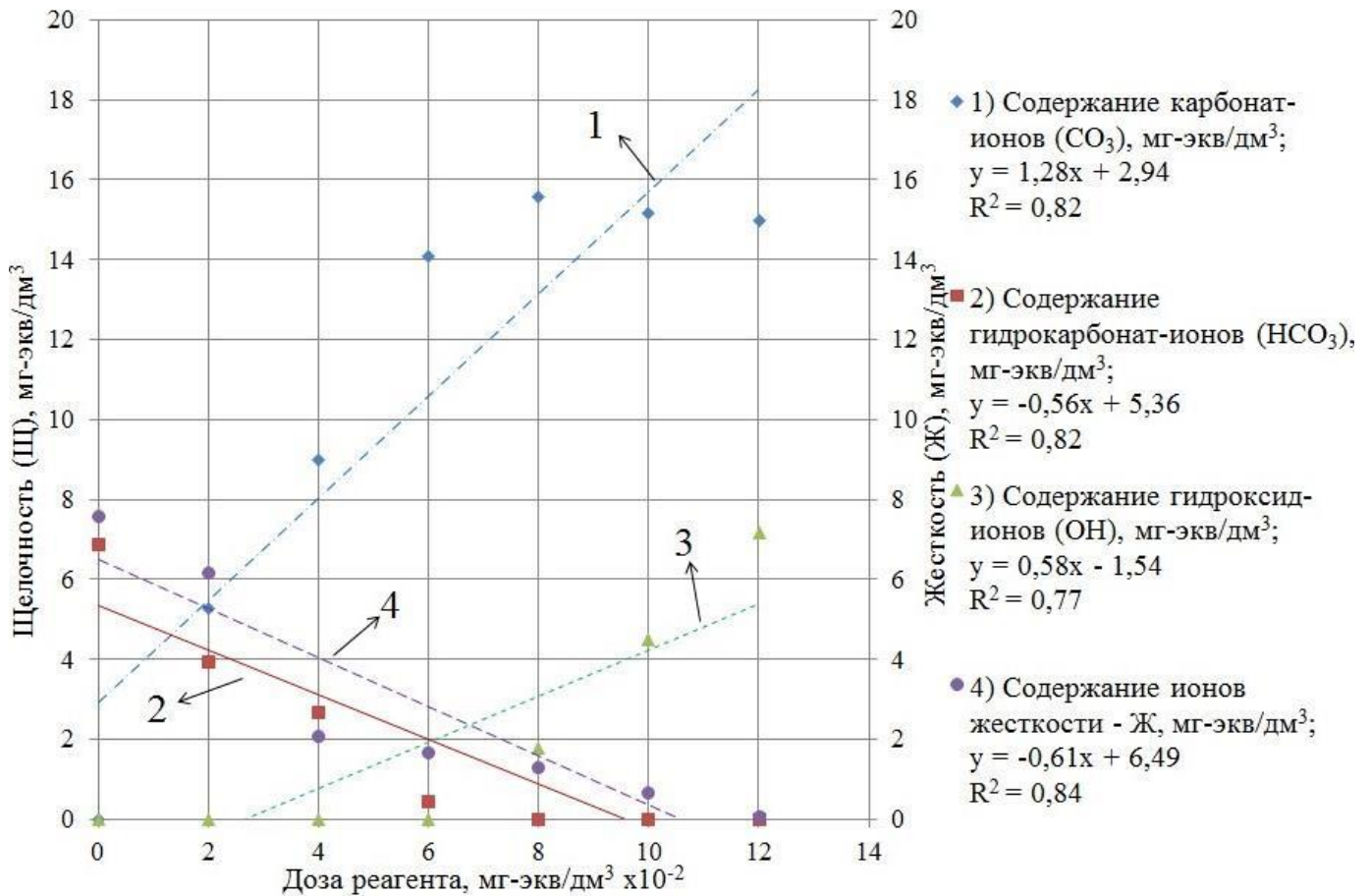


Рисунок 5 – Зависимость показателей щелочности (Щ) и жесткости (Ж) обработанной шахтной воды от дозы раствора из отхода гашенного регенеративного продукта после барботирования

Седиментационный анализ шахтной воды после обработки ее регенеративным раствором концентрацией  $40 \text{ г/дм}^3$ , приготовленным из кислородсодержащего продукта самоспасателей с истекшим сроком годности растворенной в дистиллированной воде. Раствор реагента в различных количествах от 3 до 6 мл постепенно добавлялся в шахтную воду объемом 150 мл. При концентрации 6 мл раствора на 150 мл шахтной воды эквивалентное содержание ионов составляет: ионов жесткости  $0,21 \text{ мг-экв/дм}^3$ ; карбонат-ионов –  $6,8 \text{ мг-экв/дм}^3$ ; гидроксид-ионов –  $1,86 \text{ мг-экв/дм}^3$ ; уровень pH – 8,65; солесодержание –  $2060 \text{ мг/дм}^3$ . Методом

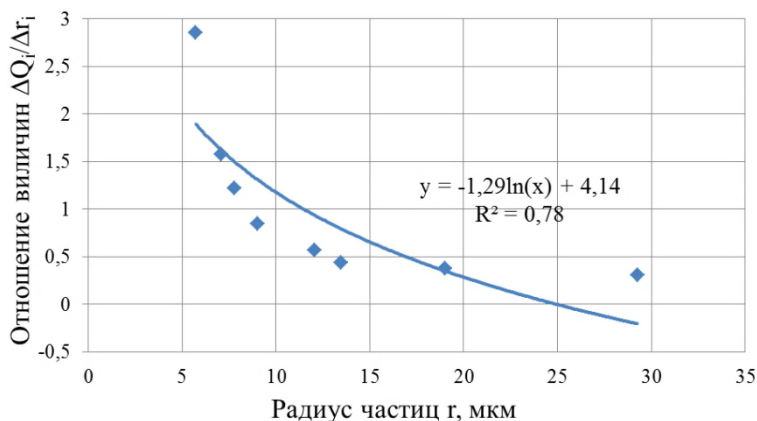


Рисунок 6 – Зависимость массовой функции распределения  $F = |\Delta Q_i / \Delta r_i|$  осадков от радиуса частиц ( $r$ )

непрерывного взвешивания осадка на торсионных весах установлено, что частицы, образующиеся в шахтной воде в результате реакции с раствором регенеративного продукта образуют различные структуры, размер которых изменяется в зависимости от концентрации раствора.

По установленным в процессе исследований показателям определены зависимости массовой функции распределения  $F = |\Delta Q_i / \Delta r_i|$  осадков от радиуса частиц (рисунок 6) и процентного содержания фракции

частиц осадков с радиусами большими  $r$  от ( $r$ ) (рисунок 7) в шахтной воде после обработки регенеративным раствором.

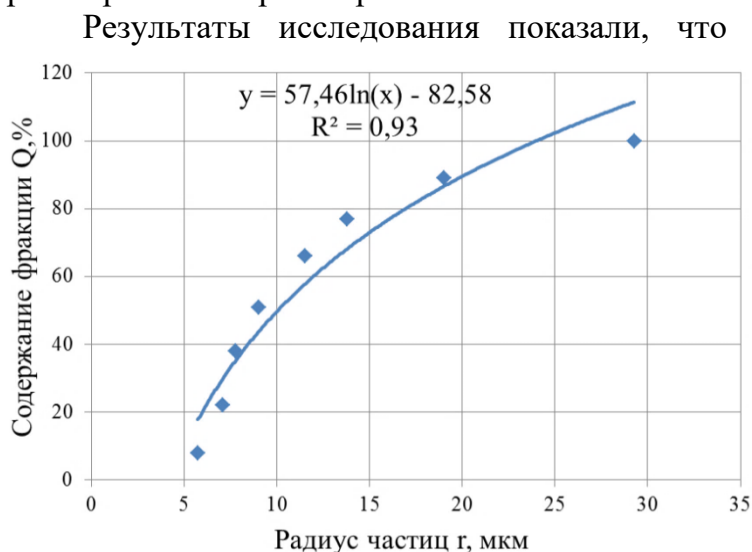


Рисунок 7 – Зависимость процентного содержания фракции частиц осадков ( $Q$ ) с радиусами большими  $r$  от ( $r$ )

В ходе седиментационного анализа осадка шахтной воды, умягченной раствором регенеративного продукта, установлено, что при использовании флокулянта для укрупнения осаждаемых частиц (применялся полиакриламид с концентрацией 0,5-1,5 мг/дм<sup>3</sup>), сокращается время седиментации осадка на 19-27 %, однако, параллельно наблюдается и уменьшение массы осадка осевшего на чашечку торсионных весов около 16-18 % от массы осадка без применения флокулянта. Это обусловлено тем, что частицы взвеси после обработки полиакриламидом сорбируются на стенках стеклянного сосуда.

Показатели содержания пероксида водорода в растворе из отходов регенеративного продукта определялись в зависимости от концентрации продукта при растворении в воде, pH среды, температуре при растворении. Показатели содержания пероксида водорода в массе ОКЧ-3 растворенного в дистиллированной воде при температурах раствора от 4 до  $26 \pm 0,5$  °C приведены на рисунке 8.

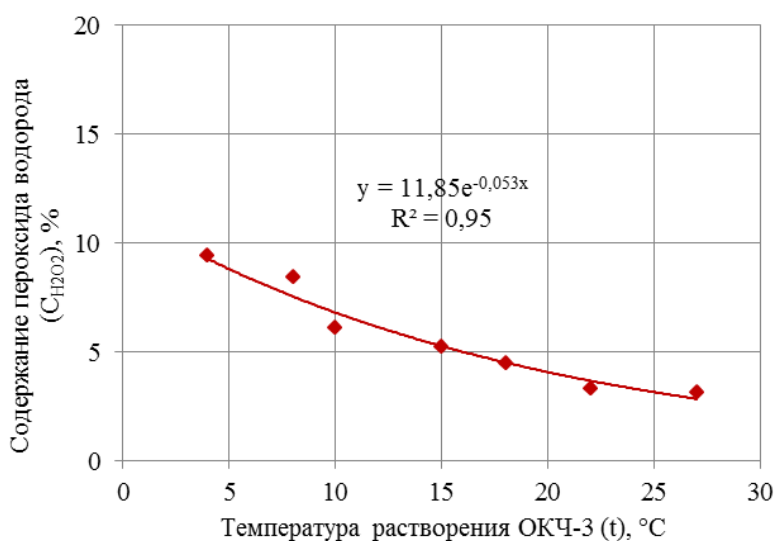
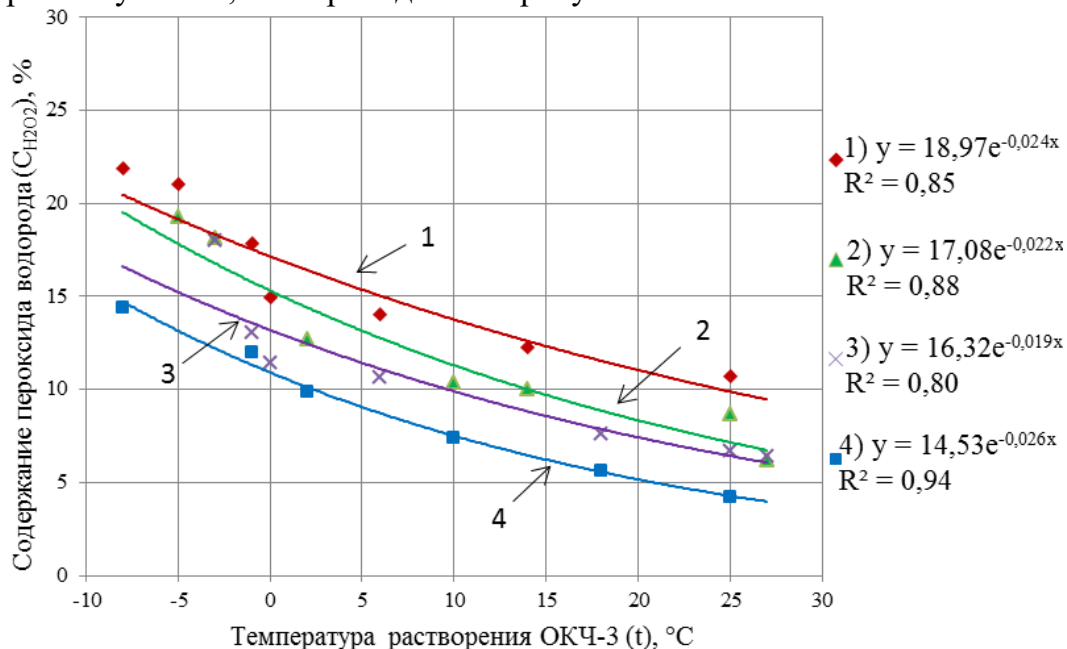


Рисунок 8 – Зависимость содержания пероксида водорода ( $C_{H_2O_2}$ ) в массе ОКЧ-3 ( $t$ ) от температуры дистиллированной воды перед растворением



содержание  $\text{H}_2\text{O}_2$  (9,39 %) достигается при минимальной температуре растворения ОКЧ-3 вследствие высокой экзотермичности реакции супероксида калия с водой, повышение температуры воды используемой для растворения приводит к значительному снижению показателей пероксида водорода (3,12 %) в массе ОКЧ-3.

Показатели содержания пероксида водорода в массе ОКЧ-3 растворенного в растворе регенеративного продукта с начальной концентрацией  $30 \text{ г/дм}^3$  охлажденного до температуры  $\text{минус } 8 \pm 0,5 \text{ }^\circ\text{C}$  приведены на рисунке 9.



1)  $C_{\text{ОКЧ-3}} = 50 \text{ г/дм}^3$ ; 2)  $C_{\text{ОКЧ-3}} = 40 \text{ г/дм}^3$ ; 3)  $C_{\text{ОКЧ-3}} = 45 \text{ г/дм}^3$ ; 4)  $C_{\text{ОКЧ-3}} = 55 \text{ г/дм}^3$

Рисунок 9 – Зависимость содержания пероксида водорода ( $C_{\text{H}_2\text{O}_2}$ ) в массе ОКЧ-3 ( $30 \text{ г/дм}^3$ ) от температуры реакционной смеси ( $t$ ) перед растворением

Анализ данных на рисунке 9 показал, что максимальное содержание  $\text{H}_2\text{O}_2$  – 21,84 % при растворении в реакционной смеси, достигается при концентрации около  $50 \text{ г/дм}^3$  при температуре  $\text{минус } 8 \pm 0,5 \text{ }^\circ\text{C}$  (при более низких температурах реакционная смесь переходит в твёрдое кристаллическое состояние), при температуре  $\text{плюс } 27 \pm 0,5 \text{ }^\circ\text{C}$  той же концентрации раствора содержание  $\text{H}_2\text{O}_2$  снижается до 10,64 % вследствие повышенного разложения пероксида водорода. Однако повышение концентрации реакционной смеси из ОКЧ-3 ( $C_{\text{ОКЧ-3}}$ ) свыше  $52\text{--}55 \text{ г/дм}^3$  ведет к резкому снижению содержания  $\text{H}_2\text{O}_2$  – увеличение концентрации щелочи приводит к уменьшению концентрации молекулярной формы пероксида водорода при достижении эквивалентности, а затем и к ее полному исчезновению.

Исследование кинетики разложения  $\text{H}_2\text{O}_2$  проводилось при концентрации отхода ОКЧ-3 в реакционной смеси  $40\text{--}55 \text{ г/дм}^3$  в области  $\text{pH } 9,5\text{--}12,5$ , результаты эксперимента представлены на рисунке 10. Результаты показали, что содержание пероксида водорода увеличивается в области  $\text{pH } 9,5\text{--}10,5$ , рост в этой области связан с ионизацией молекулы  $\text{H}_2\text{O}_2$ , в результате чего облегчается дальнейшее превращение гидропероксид-аниона с участием примесей ионов металлов  $\text{Me}^{n+}$ . В дальнейшем с ростом уровня  $\text{pH}$  происходит уменьшение показателей содержания  $\text{H}_2\text{O}_2$  и при  $\text{pH} > 11$  изменяется слабо, последующий рост уровня  $\text{pH}$  активизирует процесс разложения пероксида водорода. В области  $\text{pH } 11,5\text{--}12$  происходит резкое падение содержания  $\text{H}_2\text{O}_2$  в реакционной смеси вследствие продуцирования образования радикальной частицы  $\text{HO}_2^-$ , а при  $\text{pH} > 12,5$  данный процесс

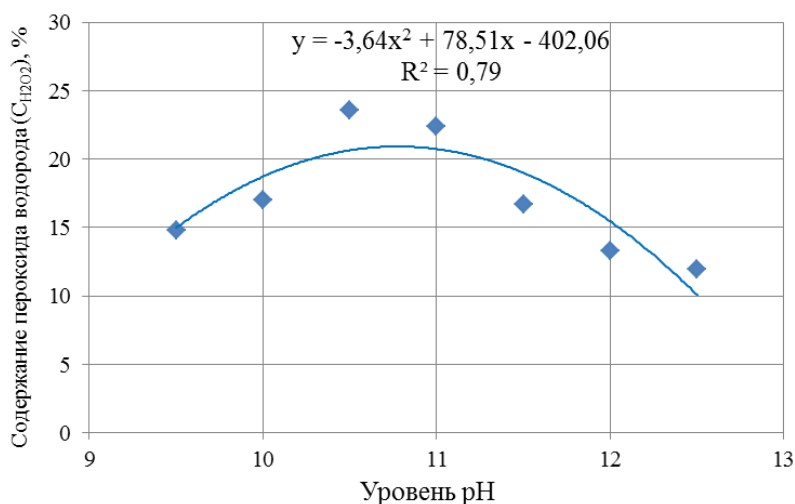
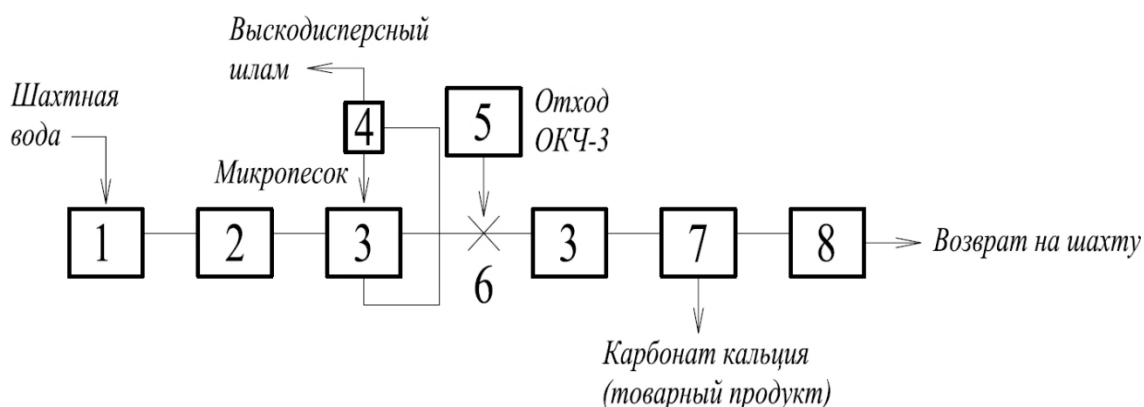


Рисунок 10 – Зависимость концентрации пероксида водорода (СН<sub>2</sub>О<sub>2</sub>) в растворе ОКЧ-3 от уровня рН

замедляется и наблюдается дальнейшее равномерное снижение. Обеззараживающие свойства оценивались путем анализа зависимости показатели степени загрязнения воды ХПК от дозировки пероксида водорода в различных концентрациях.

**Пятый раздел** посвящен разработке способа рециклинга регенеративного продукта отходов самоспасателей, который отвечает требованиям экологической безопасности и оценке влияния предложенного способа на окружающую среду.

Разработана схема процесса подготовки шахтной воды (рисунок 11) пригодной для технических нужд с пониженным содержанием соединений жесткости для дальнейшего применения в системах обеспыливания предприятия. Использование данного способа дополнительно позволяет извлекать полезную высокодисперсную угольную суспензию из осадка угольного шлама, образующегося при прохождении через тонкослойный отстойник №3, при умягчении шахтной воды регенеративным продуктом во втором тонкослойном отстойнике и последующим удалением осадков через барабанный вакуум фильтр №7 получать полезный товарный продукт карбонат кальция (CaCO<sub>3</sub>).



1 – буферно-накопительная емкость; 2 – декарбонизатор; 3 – тонкослойный отстойник; 4 – гидроциклон-сепаратор; 5 – реагентное хозяйство; 6 – узел ввода реагентов; 7 – барабанный вакуумный фильтр; 8 – бак-усреднитель

Рисунок 11 – Схема процесса подготовки шахтной воды пригодной для технических целей обеспыливания

При использовании разработанного способа рециклинга устраняются опасные для окружающей среды отходы, в том числе незначительное количество хризотилового асбеста, присутствующего в ОКЧ-3, удаляются из воды вместе с осадком. При реализации разработанного способа в процессе умягчения шахтной воды регенеративным продуктом образующийся пероксид водорода оказывает обеззараживающее воздействие на

органические загрязнители. Вследствие низких требований по микробиологическим и паразитологическим показателям к технической воде для целей обеспыливания, согласно НПА ОП 10.0-5.07-04 нормируется только показатель – коли-титр кишечных палочек  $< 300 \text{ дм}^3$ , при их фактическом содержании  $< 100 \text{ дм}^3$  дополнительные мероприятия по обеззараживанию не требуются.

В процессе растворения регенеративного продукта водой (с целью использования щелочи в дальнейшем) большая часть деталей самоспасателя находится в нетронутном состоянии, сам аппарат подвергают разбору и рециклингу по видам отходов, однако масса активного вещества будет снижена за счет вступления в реакцию с водой, помимо щелочи образуется не пригодный для использования осадок в объеме 10% от начальной массы регенеративного продукта. Разработанная схема обращения с отходами самоспасателей представлена на рисунке 12.

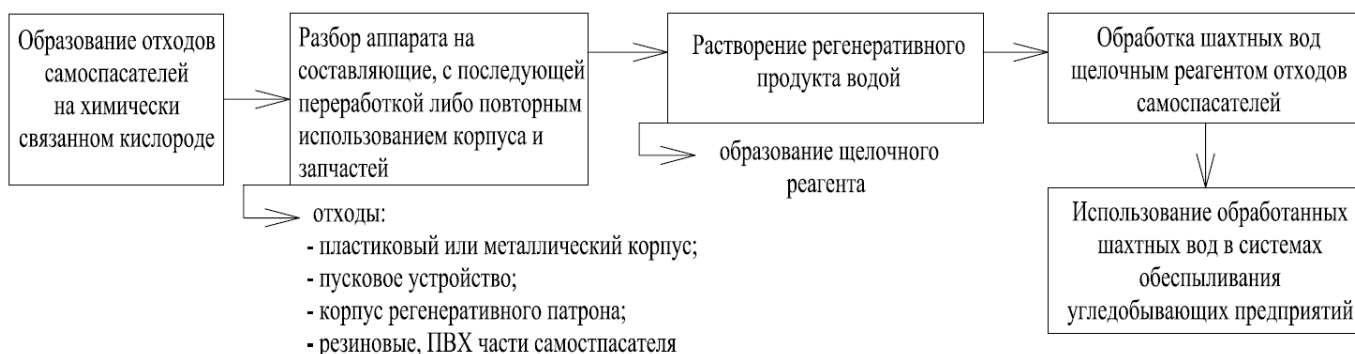


Рисунок 12 – Разработанная схема рециклинга отходов самоспасателей

Проведена оценка экологических показателей разработанного природоохранного способа (таблица 3), влияние на эдасферу составило ( $K_{i4} = 154,4$  – малоопасные;  $K_{64} = 0,91$  – малоотходные).

Таблица 3 – Сравнительная характеристика экологических показателей способа рециклинга отходов

Характеристика схемы обращения с отходами	Качественная характеристика отходов, которые образуются	Индекс токсичности, $K_i$ (класс опасности отходов)	Коэффициент безотходности, $K_6$	Экол. ущерб, $У$ , руб./год
При использовании существующего передового способа	Слабоконцентрированная щелочь, корпус, ударный механизм, режим крепежи ремня, клапан избыточного дыхания, нерастворимый осадок состоящий из смеси асбеста и извести	28,7 (малоопасные опасные)	0,37 (рядовой)	$15,2 \times 10^2$
При использовании разработанного способа	Корпус, ударный механизм, режим крепежи ремня, клапан избыточного дыхания, нерастворимый осадок состоящий из смеси асбеста и извести	154,4 (малоопасные опасные)	0,91 (малоотходный)	87,8

Разработанный экологически безопасный способ рециклинга с учетом образования отходов самоспасателей на угледобывающих предприятиях Донбасса в количестве около 27 т/год и объема в них регенеративного продукта – 10,8 т/год, позволяет умягчить и обеззаразить при удельном расходе регенеративного продукта 4 кг/т около 2700 т/год шахтной воды с последующим применением для технических нужд предприятий. Это позволит снизить загрязнение поверхностных водоемов от сброса шахтных вод и сэкономить дефицитную в регионе пресную воду потребляемую предприятиями из систем городского водоснабжения.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Диссертация является законченной научно-исследовательской работой. Основные научные и практические результаты работы сводятся к следующему:

1. Проведено теоретическое обоснование и экспериментальные исследования для решения задачи имеющей важное значение для экологической безопасности: разработан способ повышения экологической безопасности промышленного и городского хозяйства региона путем рециклинга опасного регенеративного продукта отходов самоспасателей на химически связанном кислороде. Установлены закономерности процессов обработки шахтной воды регенеративным продуктом при рециклинге отходов непригодных к эксплуатации самоспасателей на химически связанном кислороде для умягчения и обеззараживания с последующим её применением для технических нужд обеспыливания на угольном предприятии.

2. Выполнена оценка экологической безопасности существующих схем обращения с отходами самоспасателей. Показатели составили, при: накопления на предприятиях ( $K_{i1} = 3,4$  умеренно опасные;  $K_{61} = 0$ ); термической деструкции ( $K_{i1} = 4,29$  умеренно опасные;  $K_{61} = 0$ ); гашении водой ( $K_{i1} = 16,2$  - мало опасные;  $K_{61} = 0,37$  – рядовые); нейтрализации кислотой ( $K_{i1} = 28,7$  - мало опасные;  $K_{61} = 0,37$  – рядовые).

3. Обработанная регенеративным продуктом шахтная вода (шахт им. А.Ф. Засядько и им. М.И. Калинина), удовлетворяет требованиям для использования в техническом водоснабжении и имеет следующие показатели:  $pH=8,66$ , общее солесодержание –  $1850 \text{ мг/дм}^3$ ;  $\text{HCO}_3=6,5 \text{ мг-экв/дм}_3$ ;  $\text{CO}_3^{-2}=2,5 \text{ мг-экв/дм}^3$ ;  $\text{Ж}=4,3 \text{ мг-экв/дм}^3$ .

4. Разработан экологически безопасный способ рециклинга регенеративного продукта отходов изолирующих самоспасателей с использованием шахтных вод для технических целей предприятия. При использовании данного способа характеристики экологической безопасности составляют ( $K_i = 154,4$  мало опасные;  $K_6 = 0,91$  - малоотходные).

5. Экономическая эффективность от использования умягченной и обеззараженной шахтной воды для технических целей предприятия вместо воды из систем городского водоснабжения экономия может составить  $9,32 \text{ руб./м}^3$ , экономия от использования шахтной воды для технических целей обеспыливания предприятия шахты им. А.Ф. Засядько вместо воды из систем городского водоснабжения может составить  $25,16 \text{ тыс. руб./год}$ .

## ОСНОВНЫЕ НАУЧНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО ИССЛЕДОВАНИЯ

– публикации в специализированных научных изданиях, входящих в международную науко-метрическую базу данных Scopus:

1. Высоцкий, С.П. Использование отходов самоспасателей на химически связанном кислороде для снижения карбонатной жесткости шахтной воды [Текст] / С.П. Высоцкий, Д.А. Плотников, В.В. Мамаев // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2021. №7 (239). – С. 172–181. *(Исследована возможность повторного использования регенеративного продукта отходов самоспасателей для дальнейшего их применения в хозяйственно-бытовых и технических целях предприятий)*

- публикации в специализированных научных изданиях, рекомендованных ВАК:

1. Плотников, Д.А. Анализ проблемы образования отходов шахтных самоспасателей на химически связанном кислороде в условиях ДНР [Текст] / Д.А. Плотников // Вестник ДонНАСА «Инженерные системы и техногенная безопасность»: сб.науч. трудов. Макеевка: ДонНАСА. – №5 (139). – 2019. – С.26-31. *(Проанализирована проблема обращения с отходами шахтных самоспасателей на территории Донбасса, охарактеризована опасность связанная накоплением данных отходов)*

2. Плотников, Д.А. Использование отходов шахтных самоспасателей для снижения карбонатной жесткости шахтной воды [Текст] / Д.А. Плотников // Вести Автомобильно-дорожного института = Bulletin of the Automobile and Highway Institute : международный научно-технический журнал / АДИ ГОУ ВПО «ДонНТУ». – Донецк, 2020. – № 3(34). – С. 73-80. *(Исследована возможность использования регенеративного продукта отходов самоспасателей для умягчения шахтной воды)*

3. Плотников, Д.А. Исследование декарбонизации шахтных вод, предварительно умягченных регенеративным продуктом отходов самоспасателей на химически связанном кислороде [Текст] / Д.А. Плотников // Вести Автомобильно-дорожного института = Bulletin of the Automobile and Highway Institute : международный научно-технический журнал / АДИ ГОУ ВПО «ДонНТУ». – Донецк, 2020. – № 4(35) – С. 58-63. *(Приведены результаты предварительного барботирования шахтной воды после осаждения щелочными компонентами)*

4. Лабенко, Е.В. Механизмы воздействия на окружающую среду отходов шахтных самоспасателей [Текст] / Е.В. Лабенко, Д.А. Плотников, В.В. Мамаев // Журнал «Пожарная и техносферная безопасность: проблемы и пути совершенствования» ГОУ ВПО «Академия гражданской защиты», № 1 (8). – 2020. – С. 242-245. *(Рассмотрены механизмы загрязнения территорий отходами шахтных самоспасателей, дана оценка их негативному влиянию на окружающую природную среду)*

5. Высоцкий, С.П. Седиментационный анализ осадков шахтных вод Донбасского региона после умягчения регенеративным продуктом отходов самоспасателей [Текст] / С.П. Высоцкий, Д.А. Плотников, В.В. Мамаев // Вести Автомобильно-дорожного института = Bulletin of the Automobile and Highway Institute : международный научно-технический журнал / АДИ ГОУ ВПО «ДонНТУ». – Донецк, 2021. – № 1(36) – С. 106-114. *(Исследованы дисперсные характеристики осадков шахтной воды после умягчения с использованием регенеративного продукта ОКЧ-3 отходов самоспасателей)*

- публикации в других изданиях:

1. Плотников, Д.А. Исследование характера воздействия отходов самоспасателей на окружающую среду [Текст] / Д.А. Плотников // Актуальные проблемы землеустройства и

кадастров на современном этапе: материалы VIII Международной научно-практической конференции 1 марта 2021 г., Пенза / [под общ.ред. Т.И. Хаметова, А.И. Чурсина и др.]. – Пенза: ПГУАС, 2021.– С.95-98. *(Произведен анализ процессов загрязнения территорий отходами самоспасателей на химически связанном кислороде)*

2. **Плотников, Д.А.** Влияние десорбции угольной кислоты на степень очистки дренажных шахтных вод с использованием кислород содержащего продукта отходов самоспасателей [Электронная] / Д.А. Плотников // материалы XVII Международной научно-практической конференции «Комплексные проблемы техносферной безопасности» Воронежский государственный технический университет. – Воронеж: ВГТУ, 2021 г. – С.400-403. *(Исследовано влияние десорбции угольной кислоты на степень очистки шахтных вод с использованием регенеративного продукта ОКЧ-3 отходов самоспасателей)*

3. **Плотников, Д.А.** Определение класса опасности регенеративного продукта самоспасателей на химически связанном кислороде после разгерметизации [Текст] / Д.А. Плотников, Е.В. Лабенко // материалы 65-ой Международной научной конференции Астраханского государственного технического университета Астрахань: АГТУ, 2021 г. – С.1108-1111. *(Определен класс опасности активного вещества отходов самоспасателей на после разгерметизации регенеративного патрона)*

## АННОТАЦИЯ

**Плотников Денис Александрович. Экологически безопасный способ рециклинга отходов самоспасателей на химически связанном кислороде.** – На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.23.19 – Экологическая безопасность строительства и городского хозяйства. – Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». – Макеевка, 2021 г.

В диссертации установлена характеристика экологической безопасности существующих методов и способов обращения с отходами самоспасателей. Определена величина экологического риска возможного загрязнения окружающей среды щелочными отходами самоспасателей от предприятия шахты.

Исследован процесс и определено научное направление по обезвреживанию и рециклингу регенеративного продукта отходов шахтных самоспасателей на химически связанном кислороде, в качестве реагента для умягчения и обеззараживания шахтной воды, отличающегося от известных способов сниженными показателями негативного воздействия окружающей среды и высокими ресурсосбережения.

Теоретически и экспериментально обоснован разработанный способ умягчения и обеззараживания шахтных вод с повышенным содержанием соединений жесткости регенеративным продуктом отходов самоспасателей для последующего их использования в технических целях предприятий.

Результаты диссертационного исследования заключаются в разработке экологически безопасного способа рециклинга дорогостоящего, трудоемкого и опасного для окружающей среды в производстве регенеративного продукта путем его использования в качестве реагента для умягчения и обеззараживания воды является значимым ввиду широкого распространения и применения в различных сферах, направлений на соблюдение основного принципа экологии: оценка жизненного цикла продукции с возможностью максимального извлечения полезных компонентов.

**Ключевые слова:** экологическая безопасность, рециклинг, отходы, самоспасатели на химически связанном кислороде, регенеративный продукт, умягчение воды, обеззараживание воды, дренажные шахтные воды.

#### ANNOTATION

Plotnikov Denis Alexandrovich. **An environmentally friendly way of recycling waste from self-rescuers using chemically bound oxygen.** - As a manuscript.

Dissertation for the degree of candidate of technical sciences in specialty 05.23.19 - Environmental safety of construction and municipal services. - State educational institution of higher professional education "Donbass National Academy of Civil Engineering and Architecture". - Makeevka, 2021.

The dissertation establishes the characteristics of the environmental safety of existing methods and ways of handling waste from self-rescuers. The magnitude of the environmental risk of possible environmental pollution with alkaline waste of self-rescuers from the mine enterprise has been determined.

The process has been investigated and the scientific direction has been determined for the neutralization and recycling of the regenerative waste product of mine self-rescuers using chemically bound oxygen, as a reagent for softening and disinfecting mine water, which differs from the known methods in reduced indicators of negative environmental impact and high resource conservation.

The developed method of softening and disinfecting mine waters with an increased content of hardness compounds as a regenerative product of self-rescuers' waste for their subsequent use for technical purposes of enterprises has been theoretically and experimentally substantiated.

The results of the dissertation research consist in the development of an environmentally friendly method of recycling an expensive, laborious and hazardous for the environment in the production of a regenerative product by using it as a reagent for softening and disinfecting water. It is significant due to its wide distribution and application in various fields, directions for observing the basic principle of ecology : assessment of the life cycle of products with the possibility of maximizing the recovery of useful components.

**Key words:** environmental safety, recycling, waste, self-rescuers on chemically bound oxygen, regenerative product, water softening, water disinfection, drainage mine water.