

Министерство по делам гражданской обороны, чрезвычайным
ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий
Донецкой Народной Республики

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ИНСТИТУТ ГОРНОСПАСАТЕЛЬНОГО ДЕЛА, ПОЖАРНОЙ
БЕЗОПАСНОСТИ И ГРАЖДАНСКОЙ ЗАЩИТЫ «РЕСПИРАТОР»

На правах рукописи

Агарков Андрей Викторович



**ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ КОМПОЗИЦИЙ ПРИРОДНЫХ
ПОРИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ НЕЙТРАЛИЗАЦИИ ПРОЛИВОВ
АВАРИЙНО ХИМИЧЕСКИ ОПАСНЫХ ВЕЩЕСТВ**

Специальность 05.26.03 «Пожарная и промышленная безопасность»
(по отраслям) (технические науки)

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание учёной степени
кандидата технических наук

Донецк – 2022

Работа выполнена в Государственном научно-исследовательском институте горноспасательного дела, пожарной безопасности и гражданской защиты «Респиратор» Министерства по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий Донецкой Народной Республики (НИИГД «Респиратор» МЧС ДНР), г. Донецк.

Научный руководитель:	Долженков Анатолий Филиппович , доктор технических наук, старший научный сотрудник, заместитель директора (по научной работе) НИИГД «Респиратор» МЧС ДНР, г. Донецк.
Официальные оппоненты:	Алабьев Вадим Рудольфович , доктор технических наук, профессор кафедры безопасности жизнедеятельности ФГБОУВО «Кубанский государственный технологический университет», г. Краснодар РФ. Асланов Петр Васильевич , кандидат физико-математических наук, и.о. заведующего кафедрой, доцент кафедры физики неравновесных процессов, метрологии и экологии им. И.Л. Повха ГОУВПО «ДОНЕЦКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ», г. Донецк
Ведущая организация:	Государственное учреждение «Институт физико-органической химии и углехимии им. Л.М. Литвиненко», г. Донецк

Защита состоится «06» октября 2022 г. в 15.00 часов на заседании диссертационного совета Д 01.027.01 в НИИГД «Респиратор» МЧС ДНР по адресу: 283048, г. Донецк, ул. Артема, 157, I-й корпус, к. 401.

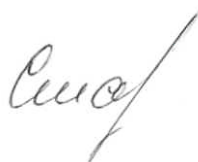
Тел. факс +38(062)332-78-78,

Email: niigd@mail.ru

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке НИИГД «Респиратор» МЧС ДНР по адресу: 283048, г. Донецк, ул. Артема, 157, 2-й корпус, адрес сайта института <http://respirator.dnmchs.ru>

Автореферат разослан «__» _____ 2022 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета Д 01.027.01
к.т.н.



И.Г. Старикова

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. Несовершенство технологических процессов, аварийность хранилищ исходных, промежуточных и конечных высокотоксичных продуктов приводят к выбросам аварийно химически опасных веществ (АХОВ) в атмосферу, воздух производственных помещений и проливам на твердую поверхность. Проведенные многими авторами исследования степени зараженности земной поверхности в Донбассе выявили значительные техногенные загрязнения. Обнаружены хлорбензол, бензол, толуол, ацетон, фенол, стирол, аммиак, сероводород, формальдегид, цианиды, ртуть и ряд других веществ.

Проливы АХОВ наиболее опасны, поскольку помимо загрязнения поверхности почвы образуется вторичное облако в результате их испарения, время которого измеряется часами и даже сутками, поражая людей и нанося вред окружающей среде. Одним из эффективных способов сокращения времени испарения пролитых АХОВ для ограничения распространения вторичного облака зараженного воздуха является применение композиций пористых материалов, эффективность которых заключается в их достаточно высокой сорбционной емкости.

В качестве сырья для создания композиций природных пористых материалов особый интерес представляют каменные угли. Однако традиционные технологии их получения достаточно энергоемки и длительны по времени стадии карбонизации (температура процесса 650-700 °С) и окислительной активации (температура 800-1000 °С), продолжительность которых составляет несколько часов, что в целом и определяют высокую себестоимость готового продукта – активированных углей различных марок. Использование активированных углей для поглощения АХОВ при промышленных авариях, связанных с масштабными проливами опасных веществ, весьма затратно, как и применение полимерных материалов, обладающих высокой сорбционной емкостью.

Снижение затрат можно достичь путем выбора доступного и дешевого сырья, имеющегося в достаточных промышленных количествах в Донецком регионе: каменных углей различных марок, доломита или попутных продуктов коксохимической и металлургической промышленности, а также отходов тепловых электрических станций. Простые методы предварительной модификации исходного сырья для оптимизации сорбционных свойств позволяют разработать новые эффективные композиции природных пористых материалов.

Анализ научных исследований, проведенных в данном направлении, показал, что отсутствуют научно обоснованные подходы к установлению показателей, влияющих на сорбционную емкость композиций на основе природных пористых материалов, что не позволяет оценить эффективность нейтрализации ими проливов АХОВ.

В связи с изложенным, обоснование параметров композиций природных пористых материалов для нейтрализации проливов АХОВ при ликвидации

последствий аварий представляет актуальную научно-техническую задачу.

Диссертация выполнена в соответствии с научной тематикой на 2015-2020 гг. Государственного научно-исследовательского института горноспасательного дела, пожарной безопасности и гражданской защиты «Респиратор» в рамках научно-исследовательских работ: «Разработать Инструкцию по тушению пожаров на химически опасных объектах» (№ ГР 11516031); «Выбрать и обосновать номенклатуру сорбентов на основе природных пористых материалов для поглощения аварийно химически опасных веществ» (№ ГР 11716005); «Разработать «Методические рекомендации по снижению риска воздействия аварийно химически опасных веществ на промышленных объектах» (№ ГР 11716004); «Разработать и исследовать свойства двух-, трехкомпонентных сорбционных составов для ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций связанных с аварийными проливами химически опасных веществ» (№ ГР 12015011).

Степень разработанности темы. В научно-технической литературе изучались вопросы, связанные с разработкой новых и совершенствованием существующих способов и средств ликвидации последствий ЧС на химически опасных объектах, с аварийными проливами токсичных веществ. Исследования показали, что проблема разработки композиций природных пористых материалов для локализации зоны пролива и снижения времени испарения паров опасных жидкостей с поверхности является важным аспектом в вопросах обеспечения промышленной безопасности. В решение этой проблемы внесли значительный вклад отечественные и зарубежные ученые: О.А. Божко, Ю.М. Лопухин, В.Г. Николаев, Д.Н. Стражеско, O. Grubner, R. Vespalec и др.

Актуальность разработки доступных композиций природных пористых материалов становится все значительнее в связи с высокой стоимостью и дефицитом активированных углей и полимерных пористых материалов, а также нерентабельностью их использования в больших объемах для локализации зон масштабных аварийных проливов химически опасных веществ, что показывает необходимость дальнейших исследований в этом направлении. Не в полной мере обоснованы показатели, влияющие на сорбционную емкость композиций природных пористых материалов, что не позволяет оценить эффективность нейтрализации ими проливов АХОВ. Поэтому исследование и разработка дешевых и одновременно эффективных композиций природных пористых материалов на базе местного доступного сырья – актуальная и своевременная научно-техническая задача.

Цель и задачи исследований. Цель работы – установление закономерностей процесса нейтрализации проливов аварийно химически опасных веществ композициями природных пористых материалов путем обоснования параметров, влияющих на их сорбционную способность, для разработки и внедрения эффективных мероприятий по ликвидации последствий аварии на промышленных объектах.

Для достижения поставленной цели определены и решены следующие задачи исследований:

- исследовать номенклатуру АХОВ – потенциальных источников заражения почвы в результате чрезвычайных ситуаций;
- провести оценку физико-химических и токсических характеристик АХОВ, наиболее распространенных на территории Донецкого региона;
- установить сорбционную активность природных пористых материалов (каменных углей, шлаков, кокса и др.) к наиболее распространенным АХОВ, способных вызвать химическое заражение воды и почвы в результате аварийного пролива;
- выполнить анализ способов оценки риска воздействия АХОВ на промышленных объектах;
- выполнить анализ методических подходов по определению АХОВ и композиций природных пористых материалов для обеззараживания токсичных веществ химических производств;
- определить статическую и динамическую сорбционную емкость природных пористых материалов (каменных углей различных марок) и промышленных отходов (шлаков, кокса, золы-уноса, золошлака, древесных опилок и др.) по наиболее распространенным АХОВ, способным вызвать заражение почвы в результате чрезвычайных ситуаций;
- теоретически обосновать и экспериментально подтвердить оптимальную пористую структуру, гранулометрический состав природных пористых материалов для приготовления композиций на их основе;
- установить комплекс критериев, в полном объеме характеризующих свойства моно- и многокомпонентных композиций природных пористых материалов;
- разработать требования к одно- и многокомпонентным композициям природных пористых материалов и технологическим способам их применения;
- выполнить комплексную оценку рисков химического заражения АХОВ окружающей среды при ЧС для разработки эффективных мероприятий по устранению негативного влияния на природу и человека.

Объект исследований – процессы нейтрализации проливов АХОВ композициями природных пористых материалов.

Предмет исследований – установление зависимости сорбционной емкости от параметров природных пористых материалов, доступных на территории Донецкой Народной Республики.

Научная новизна полученных результатов состоит в том, что автором впервые:

1. Установлены регрессионные зависимости влияния различного фракционного состава и содержания массовой доли воды на поглощающую способность каменного угля марки ДГ, шлака котельного и опилок древесных, что позволяет обосновать выбор исходных материалов с достаточным уровнем сорбционной емкости.

2. Экспериментально установлены оптимальные размеры целевых фракций каменного угля марки ДГ (длиннопламенного газового), шлака котельного (0,315 – 0,500 мм), опилок древесных (1 – 2 мм) для получения

максимальных значений сорбционной емкости по бензолу, а также диапазоны содержания массовой доли воды для каменного угля марки ДГ (0 – 14 %), шлака котельного (0 – 4 %) и опилок древесных (0 – 22 %), в которых влажность практически не оказывает влияния на сорбционную емкость исследуемых материалов.

3. Разработана адекватная полиномиальная модель неполного третьего порядка зависимости «состав-свойство» многокомпонентных композиций на основе каменного угля марки ДГ, шлака котельного и опилок древесных для определения рациональных составов композиций природных пористых материалов и минимизации требуемого количества экспериментов.

4. Установлены области с оптимальными композициями многокомпонентных смесей и достаточной сорбционной емкостью для оперативного выбора сорбентов на основе разработанной диаграммы «состав-свойство» при нейтрализации АХОВ на промышленных предприятиях.

Теоретическое значение полученных результатов состоит в использовании статистических и математических моделей для установления зависимостей, характеризующих изменения сорбционной емкости природных пористых материалов от их фракционного состава и влажности, а также аналитической зависимости «состав-свойство» на основе экспериментальных данных сорбционной емкости модельных смесей для оптимизации состава многокомпонентных композиций природных пористых материалов.

Практическая значимость полученных результатов состоит в использовании полученных результатов исследований как основы для разработки научно-методических документов, устанавливающих требования и методы, направленные на повышение эффективности мероприятий по ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций, связанных с проливами АХОВ:

Методические рекомендации по организации тушения пожаров, ликвидации аварий и ведению аварийно-спасательных работ на химически опасных объектах;

Методические рекомендации по выбору и обоснованию номенклатуры сорбентов на основе природных пористых материалов для поглощения аварийно химически опасных веществ;

Пособие по снижению риска воздействия аварийно химически опасных веществ на химически опасных объектах.

Указанные научно-методические документы внедрены в структурных подразделениях МЧС ДНР, а также использованы в учебно-методических материалах Академии гражданской защиты МЧС ДНР.

Методология и методы исследований – для решения поставленных задач использовались современные методы научных исследований: анализ, обобщение и статистическая обработка теоретических и экспериментальных результатов исследования с использованием компьютерных технологий; экспериментальные исследования природных пористых материалов и

композиций на их основе, оценка их характеристик с использованием современных технических средств измерений; симплекс-решетчатый метод математического планирования эксперимента; определение зависимостей между показателями сорбционной емкости природных пористых материалов и параметрами их влажности и фракционности с использованием модели многофакторного регрессионного анализа.

Положения, выносимые на защиту:

- результаты аналитических и экспериментальных исследований процесса нейтрализации проливов АХОВ с учетом оптимальных размеров фракций каменного угля ДГ, шлака котельного и опилок древесных, а также диапазонов содержания массовой доли воды, не влияющих на сорбционную емкость для материалов;

- уравнения регрессии, описывающие зависимости изменения сорбционной емкости природных пористых материалов от их фракционного состава и влажности, что позволяет прогнозировать оптимальные одно- и многокомпонентные композиции природных пористых материалов на основе экспериментальных методов исследования и научно обосновать способы обеспечения промышленной безопасности на химически опасных объектах;

- математическая модель процесса сорбционного взаимодействия природных пористых материалов и жидкого сорбата для получения аналитической зависимости «состав-свойство» модельных смесей, что позволило разработать рецептуры многокомпонентных композиций природных пористых материалов для снижения рисков токсического воздействия АХОВ на человека при проливах.

Степень достоверности и апробация результатов диссертации

Достоверность подтверждается статистически значимым объемом информации о свойствах природных пористых материалов и композиций на их основе; корректным применением методов математической статистики при оценке эффективности природных пористых материалов и композиций на их основе; представительностью и репрезентативностью статистических данных экспериментальных исследований характеристик природных пористых материалов и композиций на их основе; достаточной (94–99 %) сходимостью результатов теоретических и экспериментальных исследований; положительным результатом внедрения научно-методических документов; корректностью применения методик экспериментов и аттестованного лабораторного оборудования.

Основные результаты диссертации на отдельных этапах её выполнения и в целом докладывались и получили одобрение на заседаниях Ученого совета НИИГД «Респиратор», научных конференциях: на XV Международной научно-практической конференции «Комплексные проблемы техносферной безопасности. Задачи, технологии и решения комплексной безопасности» (г. Воронеж, ноябрь 2018 г.); Третьей Республиканской научной конференции «Современное состояние и перспективы дальнейшего развития системы гражданской обороны Донецкой Народной Республики» (г. Донецк, октябрь 2019 г.), Второй Республиканской

научной конференции «Безопасность в чрезвычайных ситуациях» (г. Донецк, декабрь 2019 г.), Четвертой Республиканской научной конференции «Современное состояние и перспективы дальнейшего развития системы гражданской обороны Донецкой Народной Республики» (г. Донецк, октябрь 2020 г.); Четвертой конференции Международной научной школы академика К.Н. Трубецкого «Проблемы и перспективы комплексного освоения и сохранения земных недр» (г. Москва, ноябрь 2020 г.).

Личный вклад соискателя. Автор самостоятельно сформулировал цель и задачи исследований, идею работы и её научные положения. Обосновано применение методов вероятностно-статистических исследований и методов оценки природных пористых материалов и композиций на их основе. Установлены закономерности разработки и применения композиций природных пористых материалов при возникновении аварий на химически опасных объектах. Сформулированы требования к параметрам композиций природных пористых материалов.

Публикации. Научные и практические результаты диссертации изложены в 15 научных трудах, в том числе: пять статей опубликованы в рецензируемых научных изданиях ВАК Минобрнауки ДНР, семь статей – в сборниках материалов научных конференций, входящих в наукометрическую базу РИНЦ, две работы опубликованы в виде методических рекомендаций и одна работа в виде пособия.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, основной части (из пяти разделов), заключения (с основными выводами), списка литературы из 101 наименования, изложена на 204 страницах машинописного текста, из них 145 страниц основного текста и четыре приложения.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы диссертации, сформулированы цель и задачи исследований, приведены основные положения, определяющие научное и практическое значение результатов исследований.

В первом разделе проведен анализ свойств токсичных веществ, которые производятся, хранятся или применяются на территории Донецкой Народной Республики, таких, как аммиак, бензол, хлор и др., исследованы способы их нейтрализации природными пористыми материалами. Изучена номенклатура и приведены характеристики АХОВ. Проведенные исследования составили основу для выбора природных пористых материалов с учетом их эффективности, доступности и экономической целесообразности для нейтрализации проливов АХОВ. Установлено, что основными причинами химического загрязнения окружающей среды в Донецкой Народной Республике является деятельность промышленных и сельскохозяйственных предприятий, организаций сферы коммунального обслуживания, а также возникающие чрезвычайные ситуации в местах хранения и переработки АХОВ. На основе полученных результатов сформулирована цель работы и

задачи для ее достижения.

Во втором разделе изложена общая методика исследований и оценки токсичности АХОВ, эффективности нейтрализации их проливов природными пористыми материалами. Исследованы критерии выбора природных пористых материалов, экспериментальные методы определения их сорбционной емкости. Для исследования процесса оптимизации состава многокомпонентных композиций природных пористых материалов обоснован симплекс-решетчатый метод математического планирования эксперимента, статистический метод анализа и обработки данных, графический метод представления результатов. Выполнен сравнительный анализ экспериментальных методов определения сорбционных свойств композиций природных пористых материалов для оценки их достоинств или недостатков для решения поставленных в работе задач.

В третьем разделе изложены результаты теоретических и экспериментальных исследований эффективности композиций природных пористых материалов. Теоретические основы объемного заполнения микропор позволили установить, что сорбция природных пористых материалов обусловлена физическими и, прежде всего дисперсионными силами, которые действуют на больших расстояниях от поверхности, образуя объем, наполняемый молекулами сорбата.

Установлено, что действие сорбционных сил при удалении от поверхности снижается до нуля, а притяжение сорбированной молекулы к поверхности пористого материала не зависит от наличия других сорбирующихся молекул. Помимо этого, сорбционные силы не зависят от температуры, действие которой связывается с интенсивностью теплового движения молекул сорбата.

Исходя из теории объемного заполнения микропор, в качестве критерия выбора исходных природных пористых материалов для нейтрализации проливов АХОВ, выбрана сорбционная способность по отношению к жидкой или паровой фазе АХОВ, оценка которой проводилась путем расчета объема микропор из экспериментальной изотермы сорбции по уравнению

$$a = a_0 \cdot \exp \left[- \left(\frac{A}{E} \right)^n \right], \quad (1)$$

где a – количество вещества, поглощенного 1 г материала, г/г;

a_0 – предельная величина сорбции, г/г;

A – дифференциальная мольная работа сорбции, Дж/моль;

E – характеристическая энергия сорбции, Дж/моль;

n – показатель степени, зависящий от размеров пор материала.

Суммарный риск химического загрязнения окружающей среды при проливах АХОВ может быть выражен формулой

$$R_{\text{АХОВ}} = f(\bar{n}), \quad (2)$$

где $R_{\text{АХОВ}}$ – суммарный риск загрязнения окружающей среды АХОВ;

$\vec{n}$ – вектор процессов загрязнения окружающей среды.

Параметры, влияющие на степень загрязнения окружающей среды пролитыми АХОВ, зависят от двух компонент – интенсивности и времени воздействия АХОВ, и эмпирически выражается формулой

$$R_{\text{АХОВ}} = f[\sum P_i ; t], \quad (3)$$

где P_i – интенсивность выделения АХОВ в окружающую среду, $\text{кг} \cdot \text{с}^{-1}$;

t – время выделения АХОВ в окружающую среду, с.

Интенсивность испарения АХОВ W ($\text{кг} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$) для стационарного изотермического процесса (не нагретые жидкости) оценивается по полуэмпирической формуле

$$W = 10^{-6} \cdot \eta \cdot \sqrt{M} \cdot P_H, \quad (4)$$

где η – коэффициент, принимаемый по таблице в зависимости от скорости и температуры воздушного потока над поверхностью испарения;

M – молярная масса АХОВ, $\text{кг} \cdot \text{кмоль}^{-1}$;

P_H – давление насыщенных паров АХОВ при начальной температуре, кПа.

Удельное количество АХОВ, испаряемое с поверхности W_β ($\text{кг} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$), определяется по формуле

$$W_\beta = \beta \cdot (c_s - c), \quad (5)$$

где $\beta = \frac{Nu \cdot D}{d}$ – коэффициент массоотдачи испаряемой АХОВ в воздух, $\text{м} \cdot \text{с}^{-1}$;

Nu – критерий Нуссельта;

D – коэффициент молекулярной диффузии АХОВ в воздухе, $\text{м}^2 \cdot \text{с}^{-1}$;

d – определяющий размер (диаметр) пролива АХОВ, м;

c_s – концентрация паров АХОВ в непосредственной близости от поверхности пролива, $\text{кг} \cdot \text{м}^{-3}$;

c – концентрация паров АХОВ в объеме газовой фазы, $\text{кг} \cdot \text{м}^{-3}$.

Тепловой поток «грунт – жидкость» q_1 обусловлен разностью температур между жидкостью и грунтом, а также теплофизическими характеристиками грунта. Для вычисления искомого потока решается задача теплопроводности

$$q_1 = \lambda_g \text{grad} T, \quad (6)$$

где λ_g – коэффициент теплопроводности грунта, $\text{Вт} \cdot \text{м}^{-1} \cdot \text{К}^{-1}$.

Конвективный тепловой поток «воздух – жидкость» q_2 определяется разностью температур между жидкостью и воздухом

$$q_2 = \alpha (T_a - T_0), \quad (7)$$

где α – коэффициент теплоотдачи, $\text{Вт} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{К}^{-1}$;

T_a – температура окружающего воздуха, К.

Риск химического загрязнения окружающей среды пролитыми АХОВ в результате инфильтрации в подстилающие поверхности после частичного просачивания веществ в грунт рассчитывают по формуле

$$R_{\text{инф}} = \frac{V_{\text{АХОВ}}}{t}, \quad (8)$$

где $V_{\text{АХОВ}}$ – объем пролитого АХОВ, дм^3 ;

t – время воздействия АХОВ, с.

Для исследований сорбционной способности природных пористых материалов Донецкого бассейна по отношению к АХОВ выбран бензол, имеющий самый большой размер молекулы (0,66 нм). Для сравнения, для хлора он равен 0,36 нм, для аммиака – 0,37 нм. Число необходимых опытов при проведении исследований по определению сорбционной способности природных пористых материалов определялось для каждого метода в соответствии с его точностью и характером решаемой задачи: статическая сорбция в сорбционном слое жидкого бензола и динамическая сорбция паровоздушной фазы бензола. По результатам экспериментальных исследований вычисляли сорбционную емкость по бензолу согласно формуле

$$a = \frac{m_S}{m_0}, \quad (9)$$

где $m_S = (m_{\text{СТ}} - m_0)$ – масса сорбированного бензола, г;

$m_{\text{СТ}}$ – масса пробы материала после обработки бензолом, г;

m_0 – масса пробы материала, взятой для испытания (сухой), г.

Путем расчета объема микропор из экспериментальной изотермы адсорбции по уравнению (1) выполнена оценка сорбционной способности каменных углей различных марок по отношению к АХОВ.

Установлено, что наибольшее значение сорбционной емкости (0,81 г/г) получено для угля марки ДГ (длиннопламенный газовый). Сравнительно одинаковые значения сорбируемости бензола получены для углей марок Т (тощий), Г (газовый) и ЖК (жирный коксовый). Наименьшая сорбционная емкость (0,60 г/г) по бензолу, определенная ускоренным весовым методом, получена для углей марок К (коксовый) и А (антрацит).

Высокая сорбционная емкость по бензолу, определенная ускоренным (1,10 – 1,30 г/г) и продолжительным (1,31 – 1,35 г/г) весовым методом, получена для трех образцов шлака котельного, наименьшие значения – для шлака металлургического отвального (0,40 г/г, 0,44 г/г) и золы-уноса Старобешевской тепловой электростанции (0,39 г/г, 0,41 г/г). Максимальная сорбционная емкость по бензолу, которую определяли ускоренным весовым методом (4,62 г/г) и продолжительным весовым методом (5,03 г/г), получена для опилок древесных хвойных пород.

Результаты сравнительных экспериментальных исследований сорбции природных пористых материалов по бензолу, определенные разными

методами подтвердили, что они имеют характеристики, сравнимые с данными, полученными весовым методом.

В четвертом разделе приведены результаты исследований сорбционной емкости природных пористых материалов по бензолу в зависимости от фракционного состава и влажности.

Для исследования влияния размера частиц природного пористого материала (дисперсности) на сорбируемость бензола исследованы пять фракций длиннопламенного газового угля с разными размерами гранул: крупная фракция 1 – 2 мм и 2 – 3 мм; средняя фракция 0,315 – 0,500 мм и 0,5 – 1,0 мм; мелкая фракция 0,250 – 0,315 мм. В качестве образца сравнения использовали образец угля активированного гранулированного промышленного производства марки АГН, предназначенного для адсорбции из газообразных и жидких сред органических примесей. Экспериментальными исследованиями установлено, что значения сорбционной емкости по бензолу образцов длиннопламенного газового угля, шлака котельного и опилок древесных различной фракции (0,25 – 3,00 мм), полученные весовым ускоренным и продолжительным методом, а также эксикаторным методом, согласуются между собой. Для оценки степени взаимосвязи факторов (сорбционная емкость по бензолу и размер фракции) произведены аппроксимация и анализ полученных экспериментальных данных с помощью линейной функции

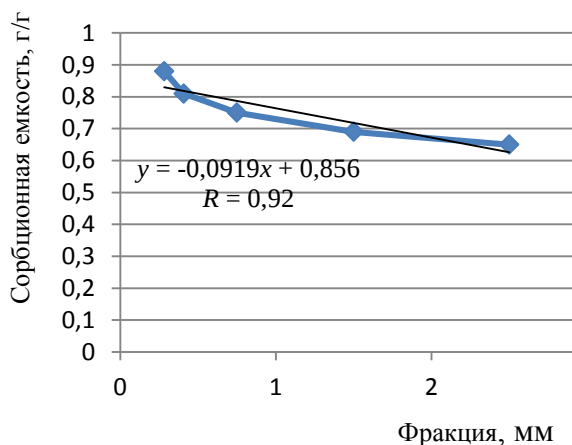
$$y = ax + b, \quad (10)$$

где y – выходной фактор (сорбционная емкость по бензолу, г/г);

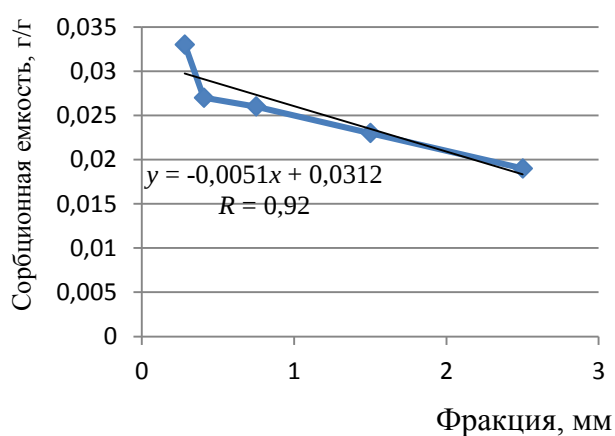
a и b – коэффициенты линейной функции, 1;

x – входной фактор (размер фракции материала, мм).

В качестве меры взаимосвязи факторов использовали коэффициент корреляции. Проведена математическая обработка экспериментальных данных, полученных с помощью ускоренного и продолжительного весового, а также эксикаторного метода (рисунок 1).



а)



б)

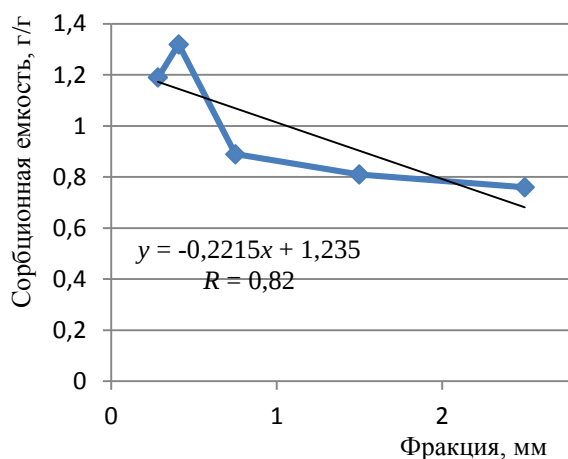
Рисунок 1 – Зависимость сорбционной емкости по бензолу угля длиннопламенного газового от фракционного состава:

а – продолжительный весовой метод; *б* – эксикаторный метод

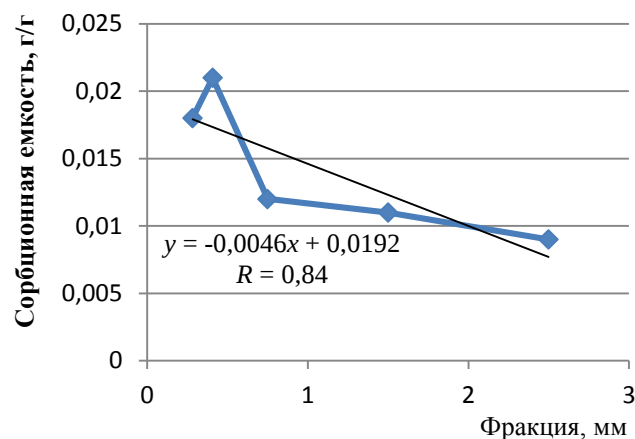
Коэффициент корреляции (R) свидетельствует о полной взаимосвязи этих величин и наличии между ними линейной зависимости. Характер линейных зависимостей обратный (отрицательный): сорбционная емкость уменьшается с увеличением размера фракции длиннопламенного газового угля.

Определение и оценку сорбционных свойств шлака котельного, а также древесных опилок в зависимости от их фракционного состава проводили аналогично определению свойств образцов длиннопламенного газового угля.

Результаты исследований по сорбируемости бензола образцами шлака котельного и опилок древесных разного фракционного состава представлены соответственно на рисунках 2, 3.



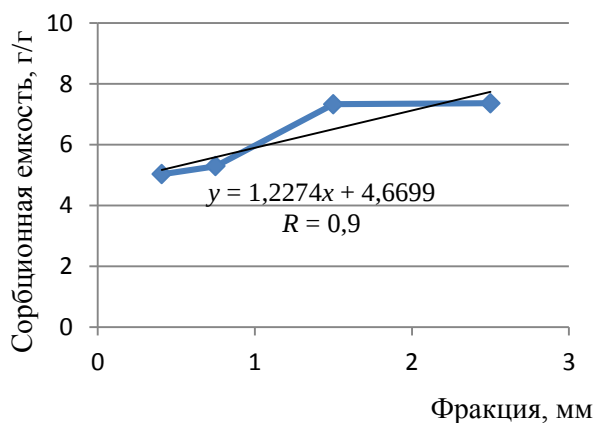
а)



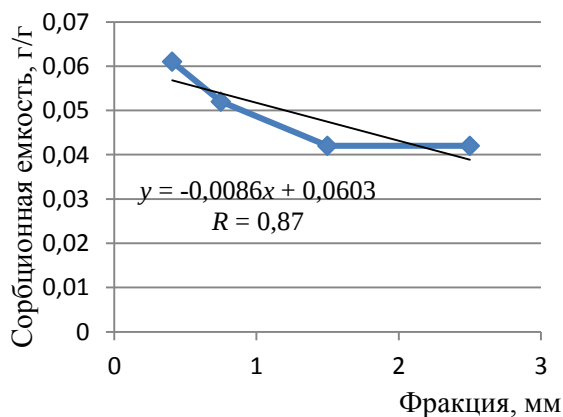
б)

Рисунок 2 – Зависимость сорбционной емкости по бензолу шлака котельного от фракционного состава: *а* – продолжительный весовой метод;

б – эксикаторный метод



а)



б)

Рисунок 3 – Зависимость сорбционной емкости по бензолу опилок древесных от фракционного состава: *а* – продолжительный весовой метод; *б* – эксикаторный метод

Анализ значений сорбционной емкости по бензолу угля длиннопламенного газового, шлака котельного и опилок древесных разных фракций при различной влажности показывает, что с уменьшением фракции угля длиннопламенного газового от 3,00 до 0,25 мм значения сорбционной емкости по бензолу увеличиваются для всех исследуемых состояний влажности проб угля (рисунок 4).

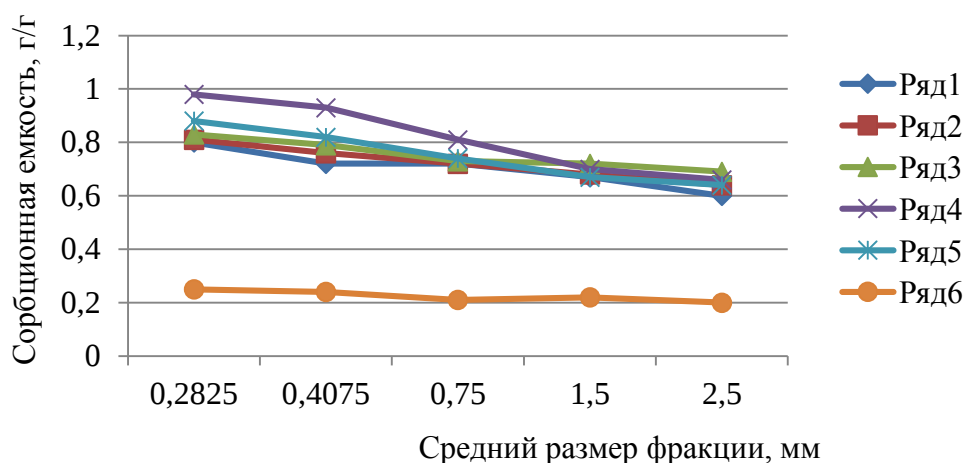


Рисунок 4 – Зависимость сорбционной емкости по бензолу от фракционного состава угля длиннопламенного газового в различном состоянии влажности: ряд 1 – воздушно-сухое состояние; ряд 2 – после высушивания проб при 110 °С в течение 1 ч; ряд 3 – абсолютно-сухое состояние; ряд 4 – после насыщения проб парами воды в эксикаторе в течение 40 сут при относительной влажности воздуха 97 %; ряд 5 – после насыщения проб парами воды в эксикаторе в течение 40 сут при относительной влажности воздуха 80 %; ряд 6 – после гидратации проб в течение 20 сут.

После насыщения проб угля в воде (20 сут) сорбционная емкость снижается в 3 раза по сравнению с исходной емкостью. Эффективность сорбции шлака котельного, главным образом, зависит от фракционного состава, массовая доля воды на сорбционную емкость шлака практически не влияет.

Среди исследованных материалов максимальные значения сорбционной емкости по бензолу получены для опилок древесных. После насыщения проб в воде (погружение в воду) в течение 20 сут сорбционная емкость исследуемых материалов существенно снижается одинаково для всех фракций (рисунок 5).

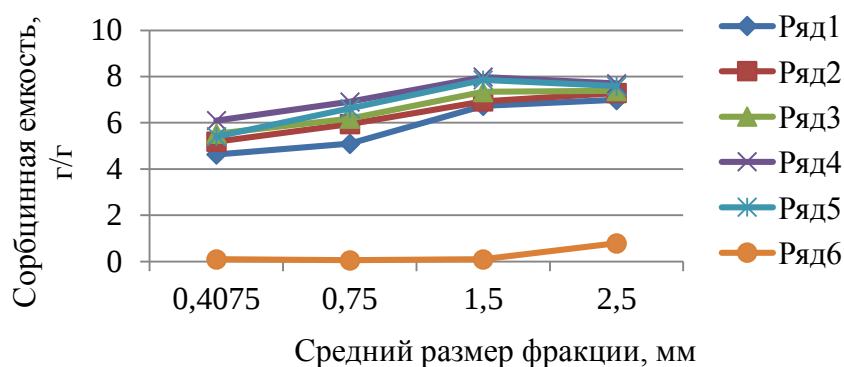


Рисунок 5 – Зависимость сорбционной емкости по бензолу от фракционного состава опилок древесных при различной влажности

В результате математической обработки экспериментальных данных, представленных на рисунках 4 и 5, рассчитаны значения коэффициентов a и b , а также коэффициента корреляции R (0,78 – 0,99) линейных зависимостей.

Пятый раздел посвящен разработке двух- и трехкомпонентных композиций природных пористых материалов путем моделирования составов. В качестве объектов исследования использованы образцы шлака котельного, угля длиннопламенного газового и опилок древесных, как наиболее перспективные материалы с наибольшими значениями сорбционной емкости по бензолу в статических и динамических условиях эксперимента.

В связи с тем, что исследуемые свойства композиций природных пористых материалов зависят только от состава смеси, для установления степени влияния независимых факторов на зависимый фактор был использован симплекс-решетчатый метод планирования эксперимента.

При исследовании свойств смесей, зависящих только от соотношения компонентов, факторное пространство представляет собой правильный $(q-1)$ -мерный симплекс, при этом выполняется условие: содержание всех компонентов смеси постоянно и равно 1

$$\sum_{i=1}^q x_i = 1 \quad (11)$$

где q – число компонентов смеси, 1;

x_i – содержание i -го компонента в смеси, массовая доля, 1.

Условие (11) при моделировании составов и построении диаграмм «состав-свойство» позволяет независимо варьировать каждым фактором и определяет в $(q-1)$ -мерном пространстве переменных x_i область их допустимых изменений.

Результаты экспериментальных исследований использованы для построения полиномиальной модели зависимости сорбционной емкости от состава смеси и проверки ее адекватности

$$\hat{y} = \sum_{1 \leq i \leq q} \beta_i \cdot x_i + \sum_{1 \leq i < j \leq q} \beta_{ij} \cdot x_i \cdot x_j + \sum_{1 \leq i < j \leq q} \gamma_{ij} \cdot x_i \cdot x_j (x_i - x_j) + \sum_{1 \leq i < j < k \leq p} \beta_{ijk} \cdot x_i \cdot x_j \cdot x_k, \quad (12)$$

где $\hat{y}$ – расчетное значение выходного фактора;

x_i, x_j, x_k – независимые переменные (входные факторы);

$\beta_i, \beta_{ij}, \beta_{ijk}$ – коэффициенты приведенного полинома.

Входными факторами приняты составы композиций природных пористых материалов с различным массовым содержанием и соотношением компонентов: чистые вещества, их двух- и трехкомпонентные смесевые системы (x_1, x_2, x_3 , массовая доля). В качестве выходного фактора $\hat{y}$, взято свойство композиционных составов – сорбционная емкость. Под выходным фактором $\hat{y}$ подразумевается среднее арифметическое значение сорбционной емкости трех параллельных опытов i – го опыта $\bar{y}_i$, г/г. Модельные смеси готовились таким образом, чтобы выполнялось условие

$$x_1 + x_2 + x_3 = 1, \quad (13)$$

где x_1, x_2, x_3 – содержание шлама, угля, опилок в смеси соответственно, массовая доля.

Содержание каждого компонента в смеси, выраженные в массовой доле и граммах для семи опытов, приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Содержание каждого компонента в смеси

Номер опыта	Значение входного фактора x						Обозначение выходного фактора $\hat{y}$
	содержание компонента в смеси, массовая доля			содержание компонента в смеси, г			
	x_1	x_2	x_3	x_1	x_2	x_3	
1	1	0	0	4,000	0,000	0,000	y_1
2	0	1	0	0,000	4,000	0,000	y_2
3	0	0	1	0,000	0,000	4,000	y_3
4	1/2	1/2	0	2,000	2,000	0,000	y_{12}
5	1/2	0	1/2	2,000	0,000	2,000	y_{13}
6	0	1/2	1/2	0,000	2,000	2,000	y_{23}
7	1/3	1/3	1/3	1,333	1,333	1,333	y_{123}

Для проведения исследований и построения полиномиальной модели аналитической зависимости «состав-свойство» композиций природных пористых материалов была использована симплексная решетка неполного третьего порядка, с помощью которой можно достаточно точно установить зависимости между наблюдаемыми входными и выходными факторами. Матрица планирования и результаты исследований представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Матрица планирования и результаты экспериментальных исследований сорбционной емкости смеси

Номер опыта	Входной фактор			Выходной фактор – сорбционная емкость				Дисперсия парал- лельных опытов S_{oi}^2 ,	Дисперсия воспроизв одимости экспери- мента S_0^2 ,
	компонентный состав композиции, массовая доля								
				значение сорбционной емкости для каждого параллельного опыта, y_{ij} , г/г			Среднее значение сорбционн ой емкости параллельн ых опытов $\bar{y}_i$, г/г		
1	1	0	0	1,06	1,10	1,09	1,08	0,00045	0,02657
2	0	1	0	0,71	0,74	0,72	0,72	0,00025	
3	0	0	1	6,70	6,48	6,67	6,62	0,01425	
4	1/2	1/2	0	0,97	0,98	0,90	0,95	0,00190	
5	1/2	0	1/2	3,37	3,68	3,98	3,68	0,09305	
6	0	1/2	1/2	3,61	3,24	3,09	3,31	0,07165	
7	1/3	1/3	1/3	2,99	2,88	2,87	2,91	0,00445	

Значение среднеквадратической ошибки эксперимента составило 0,163, которое использовано для оценки адекватности полученной полиномиальной модели аналитической зависимости «состав-свойство» с применением критерия Стьюдента t_p .

Используя результаты экспериментальных исследований (таблица 2) для полинома неполного третьего порядка

$$\hat{y} = \beta_1 \cdot x_1 + \beta_2 \cdot x_2 + \beta_3 \cdot x_3 + \beta_{12} \cdot x_1 \cdot x_2 + \beta_{13} \cdot x_1 \cdot x_3 + \beta_{23} \cdot x_2 \cdot x_3 + \beta_{123} \cdot x_1 \cdot x_2 \cdot x_3 \quad (14)$$

вычислены коэффициенты уравнения полинома (14) по формулам

$$\begin{aligned} \beta_1 &= y_1 = 1,08, \beta_2 = y_2 = 0,72, \beta_3 = y_3 = 6,62, \\ \beta_{12} &= 4 \cdot y_{12} - 2 \cdot y_1 - 2 \cdot y_2 = 0,2, \quad \beta_{13} = 4 \cdot y_{13} - 2 \cdot y_1 - 2 \cdot y_3 = -0,68, \\ \beta_{23} &= 4 \cdot y_{23} - 2 \cdot y_2 - 2 \cdot y_3 = -1,44, \\ \beta_{123} &= 24 \cdot y_{123} - 12 \cdot (y_{12} + y_{13} + y_{23}) + 3 \cdot (y_1 + y_2 + y_3) = 8,55. \end{aligned}$$

После подстановки вычисленных коэффициентов в уравнение (14), получена полиномиальная модель зависимости сорбционной емкости ($\hat{y}$) от состава смеси: шлак (x_1) – уголь (x_2) – опилки (x_3), описываемая уравнением полинома неполного третьего порядка

$$\hat{y} = 1,08 \cdot x_1 + 0,72 \cdot x_2 + 6,62 \cdot x_3 + 0,2 \cdot x_1 \cdot x_2 - 0,68 \cdot x_1 \cdot x_3 - 1,44 \cdot x_2 \cdot x_3 + 8,55 \cdot x_1 \cdot x_2 \cdot x_3 \quad (15)$$

Так как планы, используемые в методе симплексных решеток, являются полностью насыщенными, для проверки адекватности полиномиальной модели были проведены исследования в произвольных дополнительных контрольных точках, состав и соотношение исходных компонентов которых отличается от модельных смесей (таблицы 1, 2).

Исходные данные и результаты проверки адекватности полученной полиномиальной модели (15) приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Исходные данные и результаты проверки адекватности полученной полиномиальной модели

Номер опыта	Компонентный состав композиции, массовая доля			Результаты эксперимента				$\hat{y}_{расч}$	$\Delta y = \bar{y}_{эсп.} - \hat{y}_{расч}$	Критерий Стьюдента а (расчетный) t_p
	x_1	x_2	x_3	y_1	y_2	y_3	$\bar{y}_{эсп}$			
1	0,375	0,375	0,250	2,53	2,95	2,26	2,58	2,46	0,12	0,94
2	0,375	0,250	0,375	3,01	3,19	3,36	3,19	3,16	0,03	0,23
3	0,400	0,300	0,300	2,36	3,06	2,68	2,70	2,75	0,05	0,39
4	0,600	0,300	0,100	1,50	1,85	1,72	1,69	1,63	0,06	0,52

Проверку адекватности и оценку полученной полиномиальной модели (15) проводили с помощью критерия Стьюдента t_p при уровне значимости $p = 0,05$ и числе степеней свободы $f = N - 1 = 10$, табличное значение критерия Стьюдента ($t_{табл}$) равно 2,23. Как видно (таблицы 3), для всех контрольных точек соблюдается неравенство $t_p \leq t_{табл}$. Таким образом, полученная полиномиальная модель (15) является адекватной эксперименту для описания аналитической зависимости сорбционной емкости от компонентного состава композиции природных пористых материалов.

Одной из задач экспериментальных исследований является разработка диаграммы «состав-свойство». На основании расчетов с применением полиномиальной модели (15) разработана треугольная диаграмма «состав-свойство» и проекции линий равного уровня для сорбционной емкости (числами 2 – 6 на диаграмме обозначены значения сорбционной емкости) исследуемых сорбционных составов (рисунок 6).

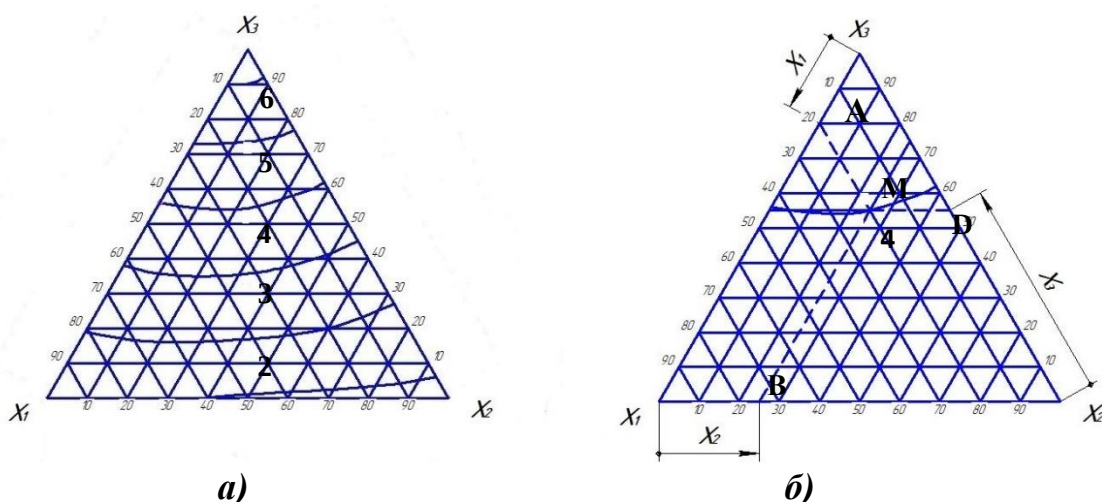


Рисунок 6 – Треугольная диаграмма «состав-свойство» исследуемых составов

а – изолинии равного уровня сорбционной емкости; **б** – пример определения компонентного состава трехкомпонентной смеси с сорбционной емкостью 4 г/г

Из анализа диаграммы, следует, что повышению сорбционной емкости способствует увеличение содержания опилок в указанных составах: максимальная сорбционная емкость (6,62 г/г) получена для состава, содержащего 100 % опилок. Линии равного уровня (контурные изолинии) на диаграмме соединяют трехкомпонентные сорбционные составы с одинаковыми значениями сорбционной емкости.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Диссертация является законченной научно-исследовательской работой, в которой дано решение актуальной научной задачи по обоснованию параметров композиций природных пористых материалов для нейтрализации проливов АХОВ при ликвидации последствий аварий на промышленных предприятиях путем установления закономерностей влияния комплекса АХОВ на риск и тяжесть чрезвычайной ситуации, с разработкой на этой основе методов по выбору номенклатуры природных пористых материалов для нейтрализации проливов токсичных веществ, что имеет важное значение для повышения безопасности промышленных объектов.

Основные научные и практические результаты, выводы и рекомендации сводятся к следующему:

1. Обоснован выбор объектов исследования – шлака котельного (фракции 0,315 – 0,500 мм); угля длиннопламенного газового (фракции 0,315 – 0,500 мм); опилок древесных (фракции 1 – 2 мм), а также методов решения поставленных задач: статистический метод анализа и обработки данных; графический метод построения диаграммы «состав-свойство»; весовой метод определения сорбционной емкости материалов; симплекс-решетчатый метод математического планирования эксперимента.

2. Экспериментально установлено, что наиболее эффективными природными пористыми материалами по значениям сорбционной емкости являются: древесные опилки хвойных пород (4,63 г/г), котельный шлак (1,30 г/г) и каменный уголь марки ДГ (0,72 г/г).

3. Сравнительный анализ сорбционной емкости образцов угля длиннопламенного газового, шлака котельного и опилок древесных показал положительную корреляцию сорбционной емкости от фракционного состава исследуемых материалов, что позволяет прогнозировать оптимальные диапазоны фракционности природных пористых материалов без проведения предварительных лабораторных исследований.

4. Установлены оптимальные диапазоны массовой доли воды, в которых влага практически не оказывает влияния на сорбционные свойства исследуемых материалов. Получены зависимости сорбционной емкости по бензолу и массовой доли воды от фракционного состава угля длиннопламенного газового, шлака котельного и опилок древесных при различной влажности.

5. Показана возможность практического использования для нейтрализации проливов АХОВ угля длиннопламенного газового и шлака котельного фракции 0,315 – 0,500 мм, опилок древесных фракции 1 – 2 мм в воздушно-сухом состоянии без предварительной термической сушки.

6. Для описания аналитической зависимости «состав-свойство» разработаны полиномиальная модель неполного третьего порядка и матрица симплекс-решетчатого плана эксперимента с исходными составляющими двух- и трехкомпонентных модельных смесей.

7. Экспериментально определены значения построчной дисперсии опытов, дисперсии воспроизводимости и среднеквадратической ошибки эксперимента, а также коэффициенты приведенного полинома неполного третьего порядка, что позволило разработать полиномиальную модель зависимости «состав-свойство» двух- и трехкомпонентных композиций, подтвердить адекватность полученной модели с помощью критерия Стьюдента.

8. Разработана треугольная диаграмма «состав-свойство», позволяющая прогнозировать составы композиций природных пористых материалов с оптимальными значениями сорбционной емкости для их оперативного применения.

СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. **Агарков, А.В.** Способность пористых материалов поглощать аварийно химически опасные вещества / А.В. Агарков, А.А. Козлитин, В.В. Лебедева, О.Н. Щербакова // Научный вестник НИИГД «Респиратор»: науч.-техн. журн. – Донецк: НИИГД «Респиратор», 2019. – № 1(56). – С. 94-100.

2. **Агарков, А.В.** Сорбционная способность промышленных отходов и каменных углей / А.В. Агарков, А.А. Козлитин, В.В. Лебедева,

О.Н. Щербакова // Научный вестник НИИГД «Респиратор»: науч.-техн. журн. – Донецк: НИИГД «Респиратор», 2019. – № 3(56). – С. 46-55.

3. **Агарков, А.В.** Влияние фракционного состава на сорбционные свойства углеродных сорбентов / А.В. Агарков, А.А. Козлитин, В.В. Лебедева, О.Н. Щербакова // Научный вестник НИИГД «Респиратор»: науч.-техн. журн. – Донецк: НИИГД «Респиратор», 2019. – № 4(56). – С. 44-53.

4. Агеев, В.Г. Природные сорбенты для поглощения химически опасных веществ / В.Г. Агеев, **А.В. Агарков**, А.А. Козлитин, В.В. Лебедева // Научный вестник НИИГД «Респиратор»: науч.-техн. журн. – Донецк: НИИГД «Респиратор», 2020. – № 3(57). – С. 7-17.

5. **Агарков, А.В.** Применение симплекс-решетчатого метода при исследовании сорбционной емкости сорбентов / А.В. Агарков // Научный вестник НИИГД «Респиратор»: науч.-техн. журн. – Донецк: НИИГД «Респиратор», 2021. – № 1(58). – С. 40-50.

Публикации в сборниках материалов научных конференций, входящих в наукометрическую базу РИНЦ:

6. Долженков, А.Ф. Исследование статической емкости угольных сорбентов на основе углей Донбасса / А.Ф. Долженков, **А.В. Агарков**, А.Ф. Мисинева // Комплексные проблемы техносферной безопасности. Задачи, технологии и решения комплексной безопасности: сборник статей по материалам XV Междунар. науч.-практ. конф.; ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет». – Воронеж: Изд-во ВГТУ, 2019. – С. 414-416.

7. Долженков, А.Ф. Поглощение продуктов горения вредных веществ путем орошения водой / А.Ф. Долженков, **А.В. Агарков**, А.А. Мельниченко // Комплексные проблемы техносферной безопасности. Задачи, технологии и решения комплексной безопасности: сборник статей по материалам XV Междунар. науч.-практ. конф.; ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет». – Воронеж: Изд-во ВГТУ, 2019. – С. 422-426.

8. **Агарков, А.В.** Эффективность сорбции аварийно химически опасных веществ каменными углями Донецкого региона / А.В. Агарков, А.А. Козлитин, В.В. Лебедева // Пожарная и техносферная безопасность: проблемы и пути совершенствования: науч. журн. – Донецк: ГОУВПО «Академия гражданской защиты» МЧС ДНР, 2019. – № 3(4). – С. 10-15.

9. **Агарков, А.В.** Влияние массовой доли воды на сорбционные свойства пористых материалов / А.В. Агарков, А.А. Козлитин, В.В. Лебедева, О.В. Храпоненко // Пожарная и техносферная безопасность: проблемы и пути совершенствования: науч. журн. – Донецк: ГОУВПО «Академия гражданской защиты» МЧС ДНР, 2020. – № 1(5). – С. 40-46.

10. **Агарков, А.В.** Анализ факторов, влияющих на сорбционную емкость пористых материалов / А.В. Агарков, А.А. Козлитин, В.В. Лебедева // Пожарная и техносферная безопасность: проблемы и пути совершенствования: науч. журн. – Донецк: ГОУВПО «Академия гражданской защиты» МЧС ДНР, 2020. – № 3(7). – С. 22-29.

11. **Агарков, А.В.** Сорбенты на основе продуктов переработки каменных углей Донбасса / А.В. Агарков, А.А. Козлитин, В.В. Лебедева // Проблемы и перспективы комплексного освоения и сохранения земных недр: сб. 4-й конф. международ. науч. шк. ак. РАН К.Н. Трубецкого. – Москва: ИПКОН им. академика Н.В. Мельникова РАН, 2020. – С. 471-474.

12. **Агарков, А.В.** Сорбция химически опасных веществ каменными углями Донецкого региона / А.В. Агарков, А.А. Козлитин, В.В. Лебедева // Проблемы и перспективы комплексного освоения и сохранения земных недр: сб. 4-й конф. международ. науч. шк. ак. РАН К.Н. Трубецкого. – Москва: ИПКОН им. академика Н.В. Мельникова РАН, 2020. – С. 474-477.

Другие публикации:

13. **Агарков, А.В.** Методические рекомендации по организации тушения пожаров, ликвидации аварий и ведению аварийно-спасательных работ на химически опасных объектах: утв. МЧС ДНР 26.04.2018 № 120 / А.В. Агарков, В.Г. Агеев. – Донецк: НИИГД «Респиратор», 2018. – 108 с.

14. **Агарков, А.В.** Методические рекомендации по выбору и обоснованию номенклатуры сорбентов на основе природных пористых материалов для поглощения аварийно химически опасных веществ: утв. МЧС ДНР 29.04.2020 / А.В. Агарков, В.Г. Агеев, А.Ф. Долженков [и др.]. – Донецк: НИИГД «Респиратор», 2020. – 64 с.

15. **Агарков, А.В.** Пособие по снижению риска воздействия аварийно химически опасных веществ на химически опасных объектах: утв. МЧС ДНР 17.12.2019 / А.В. Агарков, В.Г. Агеев, А.Ф. Долженков [и др.]. – Донецк: НИИГД «Респиратор», 2020. – 88 с.

АННОТАЦИЯ

Агарков Андрей Викторович. **Обоснование параметров композиций природных пористых материалов для нейтрализации проливов аварийно химически опасных веществ.** – На правах рукописи

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.26.03 «Пожарная и промышленная безопасность» (по отраслям) (технические науки) Государственный научно-исследовательский институт горноспасательного дела, пожарной безопасности и гражданской защиты «Респиратор» Министерства по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий Донецкой Народной Республики. – Донецк, 2022.

В работе теоретически обоснован и экспериментально подтвержден выбор природных пористых материалов для ликвидации масштабных проливов АХОВ. Установлено, что наиболее эффективными природными пористыми материалами по значениям сорбционной емкости являются: опилки древесные хвойных пород (4,63 г/г), шлак котельный (1,20 и 1,30 г/г) и каменный уголь марки ДГ (0,72 г/г).

Результаты исследований показали положительную корреляцию сорбционной емкости от фракционного состава исследуемых материалов, что позволило прогнозировать оптимальные диапазоны фракции природных

пористых материалов. Установлены диапазоны массовой доли воды, в которых влага практически не оказывает влияния на сорбционные свойства исследуемых материалов. Получены зависимости сорбционной емкости по бензолу и массовой доли воды от фракционного состава исследуемых материалов.

Разработана полиномиальная модель неполного третьего порядка зависимости «состав-свойство» двух- и трехкомпонентных композиций природных пористых материалов, подтверждена ее адекватность с помощью критерия Стюдента.

Разработана диаграмма «состав-свойство», которая позволяет определить области с компонентными составами композиций природных пористых материалов, обеспечивающих оптимальную сорбционную емкость с учетом возможности сырьевой базы региона и стоимости исходных компонентов.

Ключевые слова: аварийно химически опасное вещество; бензол; древесные опилки хвойных пород; композиции природных пористых материалов; сорбционная емкость; полином; длиннопламенный газовый уголь; котельный шлак.

ABSTRACT

Agarkov Andrey Viktorovich. **Substantiation of parameters of natural porous materials for neutralization of chemically hazardous substances.** Exercising the rights as a manuscript.

Dissertation for a degree of Candidate of Technical Sciences on the specialty 05.26.03 "Fire and industrial safety – Technical Sciences". The paper is fulfilled in the "Respirator" State Scientific Research Institute of Mine-rescue Work, Fire Safety and Civil Protection of the Ministry of the Donetsk People's Republic for Civil Defence, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters. – Donetsk, 2022.

In the work is the choice of the sorbents with the use of natural porous materials on the basis of theoretical and experimental investigations corroborated. It has been ascertained that the natural porous materials are most effective according to sorption capacity values: coniferous sawdust (4.63 g/g), boiler slag (1.20 and 1.30 g/g) and black coal, grade ДГ (0.72 g/g). They have been investigated as sorbents during elimination of large-scale spillages of chemically hazardous substances.

The results of investigations have shown the positive correlation of the sorption capacity on the fractional composition of the materials under investigation what has allowed predicting the optimum ranges of the natural porous materials fraction. The water mass fraction ranges have been ascertained in which the humidity has practically no effect on the sorption properties of the materials under investigation. The benzene-dependences of the sorption capacity and those ones of the water mass part on the fractional composition of the materials under investigation have been obtained.

The non-complete tertiary polynomial model of the “composition – characteristic” dependence of two- and three component sorption compositions has been worked out; its adequacy has been confirmed by means of the Student’s test.

The “composition – characteristic” diagram has been plotted which permits to determine and to choose the areas with the component compositions of the sorbents ensuring the optimum sorption capacity with regard to a possibility of the raw material base of the region and cost of the initial components.

Keywords: chemically hazardous substance liable for emergencies; benzene; conifer sawdust; sorbent; sorption capacity; polynomial; long-flame gas coal; boiler slag.